



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: «Исследование грозовой деятельности на аэродроме Талаги (г. Архангельск)»

Исполнитель Гайнулина Евгения Денисовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук
(ученая степень, ученое звание)

Волобуева 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)

«05» июня 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Грозы. Конвективная и грозовая облачность. Условия образования	4
1.1. Грозы	4
1.2. Конвективные вертикальные движения. Конвективная облачность	4
1.2.1. Образование конвективной облачности	5
1.3. Стадии образования грозового облака	7
1.4. Виды гроз, условия образования и их характеристики	9
1.5. Основные методы прогнозирования гроз	11
2. Исследование грозовой деятельности на аэродроме Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.	17
2.1. Регион исследования	17
2.2. Создание архива данных наличия гроз на аэродроме Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг. и его анализ	19
3. Расчёт и анализ индексов неустойчивости и критерия Вайтинга, используемых для прогноза гроз	28
4. Заключение	29
5. Список источников	40

ВВЕДЕНИЕ

Гроза - одно из самых опасных природных явлений, которое оказывает сильное влияние на все сферы деятельности человека. Количество зафиксированных смертных случаев, связанных с грозами, идёт на втором месте после наводнений.

На планете действует около 1500 гроз различной силы одновременно. А интенсивность разрядов оценивается в сотню молний в секунду.

Актуальность данной работы заключается в том, что грозы - опасное явление, их изучение необходимо на заданной территории для более успешного прогнозирования.

Цель работы заключается в анализе грозовой деятельности на аэродроме Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Для достижения цели были поставлены задачи:

1. Составление базы данных гроз на различном удалении от аэродрома Талаги за рассматриваемый период.
2. Анализ составленного архива данных для выявления месяцев с наиболее частой повторяемостью гроз и т.д.
3. Расчёт критериев неустойчивости и оценка их успешности для рассматриваемого региона.

В первой главе представлены теоретические сведения об облачности, связанной с образованием гроз.

Во второй главе описан регион исследования.

В третьей главе представлен процесс составления архива данных гроз на аэродроме Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг. и анализ этого архива данных.

В четвертой главе представлен расчёт индексов SWEAT, Cross Totals, Vertical Totals, Total Totals и критерия Вайтинга, а также их анализ.

1. ГРОЗЫ. КОНВЕКТИВНАЯ И ГРОЗОВАЯ ОБЛАЧНОСТЬ. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ.

1.1. Грозы

Грозы представляют собой разновидности осадков, при которых в облаках образуются электрические заряды, т.е. молнии. Грозы чаще всего сопровождаются сильным ветром, ливневым дождем и даже градом. Большая часть гроз отмечается над материками, а самое большое количество – на экваторе. Самые опасные грозы проявляются в горах [1].

Опасность гроз обусловлена:

- интенсивной турбулентностью в облаках, которая способна вызвать сильную болтанку;
- сильным обледенением на высотах, где температура воздуха ниже 0⁰С;
- возможностью поражения самолета молниями;
- интенсивными ливневыми осадками.

Появление гроз напрямую связано с конвективной облачностью.

1.2. Конвективные вертикальные движения. Конвективная облачность

Кучевые (Cumulus, Cu) и кучево-дождевые (Cumulonimbus, Cb) облака называют облаками вертикального развития, тк они от основания, которое обычно расположено низко, вырастают вверх, до большой высоты, чаще всего, имеют небольшую горизонтальную протяженность. Облака Cu и Cb являются типичными конвективными облаками.

Термическая конвекция и турбулентный обмен – основные явления, которые приводят к образованию конвективных облаков.

Термической конвекцией называются вертикально направленные восходящие и нисходящие потоки воздуха, которые вызваны неравномерным нагревом подстилающей поверхности.

Турбулентный обмен – хаотически неупорядоченное перемешивание объемов воздуха самых различных масштабов. В процессе турбулентного обмена каждая переносимая субстанция распространяется в том направлении, в котором она убывает, т.е. в направлении своего вертикального градиента [2].

1.2.2. Образование конвективной облачности

Летом в ясную погоду под действием солнечной радиации происходит интенсивный нагрев деятельной поверхности. Но не вся поверхность нагревается одинаково. Над более нагретыми участками развиваются восходящие движения воздуха, а над менее нагретыми – нисходящие. Так возникает термическая конвекция. Постепенно отдельные восходящие струйки сливаются и образуют мощный восходящий поток, который вовлекает в себя все большие и большие объемы воздуха.

Вследствие вертикальных движений, обусловленных конвекцией, в атмосфере образуются конвективные (кучевообразные) облака. Скорость восходящих движений воздуха в конвективных облаках может достигать 15-20 м/с, нисходящие токи очень слабые.

Если под влиянием прогрева подстилающей поверхности в нижних слоях атмосферы вертикальный градиент температуры увеличивается и создается неустойчивая стратификация, а в более высоких слоях, под уровнем конденсации, сохраняется малый или даже отрицательный вертикальный градиент температуры, то развивающиеся конвективные движения не достигают уровня конденсации и облака не образуются. Если же уровень конвекции находится выше уровня конденсации, то образуются конвективные облака,

вертикальная мощность которых зависит от разности высот этих уровней (рисунок 1.1).

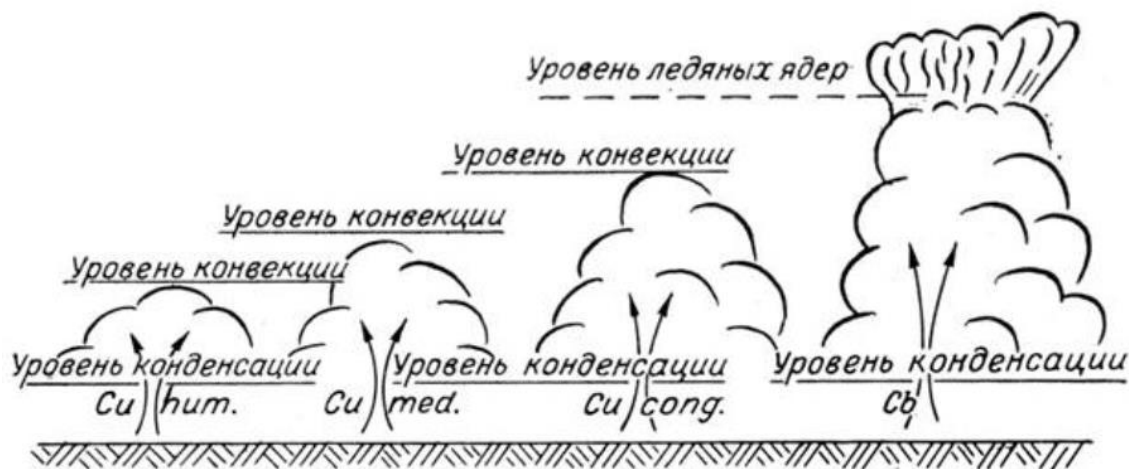


Рисунок 1.1 – Образование конвективной облачности.

Если неустойчивое или влажно-неустойчивое состояние имеется лишь в сравнительно небольшом слое над уровнем конденсации, а выше расположен задерживающий слой, то образуются лишь облака хорошей погоды или кучевые средние. При отсутствии задерживающего слоя кучевые облака продолжают развиваться по вертикали, приобретая более резкие очертания и превращаясь в мощные кучевые облака с куполообразной вершиной.

Если влагосодержание в воздухе велико и имеются благоприятные условия для дальнейшего развития конвекции, то кучевое облако быстро растет в вертикальном и немного в горизонтальном направлениях. Если его вершина достигнет уровня замерзания, то начнется ее обледенение, т.е. облачные элементы будут замерзать и приобретать кристаллическую структуру. Облако темнеет и принимает с теневой стороны свинцовый оттенок. Вершина приобретает расплывчатую волокнистую структуру, и облако превращается в кучево-дождевое.

1.3. Стадии образования грозового облака

1) *Стадия начального развития* – первая стадия. Наблюдается от момента зарождения облака и до выпадения первых осадков. При благоприятных условиях возникшие кучевые облака быстро растут в вертикальном и в горизонтальном направлениях, так кучевые облака превращаются в мощно-кучевые облака. Их нижняя граница колеблется в пределах 800 – 1500 м, а верхняя – 3000 – 5000м. Эта стадия наименее опасна для полетов самолетов. Данная стадия более подробно описывается в разделе 1.1.

2) *Стадия максимального развития* – эта стадия наиболее опасна, она наблюдается с момента выпадения первых капель дождя, что свидетельствует о появлении кристаллов в облаке, и заканчивается его разрушением. На этой стадии нижняя граница облака опускается до 300-500 м, верхняя граница поднимается до высоты 8-15 км. В верхней части облака образуется *Cumulonimbus incus* «наковальня».

Из облака выпадают ливневые осадки, электрические разряды, могут наблюдаться град и снег. Вес градин может достигать до 400 гр. Вдоль края облака очень сильная турбулентность и сильное обледенение. Особенно интенсивным обледенение бывает в средней и верхней части грозового облака, куда сильными восходящими потоками попадают крупные переохлажденные капли. Также сильное обледенение наблюдается в наковальне. Мощные восходящие потоки имеют скорость до 40 м/с, иногда до 50 м/с, а нисходящие до 20-30 м/с. Завихрения, которые наблюдаются в облаке, а также сочетание мощных вертикальных потоков с сильными порывами вызывают болтанку воздушного судна (таблица 2.1). Сильная болтанка может появиться даже на расстоянии 1 км от облака. Полеты в таких облаках категорически запрещены.

Таблица 1.1 – Повторяемость (%) болтанки самолетов в облаках различных форм (по С.М. Шметеру)

Форма облаков					Без уточнения формы
St, Sc	Ns-As	Ac	Ci, Cs, Cc	Cu, Cu cong, Cb	
34	30	29	34	95	40

3) Достигнув стадии максимального развития грозное кучево-дождевое облако переходит в третью стадию – *стадию разрушения и распада*. Эта стадия является завершающей, она продолжается от начала его разрушения до момента трансформации в другие виды облаков. Образуются облака различных ярусов, небольшие по вертикальной мощности и не особо опасные для полетов, такие как слоисто-кучевые (Sc, Stratocumulus), высоко-кучевые (Ac, Altocumulus) и перистые облака (Ci, Cirrus).

Вертикальные потоки в облаках этой стадии направлены как вверх, так и вниз, но их скорость не превышает 5 м/с. Может наблюдаться слабая турбулентность и слабое обледенение.

Средняя продолжительность жизни грозного облака приблизительно 5 часов, но бывает 1 час и даже более 10 часов.

Когда облако образуется, происходит его электризация. После того как электрические заряды накопились в больших объемах, и между землей и облаком напряженность электрического поля стала превышать пробивную напряженность, возникают молнии.

Эти стадии могут развиваться иначе. Все зависит от содержания влаги, контраста температур в зоне атмосферного фронта и рельефа местности, над которыми образуется конвективная облачность [3].

1.4. Виды гроз, условия образования и их характеристики

- Фронтальные грозы:
 - Грозы на холодном фронте
 - Грозы на теплом фронте
 - Грозы на фронтах окклюзии
- Внутримассовые грозы:
 - Конвективные грозы
 - Адвективные грозы
 - Орографические грозы

По основным характеристикам внутримассовые и фронтальные грозы похожи друг на друга. Но фронтальные грозы могут наблюдаться не только во время максимума термической конвекции.

Внутримассовые грозы - это локальные грозы, которые возникают над районами с сильно развитой конвекцией, они образуются в пределах данной воздушной массы вне зоны атмосферных фронтов.

Внутримассовым грозам характерны большое количество электрических зарядов, сильные ливни и град.

Конвективные грозы обычно возникают в размытом барическом поле во второй половине дня. Они небольших размеров, небыстро смещающиеся, скорость примерно 10-15 км/ч. Тем самым они не особо влияют на авиацию, их достаточно просто облететь во время полета. Температура воздуха высокая, а ветер слабый, порывы наблюдаются лишь перед началом грозы [4].

Адвективные грозы образуются после холодных фронтов в массах морского умеренного воздуха. Такие грозы могут образовываться при небольших температурах, им свойственна достаточно высокая скорость перемещения.

Орографические грозы образуются в горах и местности с перепадами высот, в таких местах рельеф и направление движения воздушных масс влияют на увеличение вертикальных потоков.

Грозы на холодном фронте образуются над поверхностью холодного фронта. Обычно они располагаются вдоль линии фронта и имеют ширину около 50-70 км, средняя скорость перемещения около 30-40 км/ч, но бывают случаи, что скорость достигает 100 км/ч. Разрывы между отдельными кучево-дождевыми облаками достигают 10-20 км, это влияет на авиацию. Облететь сбоку от облака безопасно и без нарушения установленных норм безопасности, очень сложно. Такие грозы достаточно мощные во второй половине дня, а к ночи стихают.

Грозы на теплом фронте наблюдаются редко. Они возникают при подъеме теплого и влажного воздуха. Кучево-дождевые облака на теплом фронте всегда незаметны, из-за этого самолет в такую облачность попадает неожиданно. Для определения местоположения кучево-дождевых облаков в полете необходимо использовать бортовые РЛС. Облетать грозы на теплом фронте необходимо только сверху, нужно лететь выше верхней границы облачности. Мощными грозы на теплом фронте становятся ночью, ослабевают в первой половине дня, так как после захода солнца тепло излучается от верхней границы облачности, температура верхней границы облачности уменьшается, что приводит к увеличению вертикального градиента температуры в облаке, появлению неустойчивой стратификации и возникновению кучево-дождевой облачности.

Грозы на фронтах окклюзии наблюдаются в любое время суток, но чаще - на холодных фронтах окклюзии, что означает: во второй половине дня. Такие грозы, можно сказать, никогда не бывают сплошными. На авиацию не влияют, тк их можно спокойно обойти [5].

1.5. Основные методы прогнозирования гроз

1) *Прогноз гроз по методу Н. В. Лебедевой.* По данным утреннего зондирования атмосферы рассчитываются параметры конвекции (Таблица 3.1), по которым затем определяют будут те или иные конвективные явления или нет. Оправдываемость наличия гроз по данному методу 80%, а отсутствие гроз 89%, что считается очень хорошей статистикой.

Таблица 1.2 – Параметры конвекции и соответствующие им конвективные явления (по Н.В. Лебедевой)

ΣD	D_o	ΔH_k	$H_{\text{конд}}$	$H_{\text{конв}}$	$T_{\text{конв}}$	ΔT	$\Delta H_{k,o}$	Конвективные явления
>25	>20	-	-	-	-	-	-	Не ожидаются
≤ 25	≤ 16	>10	~1,5	>6	<-23	>4	~4,5	Слабый ливневой дождь
≤ 20	≤ 14	>20	~1,5	>5	От -23 до -10	≥ 3	>3,5	Ливневой дождь без грозы
≤ 20	≤ 14	>30	~1,5	>8	<-23	≥ 3	>6,5	Ливневой дождь, местами гроза
≤ 16	~10	>60-100	От 1,5 до 1,0	>8	<-23	≥ 3	>7,5	Сильный ливневой дождь с грозой
~16	~10	-	От 1,5 до 1,0	>8	<-23	>3	>7,5	Град

2) *Прогноз гроз по методу Вайтинга.* Метод Вайтинга основан на расчете по данным утреннего зондирования коэффициента K , который определяется по формуле (1):

$$K = (T850 - T500) + TD850 - (T700 - TD700), \quad (1)$$

где:

- K** - характеризует степень конвективной неустойчивости воздушной массы, необходимая для возникновения гроз;
- T850** - температура воздуха в °С на изобарической поверхности 850 гПа;
- T500** - температура воздуха в °С на изобарической поверхности 500 гПа;
- TD850** - температура точки росы в °С на изобарической поверхности 850 гПа;
- T700** - температура воздуха в °С на изобарической поверхности 700 гПа;
- TD700** - температура точки росы в °С на изобарической поверхности 700 гПа.

Таблица 1.3 – Вероятность гроз по рассчитанному коэффициенту К (метод Вайтинга)

К	Количественная оценка
$K < 20$	Грозы не ожидаются
$20 < K < 25$	Отдельно изолированные грозы
$25 < K < 30$	Местами грозы
$K > 30$	Грозы повсеместно

Метод Вайтинга дает хорошие результаты при прогнозе гроз по площади. Синоптик утром, получив данные зондирования атмосферы, для своей территории, строит карту изолиний коэффициента К. Предварительно рассчитываются и наносятся на карту значения К, затем проводятся изолинии

через пять единиц, начиная со значения 20. Затем очаг с максимальным значением этого коэффициента переносится по потоку на 12 ч, и в том районе, где этот очаг окажется, следует указывать грозы. Данный метод получил достаточно широкое распространение по территории России. Значения коэффициента K , целесообразно уточнять для каждого пункта. Метод Вайтинга также можно отнести к индексам неустойчивости [6].

3) Прогнозирование гроз через индексы неустойчивости.

Для определения степени неустойчивости атмосферы и возможность образования конвективной облачности, в настоящее время Всемирными центрами зональных прогнозов (ВЦЗП) рассчитываются с использованием разных численных прогностических моделей несколько видов индексов, которые характеризуют условия конвекции. Рассмотрим несколько таких индексов неустойчивости.

1) VT - Vertical Totals индекс

$$VT = T850 - T500, \quad (2)$$

где:

$T850$ - температура воздуха на изобарической поверхности 850 гПа;

$T500$ - температура воздуха на изобарической поверхности 500 гПа;

$VT > 28$ - тропосфера обладает высоким потенциалом конвективной неустойчивости, достаточным для образования гроз.

2) СТ – Cross Totals индекс

$$СТ = TD850 - T500, \quad (3)$$

где:

TD850 - температура точки росы на изобарической поверхности 850 гПа;

T500 - температура воздуха на изобарической поверхности 500 гПа.

Таблица 1.4 – Вероятность гроз по рассчитанному индексу *Cross Totals*

СТ	Количественная оценка
Менее 18	Низкий потенциал тропосферы для образования конвективной неустойчивости
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.
Более 25	Очень высокая энергия неустойчивости. Очень сильные грозы.

3) TT – Total Totals индекс

$$TT = (T850 - T500) + (TD850 - T500) = VT + CT, \quad (4)$$

где:

T850 - температура воздуха в °С на изобарической поверхности 850 гПа;

T500 - температура воздуха в °С на изобарической поверхности 500 гПа;

TD850 - температура точки росы в °С на изобарической поверхности 850 гПа.

Таблица 1.5 – Вероятность гроз по рассчитанному индексу *Total Totals*.

TT	Количественная оценка
Менее 44	Грозовая деятельность невозможна.
44-45	Отдельная гроза
46-47	Рассеянные грозовые очаги
48-49	Значительно количество гроз, некоторые из них сильные.
50-51	Рассеянные сильные грозы, некоторых из них могут быть со смерчем.
52-55	Значительное количество сильных гроз, некоторые из них могут быть со смерчем.
Более 55	Многочисленные сильные грозы с сильными смерчами.

4) SWEAT — комплексный критерий для диагноза и прогноза опасных и стихийных явлений погоды, связанных с конвективной облачностью. SWEAT включает в себя влажность нижнего уровня тропосферы, степень неустойчивости, скорость ветра в средней и нижней тропосфере и адвекцию тёплого воздуха (отклонение температуры между уровнями 850 и 500 гПа). Поэтому данный показатель является попыткой совместить кинематические и термодинамические характеристики атмосферы в один индекс:

$$\text{SWEAT} = 12 * \text{TD850} + 20 * (\text{TT} - 49) + 3,888 * \text{F850} + 1,944 * \text{F500} + (125(\sin(\text{D500} - \text{D850}) + 0,2)), \quad (5)$$

где:

TD850 - температура точки росы в °С на изобарической поверхности 850 гПа;

TT - Total Totals индекс

F850 - скорость ветра на 850 гПа (в м/с)

F500 - скорость ветра на 500 гПа (в м/с)

D500 - направление ветра на соответствующих поверхностях (в градусах)
D850

Последнее слагаемое в формуле будет равно 0, если не выполняется любое из следующих условий:

- D850 в диапазоне 130° - 250°;

- D500 в диапазоне 210° - 310°;

- Разность в направлении ветра (D500 - D850) положительна;

- F850 и F500 скорости ветра ≥ 7 м/с [7].

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА АЭРОДРОМЕ ТАЛАГИ (Г. АРХАНГЕЛЬСК) ЗА ПЕРИОД 2013-2021 ГГ.

2.1. Регион исследования

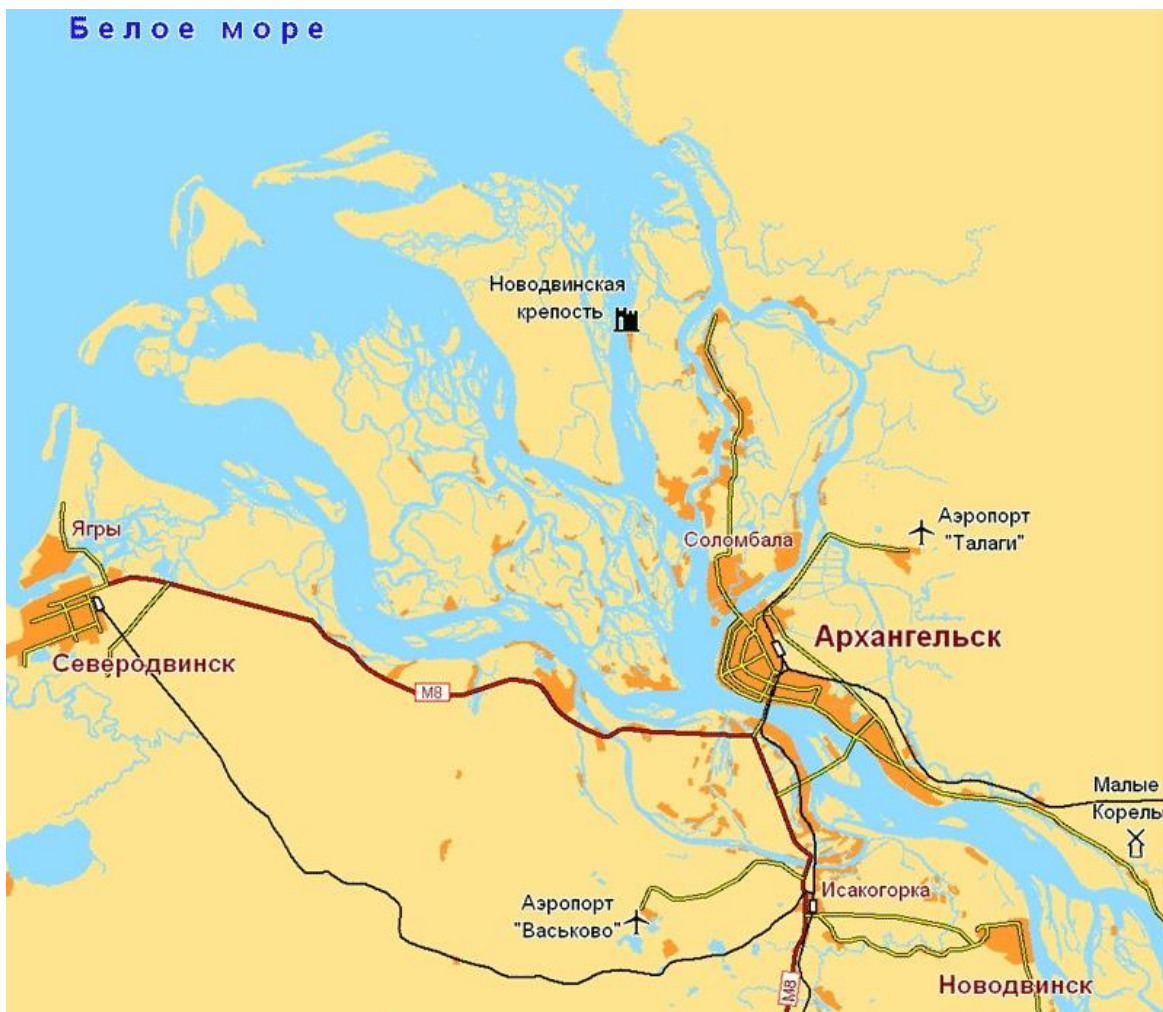


Рисунок 2.1 – Карта города Архангельск

Исследования грозовой деятельности проводились на территории аэродрома Талаги города Архангельска. Аэродром расположен к северу-востока от города Архангельска на удалении 10-ти км (рис. 3.1). Город Архангельск расположился у берегов одной из крупнейших судоходных рек севера России – в дельте Северной Двины. Северная Двина северо-западнее на 35 км от

аэродрома впадает в Двинскую губу (один из крупнейших заливов Белого моря, наряду Кандалакшским заливом, Онежской губой и Мезенской губой). Северная Двина имеет большое количество протоков и рукавов. Также в 5-ти км западнее от аэродрома, протекает река Кузнечиха, а в 2-х км юго-западнее от аэродрома протекает река Юрас.

Местность вблизи аэродрома равнинная, местами заболоченная, покрытая смешанным и хвойным лесом. Взлетно-посадочная полоса ориентирована с запада на восток (МК-261° и МК-81°) длиной 2500 м, шириной 44 м. С севера, непосредственно к взлетно-посадочной полосе, примыкает лес высотой 10-15 м, на востоке и северо-востоке от полосы – болота

В районе аэродрома имеются искусственные препятствия:

- здание аэровокзала, здание КДП, жилые дома – высота около 20-30м;
- водонапорная башня высотой 32м.

Из промышленных объектов в районе аэродрома расположены:

- Соломбальский ЦБК: азимут 263°, удаление 8км, максимальная высота труб 69м;
- ТЭЦ: азимут 248°, удаление 7км, высота трубы 156м;
- Гидролизный завод: азимут 298°, удаление 10км, высота трубы 103м;
- Архангельский ЦБК: азимут 163°, удаление 20км, высота трубы 174м.

Близость рек, болот, водоемов и промышленных объектов города влияет на формирование погодных условий аэродрома Архангельск [8].

2.2. Создание архива данных наличия гроз на аэродроме Талаги за период 2013-2021 гг. и его анализ.

В таблице 2.1 представлен фрагмент архива данных бортовой погоды, предоставленный синоптической службой аэродрома Талаги (город Архангельск), который использовался для составления архива данных гроз над аэродромом Талаги (город Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Таблица 2.1 – Фрагмент архива бортовой погоды аэродрома Талаги (г. Архангельск) за период июнь 2021 г.

Дата	Время	номер рейса	Наблюдаемое явление **	Время	Местоположение ***	Эшелон
	1240	A106	210/12MC	1240	AD ULAA	FL020
21.06.21	01.48	ARH	28014MPS	01.48	AD ULAA	600M
22.06.2021	06.30	R6337	250/9KT -52	06.30	AZ195 R310	FL300
	06.33	02324	240/12MPS +21	06.33	ULAA-ULAL 60KM FROM ULAA	FL030
	6.44	TM9233	324/73KT -52	06.44	N6713 E05231	FL370
	07.36	ARH136	250/10MPS	07.36	AD ULAA	FL020
	8.30	JI-410	TS	8.30	N6443 E04324	FL060
	13.09	30691	WARM FRONT TOP 7500M	13.09	N6825 E04728	FL170
	13.45	ARH120	FBL-MOD TURB	13.45	PLESECK	FL380
	14.06	ARH148	280/07M/C	14.06	AD ULAA	FL020
	19.27	ROSSIA6993	250/22MPS	19.26	AD ULAA	FL020
	20.40	R6994	260/24MPS	20.39	AD ULAA	FL020
23.06.2021	2245	R6303	310/13MPS MOD TURB	2044	AD ULAA	FL100/020
	05.59	AFL2969	FBL-MOD TURB	05.59	N6250 E03735	FL340
	06.15	AFL2969	FBL-MOD TURB	06.15	N6441 E03607	FL320
	10.19	UTAIR334	TS	10.19	N6556 E04849	FL380
24.06.2021	05.40	AFL2921	FBL-MOD TURB	05.40	AZ228 R226	FL340
	05.51	R6305	150/05MPS	05.51	AD ULAA	FL020

В таблице 2.2 представлен фрагмент архива данных с сайта РП5 ([https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Архангельске,_им._Ф._А._Абрамова_\(аэропорт\),_METAR](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Архангельске,_им._Ф._А._Абрамова_(аэропорт),_METAR)), который использовался для составления архива гроз над аэродромом Талаги (город Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Таблица 2.2 – Фрагмент архива погоды с сайта РП5 [9]

Местное время в А	T	P0	P	U	DD	Ff	f1C	WW	W'W'	c	VV	Td
22.08.2019 18:30	13.0	758.8	760.5	94	Штиль, безветр	0		Гроза, дождь		Сплошная (100%)	1.2	12.0
22.08.2019 18:00	13.0	758.0	759.7	94	Ветер, дующий	4		Гроза, дождь		Сплошная (100%)	3.5	12.0
22.08.2019 17:30	16.0	758.0	759.7	77	Ветер, дующий	5		Гроза		Разорванная (6С 10.0 и более		12.0
22.08.2019 17:00	21.0	757.3	759.0	64	Переменное на	1		Гроза		Рассеянная (40-: 10.0 и более		14.0
21.08.2019 14:00	19.0	762.6	764.3	78	Переменное на	1		Гроза		Разорванная (6С 10.0 и более		15.0
21.08.2019 13:30	17.0	762.6	764.3	83	Штиль, безветр	0		Слабый(ая)(ые) гроза, дождь		Разорванная (6С 10.0 и более		14.0
21.08.2019 13:00	19.0	762.6	764.3	78	Переменное на	1		Слабый(ая)(ые) гроза, дождь		Разорванная (6С 10.0 и более		15.0
21.08.2019 12:30	20.0	762.6	764.3	73	Переменное на	1		Гроза		Рассеянная (40-: 10.0 и более		15.0
15.07.2019 21:00	13.0	756.0	757.7	82	Штиль, безветр	0		Вблизи гроза		Разорванная (6С 10.0 и более		10.0
15.07.2019 19:30	15.0	756.0	757.7	82	Переменное на	1		Слабый(ая)(ые) гроза, дождь		Разорванная (6С 10.0 и более		12.0
15.07.2019 19:00	17.0	756.0	757.7	68	Ветер, дующий	4		Вблизи гроза		Разорванная (6С 10.0 и более		11.0
15.07.2019 15:30	18.0	756.0	757.7	64	Переменное на	1		Гроза		Рассеянная (40-: 10.0 и более		11.0
15.07.2019 14:00	18.0	755.2	756.9	52	Ветер, дующий	1	6	Вблизи гроза		Рассеянная (40-: 10.0 и более		8.0
07.07.2019 8:00	14.0	747.6	749.3	100	Переменное на	1		Слабый(ая)(ые) гроза, дождь		Сплошная (100%)	4.4	14.0

В таблице 2.3 представлен, созданный на основе сведений бортовой погоды, архива данных, полученного от синоптической службы аэродрома Талаги (город Архангельск) и архива данных с сайта РП5 ([https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Архангельске,_им._Ф._А._Абрамова_\(аэропорт\),_METAR](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Архангельске,_им._Ф._А._Абрамова_(аэропорт),_METAR)), архив данных о наличии гроз над аэродромом Талаги за период 2013-2021 гг. на различном удалении с точными датами и удалением от аэродрома.

Для распределения гроз по удалению были рассмотрены 4 градации: гроза над точкой (удаление менее 8 км), гроза в окрестностях точки (удаление от 8 до 16 км), гроза в ближней зоне (удаление от 16 до 50 км) и гроза в дальней зоне (удаление более 50 км). На основании этих критериев грозы были разделены на группы и внесены в таблицу для дальнейшей обработки.

Таблица 2.3 – Фрагмент архива гроз по удалению от аэродрома Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Гроза над точкой		Гроза в окрестностях точки		Гроза в ближней зоне		Гроза в дальней зоне	
до 8 км		от 8 до 16 км		от 16 до 50 км		более 50 км	
18.08.2021	4	01.08.2021	12	16.08.2021	46	15.07.2021	82
15.08.2021	4	13.06.2021	14	02.08.2021	37	30.06.2021	127
13.08.2021	4	21.05.2021	15	21.07.2021	44	28.06.2021	55
31.07.2021	4	14.05.2021	10	25.04.2021	22	25.08.2020	124
30.07.2021	4	22.09.2020	16	24.04.2021	44	09.07.2020	355
12.07.2021	4	26.07.2020	10	13.07.2020	45	06.07.2020	54
24.06.2021	4	08.07.2020	10	04.07.2020	29	15.05.2020	63
23.06.2021	4	02.07.2020	11	16.06.2020	45	11.09.2019	88
22.06.2021	4	15.07.2019	15	10.06.2020	22	23.08.2019	96
20.06.2021	4	29.06.2018	9	08.06.2020	22	07.06.2019	63
24.05.2021	4	24.06.2018	10	06.06.2020	45	26.05.2019	124
24.08.2020	2	11.08.2016	10	28.05.2020	39	19.08.2018	64
21.08.2020	4	05.08.2016	16	18.05.2020	30	08.07.2018	64
27.07.2020	4	28.07.2016	12	12.09.2019	36	14.09.2017	59
22.07.2020	4	14.07.2016	14	26.08.2019	47	20.08.2017	52

В таблице 2.4 представлена сводная таблица количества гроз на различном удалении за каждый год за период 2013-2021 гг. над аэродромом Талаги (город Архангельск).

Таблица 2.4 – Количество гроз с разным удалением от аэродрома Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

	до 8 км	от 8 до 16 км	от 16 до 50 км	от 50 до 100 км	Всего за год
2013	3	1	2	1	7
2014	8	2	4	0	14
2015	1	4	3	1	9
2016	3	7	9	2	21
2017	0	0	3	2	5
2018	3	2	3	2	10
2019	8	1	5	4	18
2020	7	4	8	4	23
2021	11	4	5	3	23
Всего	44	25	42	19	130

Анализируя таблицу 2.4 выделяется несколько экстремумов: 2017 г., 2020 г. и 2021 г. 2017 год выделяется очень низким значением количества гроз равным 5 на удалении больше 16 км и 0 на удалении до 16 км, что обуславливается холодным летом, а за 2020 год и 2021 год наоборот зафиксировано наибольшее количество гроз по 23 грозы всего и 11 гроз и 15 гроз на удалении до 16 км соответственно. Температура является дополнительным фактором образования гроз, но так или иначе оказывает непосредственное воздействие на их формирование, поэтому необходимо учитывать аномально холодное лето 2017 года и аномально жаркое лето 2020 и 2021 годов. В дальнейшем будут рассматриваться грозы на удалении не более 16 км, так как нас интересует исследование грозовой деятельности над аэродромом Талаги.

Из анализа рисунка 2.2 следует, что месяцы с наибольшим количеством гроз – июнь и июль: 22 и 21 гроза соответственно, наименьшее количество гроз в сентябре равное 2. Ранние и поздние грозы отсутствуют.

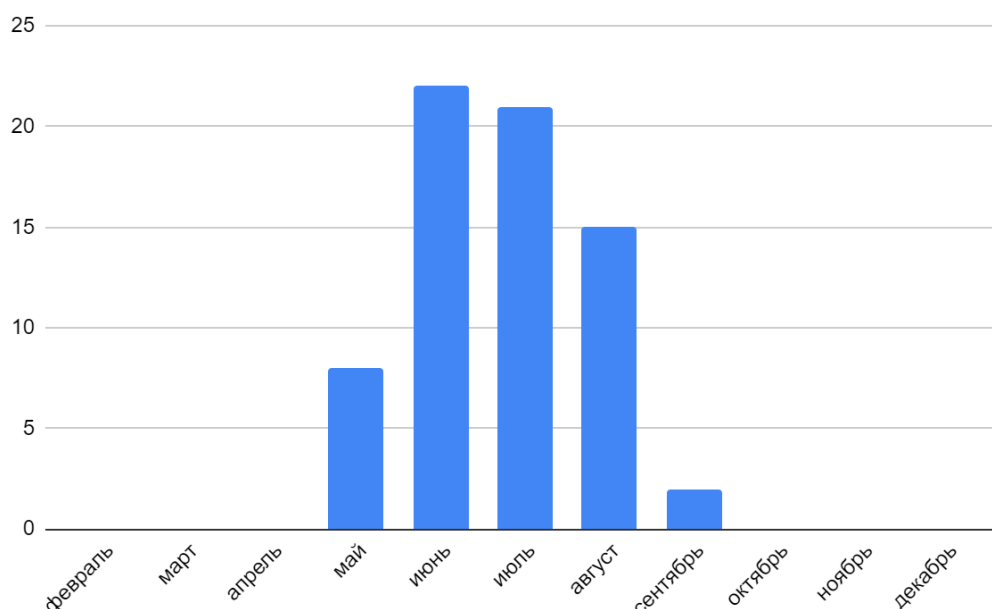


Рисунок 2.2 – Распределение гроз по месяцам (годовой ход) на аэродроме Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

После формирования архива данных, был проведён анализ архивов синоптических карт с сайта wetter3.de, пример изображения синоптической ситуации представлен на рисунке 2.3, и деление гроз на фронтальные и внутримассовые, в результате чего была сформирована таблица, фрагментом которой является таблица 2.5.

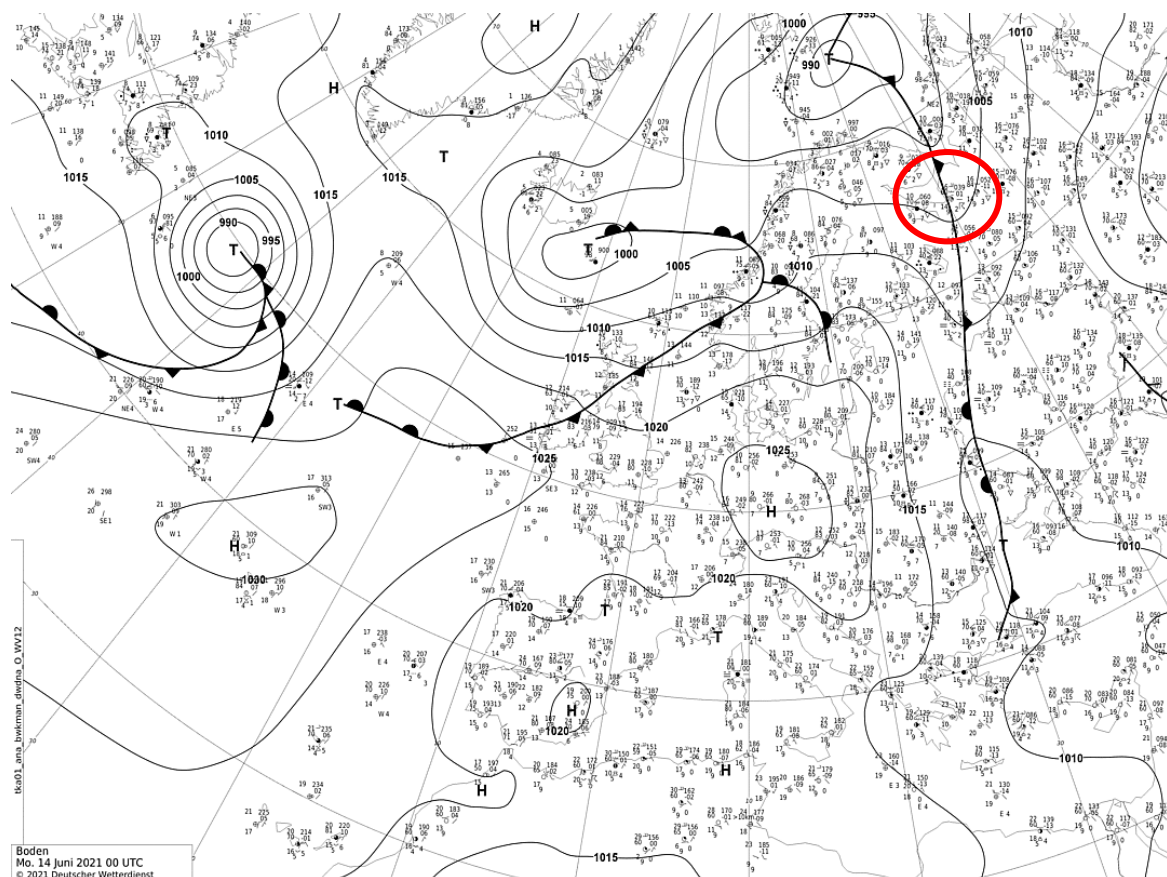


Рисунок 2.3 – Пример синоптической карты с наличием гроз на холодном фронте в районе аэродрома Талаги (г. Архангельск) за 14.06.2021 г 00 UTC [10]

На синоптической карте, представленной на рисунке 4.2 видно, что Архангельск находится в ложбине и в зоне действия холодного фронта, которым обусловлено наличие гроз.

Таблица 2.5 – Фрагмент архива гроз по удалению от аэродрома Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Дата	Тип	Половина дня	Дата	Тип	Половина дня
20.05.2014	фронтальная	8-9	15.07.2019	внутримассовая	14-21
31.05.2014	фронтальная	20	21.08.2019	внутримассовая	12:30-14
03.07.2014	фронтальная	00-06	22.08.2019	внутримассовая	17-19:30
04.07.2014	внутримассовая	14-16	10.09.2019	внутримассовая	23:30
15.07.2014	фронтальная	7-19	09.06.2020	фронтальная	12:30-16:30
28.07.2014	внутримассовая	21-22	19.06.2020	фронтальная	11-12
01.08.2014	фронтальная	15-16	02.07.2020	внутримассовая	13:30-18:30
13.08.2014	фронтальная	14-16	03.07.2020	фронтальная	21:30-23
16.08.2014	внутримассовая	12	08.07.2020	фронтальная	23-23:30
20.08.2014	внутримассовая	14-19	22.07.2020	фронтальная	17:30-18
19.05.2015	внутримассовая	14-16	26.07.2020	внутримассовая	22
28.05.2015	внутримассовая	16-17	27.07.2020	внутримассовая	18-20
07.06.2015	внутримассовая	16-17	21.08.2020	фронтальная	15
20.07.2015	внутримассовая	14:30-15:30	24.08.2020	фронтальная	14-20:30

В результате обработки данных, представленных в таблице 2.5 была сделана диаграмма, представленная на рисунке 2.4, из которой можно сделать вывод, что фронтальные грозы над аэродромом Талаги (город Архангельск) за период 2013-2021 гг. наблюдались чаще, чем внутримассовые.

Фронтальные и внутримассовые грозы

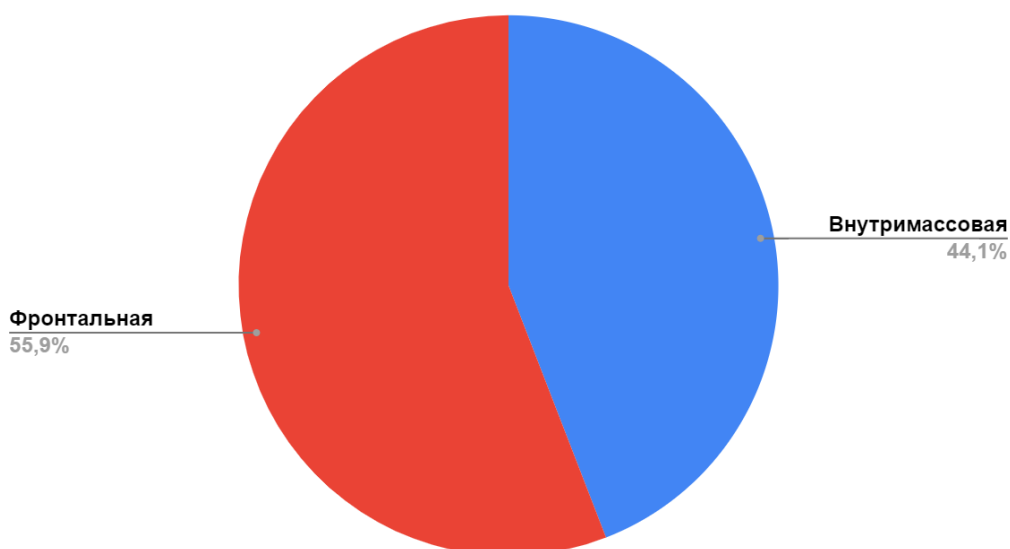


Рисунок 2.4 – Распределение гроз по типам над аэродромом Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Ниже, на рисунке 2.5, представлено распределение гроз по времени суток на аэродроме Талаги, сделанная на основании продолжительности гроз из таблицы 2.5. Из диаграммы следует, что наиболее часто грозы фиксировались в промежуток с 14 до 19 часов, а минимум гроз зафиксирован в 1 час. Максимальное значение равно 19 фиксировалось в 16 часов, а минимальное равно 1, как написано выше, в 1 час.

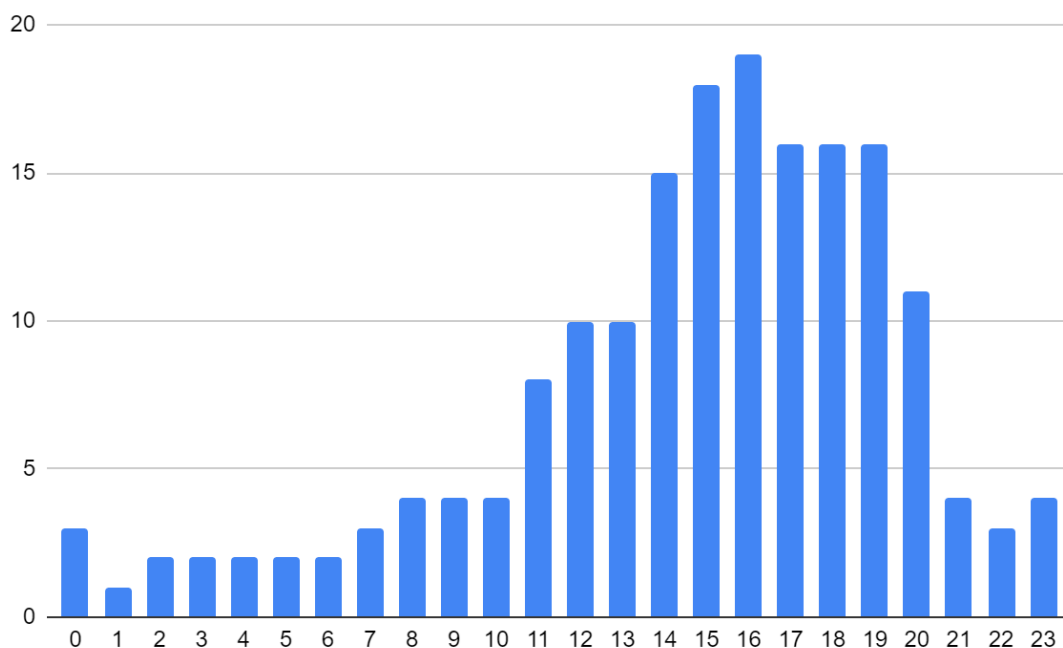


Рисунок 2.5 – Распределение гроз по времени суток на аэродроме Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

На основании архивов синоптических карт фронтальные грозы были поделены на типы в зависимости от того, на каком фронте они образованы, результат представлен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Фрагмент таблицы распределения фронтальных гроз по типам по данным АМЦ Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Дата	Тип	Тип фронта	Дата	Тип	Тип фронта
10.06.2013	фронтальная	окклюзия	09.06.2019	фронтальная	теплый
17.06.2013	фронтальная	окклюзия	19.06.2019	фронтальная	холодный
22.07.2013	фронтальная	холодный	21.06.2019	фронтальная	теплый
20.05.2014	фронтальная	теплый	09.06.2020	фронтальная	холодный
31.05.2014	фронтальная	окклюзия	19.06.2020	фронтальная	холодный
03.07.2014	фронтальная	теплый	03.07.2020	фронтальная	окклюзия
15.07.2014	фронтальная	теплый	08.07.2020	фронтальная	теплый
01.08.2014	фронтальная	холодный	22.07.2020	фронтальная	холодный
13.08.2014	фронтальная	холодный	21.08.2020	фронтальная	холодный
09.08.2015	фронтальная	окклюзия	24.08.2020	фронтальная	окклюзия
19.05.2016	фронтальная	холодный	14.05.2021	фронтальная	холодный

На основании таблицы 2.6 была сделана диаграмма, представленная на рисунке 2.6, в которой в процентном соотношении отражено распределение фронтальных гроз по типам.

Тип фронта, на котором возникает гроза

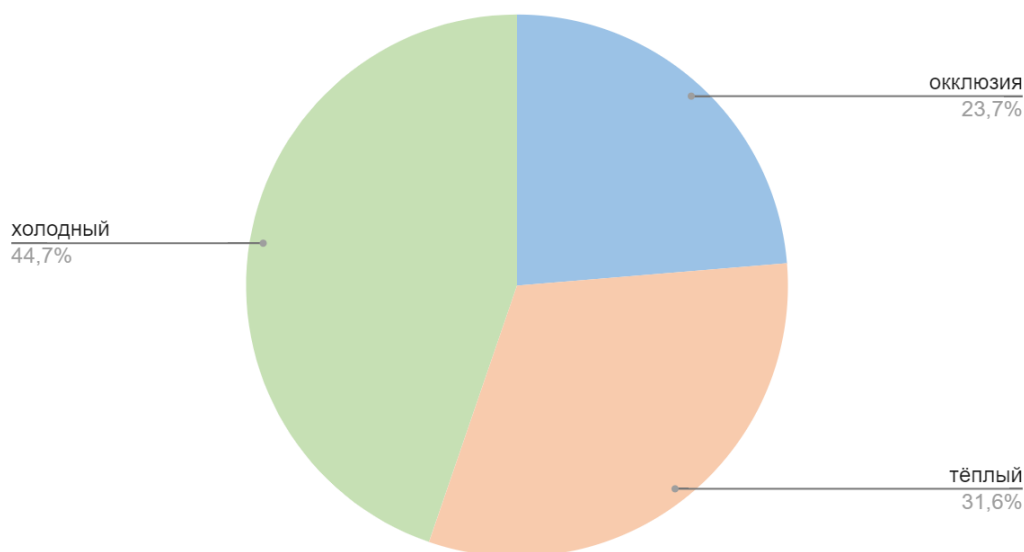


Рисунок 2.6 - Распределение фронтальных гроз по типам над аэродромом Талаги (город Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Из диаграммы распределения фронтальных гроз по типам представленной на рисунке 2.6 следует вывод, что 32% гроз возникает на тёплых фронтах, 45% и 23% на холодных фронтах и фронтах окклюзии соответственно.

На рисунке 2.7 представлена распределение времени начала фронтальных гроз в течении суток, откуда следует, что наиболее часто над аэродромом Талаги грозы начинались в 11 и 14 часов по местному времени.

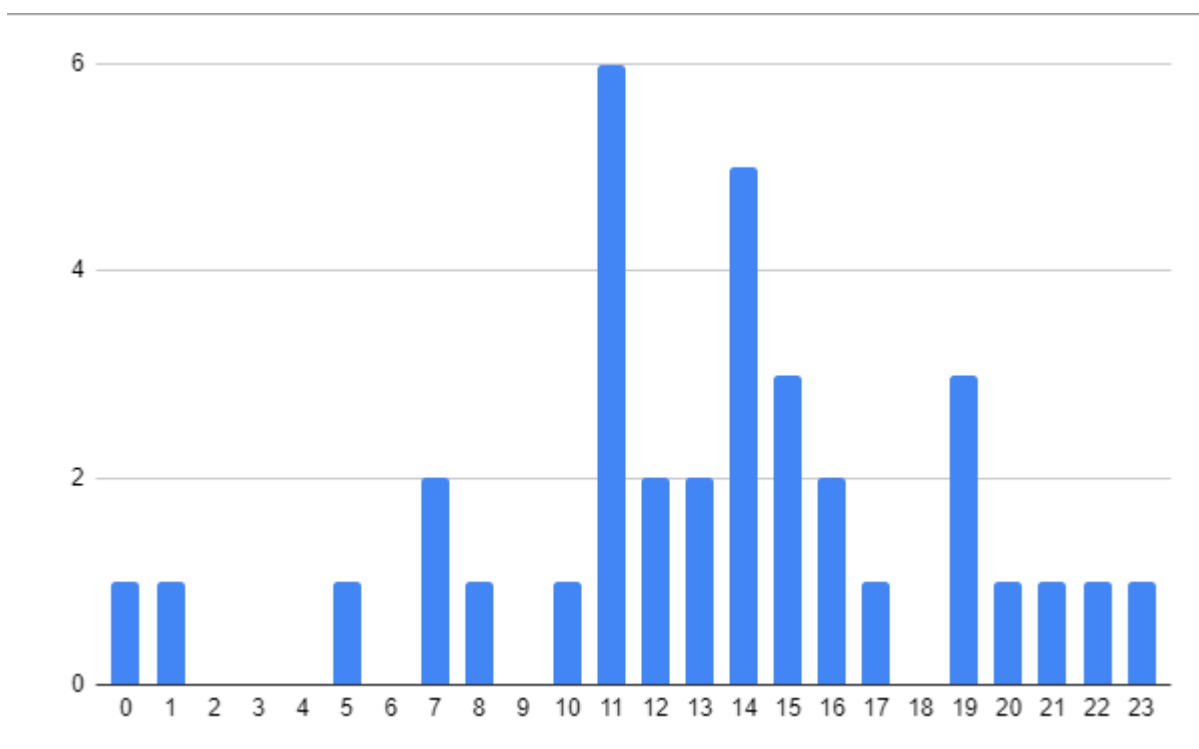


Рисунок 2.7 – Распределение времени начала фронтальных гроз в течение суток над аэродромом Талаги (город Архангельск) за период 2013-2021 гг.

3. РАСЧЁТ И АНАЛИЗ ИНДЕКСОВ НЕУСТОЙЧИВОСТИ И КРИТЕРИЯ ВАЙТИНГА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОГНОЗА ГРОЗ.

Для расчёта критериев были взяты данные аэрологического зондирования, представленные на рисунке 3.1.

22543 Arhangelsk Observations at 00Z 09 Jun 2020

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	THTV K
1014.0	6	16.0	15.2	95	10.82	110	4	288.0	318.3	289.9
1000.0	122	19.6	16.2	81	11.71	115	17	292.8	326.2	294.8
989.0	218	22.4	16.4	69	12.00	142	21	296.5	331.4	298.6
970.0	386	21.7	12.4	55	9.43	190	27	297.5	325.2	299.2
966.0	422	21.6	11.6	53	8.95	189	25	297.7	324.0	299.3
948.0	584	20.4	10.8	54	8.66	185	16	298.1	323.6	299.6
925.0	795	18.8	9.8	56	8.28	205	17	298.5	323.1	300.0
904.0	992	18.0	9.7	58	8.40	225	16	299.6	324.6	301.1
895.0	1078	17.6	9.6	59	8.45	226	16	300.1	325.3	301.6
850.0	1516	13.2	8.6	74	8.31	230	21	300.0	324.7	301.5
816.0	1858	10.6	6.9	78	7.70	226	22	300.7	323.8	302.1
735.0	2719	3.6	-1.4	70	4.72	217	23	302.2	316.7	303.1
722.0	2864	2.8	-0.8	77	5.02	215	23	302.9	318.3	303.8
700.0	3114	1.4	0.2	92	5.58	220	21	304.0	321.1	305.0
668.0	3487	-0.5	-1.9	90	5.02	235	21	305.9	321.6	306.9
624.0	4031	-3.3	-4.9	89	4.28	240	23	308.8	322.4	309.6
542.0	5128	-9.6	-14.6	67	2.29	250	27	314.0	321.7	314.4
521.0	5436	-11.3	-17.3	61	1.90	240	27	315.5	321.9	315.8
511.0	5584	-12.3	-19.3	56	1.64	235	27	316.0	321.6	316.3
500.0	5750	-13.5	-21.5	51	1.38	235	31	316.5	321.3	316.8
400.0	7410	-25.3	-34.3	43	0.53	235	37	322.0	324.0	322.1
378.0	7818	-27.9	-37.9	38	0.39	234	38	323.8	325.3	323.9
302.0	9384	-40.5	-48.6	42	0.15	230	41	327.5	328.1	327.5
300.0	9430	-40.9	-48.9	42	0.15	235	41	327.6	328.2	327.6
251.0	10614	-50.5	-58.5	38	0.06	235	35	330.5	330.8	330.5
250.0	10640	-50.7	-58.7	38	0.06	235	35	330.6	330.8	330.6
238.0	10958	-53.7	-61.7	37	0.04	255	32	330.7	330.9	330.7
235.0	11038	-54.1	-62.1	37	0.04	260	31	331.3	331.4	331.3
200.0	12060	-59.7	-66.7	40	0.02	255	35	338.1	338.2	338.1
186.0	12511	-61.7	-68.7	39	0.02	255	29	341.9	342.0	341.9
163.0	13344	-52.5	-60.5	37	0.07	249	23	370.5	370.8	370.5

Рисунок 3.1 - Фрагмент данных аэрологического зондирования

На основании данных аэрологического зондирования были выбраны данные, необходимые для использования в формулах 2, 3, 4, 5, 6 для расчётов критерия Вайтинга и индексов неустойчивости, фрагмент таблицы данных представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Фрагмент таблицы результатов обработки данных зондирования над аэродромом Талаги (город Архангельск) за период 2013-2021 гг.

	00Z						12Z					
	00Z	12Z	TD850	T850	TD700	T700	T500	TD850	T850	TD700	T700	T500
31.05.2014	23.6	27.4	1.2	5	-2	-1.1	-18.3	5.2	10.2	-3.6	-0.7	-14.9
16.08.2014	27.5	25.7	4.6	7.2	-4.5	-2.7	-17.5	3.1	7.2	-7.4	-3.9	-18.9
19.05.2015	25.1	30.4	2.8	8.8	-6	-1.1	-18.5	1.6	8.6	-1.6	-2.5	-22.3
28.05.2015	31.8	-	6.9	11.4	-2.4	0.2	-16.1					
07.06.2015	13.3	26.5	-5	3	-13.3	-10.9	-17.7	2.2	4.8	-4.7	-2.7	-21.5
09.08.2015	33.4	25.2	7.9	10.4	-0.4	0	-15.5	4.3	7.8	-8.9	-3.9	-18.1
10.06.2016	22.3	16.1	-1.8	0.8	-12.1	-9.7	-25.7	-5.7	-0.7	-17.5	-10.5	-29.5
25.06.2016	33.1	22.5	4.2	7.4	-4.9	-4.3	-22.1	0.6	7.6	-9.3	-3.3	-20.3
05.07.2016	34.2	33.8	8.4	16.4	-3	-0.1	-12.3	6.6	12.6	-1.4	-0.3	-15.7
14.07.2016	31.1	33.1	5.3	10	-4	-1.9	-17.9	7.3	10.6	-3.6	-1.5	-17.3
28.07.2016	32.9	27.6	8.1	12.4	-0.5	0.8	-13.7	5.8	11.8	-3.7	0.8	-14.5

В результате расчётов были получены значения критерия Вайтинга и индексов неустойчивости, представленные в таблице 3.2, цветом выделены значения, которые прогнозировали грозы в данные сроки.

Таблица 3.2 – Фрагмент таблицы с рассчитанными критериями неустойчивости на аэродроме Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

	SWET		CTOT		VTOT		TTOT		K	
	0	12	0	12	0	12	0	12	0	12
10.09.2019	66.2	173.7	16.9	18.7	19.3	22.7	36.2	41.4	12	23
09.06.2020	212.9	225.7	22.1	22.7	26.7	26.7	48.8	49.4	34	34
19.06.2020	141.3	107.8	21.1	15.7	23.3	20.7	44.4	36.4	30	18
03.07.2020	150.6	165.4	18.6	20.1	21.9	26.1	40.5	48.2	22	13
22.07.2020	181.5	143.7	21.4	19.6	23.7	23.3	45.1	42.9	31	23
27.07.2020	117.6	88.8	23.2	21.1	26.9	26.1	50.1	47.2	28	27
21.08.2020	102.9	79.2	22.6	18.9	24.9	24.9	47.5	43.8	26	23
24.08.2020	151.8	100	22	22.5	24.9	25.7	46.9	48.2	30	29
24.05.2021	92.8	17.5	22	21.1	24.1	25.5	46.1	46.6	25	18
20.06.2021	79.6	165.4	6.9	18.1	20.9	25.1	27.8	43.2	-2	17
22.06.2021	184.7	170.9	20.5	21.7	26.5	27.7	47	49.4	31	31
23.06.2021	103.3	190.4	18.3	21.7	30.3	28.7	48.6	50.4	33	24
24.06.2021	193.7	184.2	20.7	18.5	23.5	22.1	44.2	40.6	27	23
12.07.2021	115.7	184.9	18.9	22.9	24.9	24.1	43.8	47	28	34
30.07.2021	133.8	103.5	24.5	19.6	25.7	22.5	50.2	42.1	31	24
31.07.2021	114.8	41.3	21.8	19.3	26.3	28.3	48.1	47.6	27	22

На основании данных из таблицы 3.2 было рассчитано количество успешных прогнозов для критерия Вайтинга и индексов неустойчивости, результаты этих расчётов отражены в процентах на рисунке 3.2.

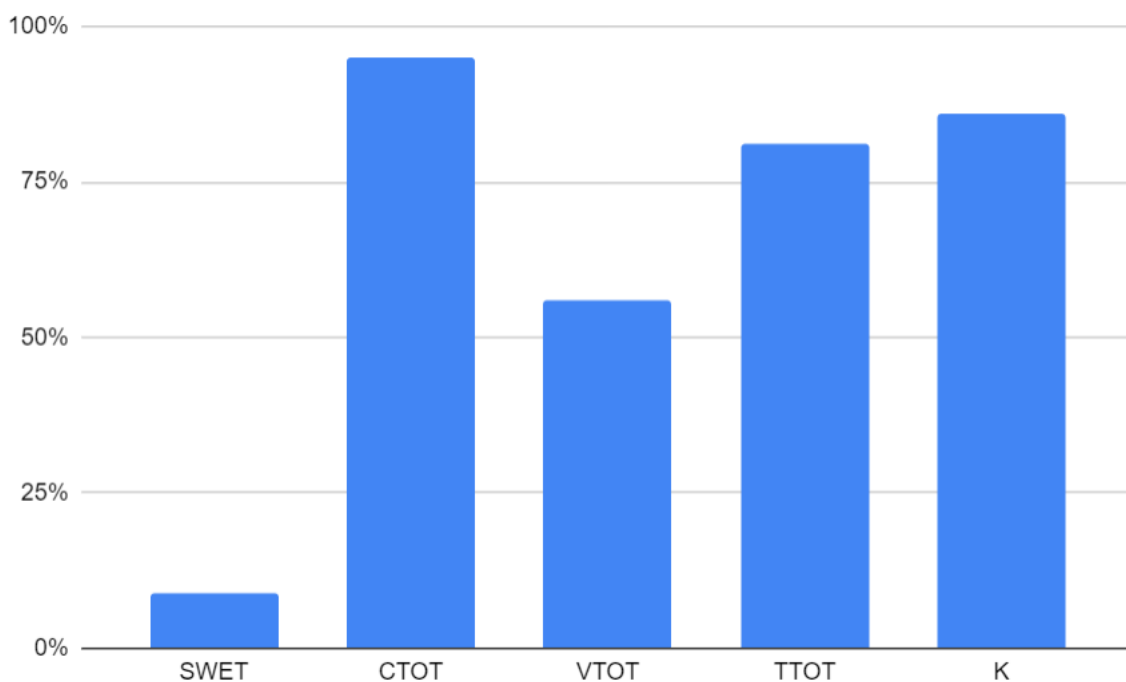


Рисунок 3.2 – Процент оправдавшихся прогнозов различных критериев неустойчивости и критерия Вайтинга из общего числа прогнозов для аэродрома Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Анализируя рисунок 3.2 видно, что индекс SWEAT имеет самую худшую оправдываемость равную 9%, что говорит о том, что использование этого индекса для рассматриваемого региона будет совершенно не целесообразно. Критерий Вайтинга показывает хорошую оправдываемость, равную 86%, его можно использовать для Архангельска, не боясь за последствия. Рассматривая индексы Cross Totals, Vertical Totals и Total Totals видно, что оправдываемость индексов равна 95%, 56% и 81% соответственно. Индекс СТ показывает хороший процент оправдываемости, поэтому его можно использовать для прогноза гроз в районе г. Архангельска, VT показывает неудовлетворительный результат оправдываемости, примерно каждый второй прогноз оказывается неверным, TT исходя из формулы 6 зависит от индексов СТ и VT, в целом процент, показываемый индексом СТ является неплохим показателем, но зависимость от индекса VT повышает риски неверных прогнозов для рассматриваемого региона,

так как, если значение будет сильно занижено, то аналогичная ситуация произойдёт с ТТ.

Аналогично с рисунком 3.2 была построена диаграмма на рисунке 3.3, в которой отражено процентное отношение успешных и не успешных прогнозов критерия Вайтинга.

Общая успешность индекса К

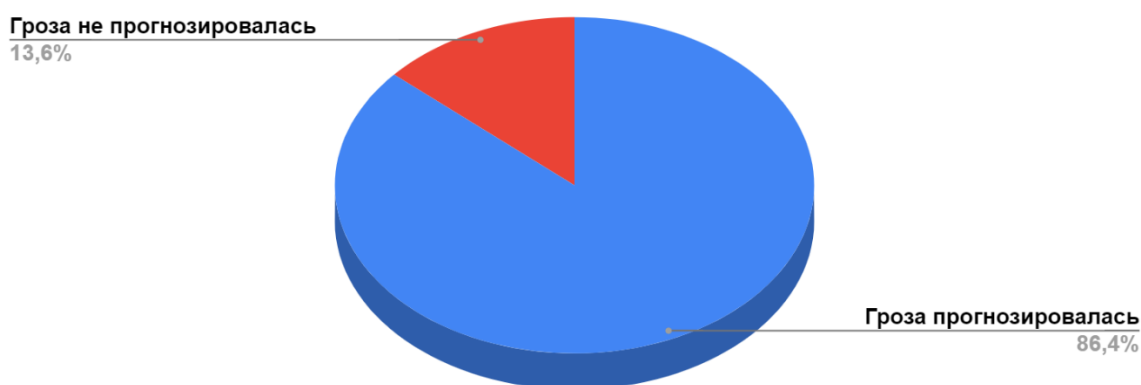


Рисунок 3.3 – Успешность критерия Вайтинга в прогнозировании гроз на аэродроме Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Критерий Вайтинга имеет несколько градаций: изолированные грозы, местами грозы и грозы повсеместно. Для каждой из градаций была построена матрица сопряжённости, все они представлены в таблицах 3.3, 3.4, 3.5 соответственно.

Расчёт производился для временного промежутка равного 100 дням для удобства дальнейшего представления результатов.

Таблица 3.3 – Матрица сопряжённости методического прогноза гроз с $K > 20$ для аэродрома Талаги (город Архангельск)

Изолированные грозы $K > 20$			
	П	$\bar{П}$	$\sum_j^m n_j$
Ф	14	1	15
$\bar{Ф}$	44	41	85
$\sum_i^n n_i$	58	42	100

Таблица 3.4 – Матрица сопряжённости методического прогноза гроз с $K > 25$ для аэродрома Талаги (город Архангельск)

Широко рассеянные грозы $K > 25$			
	П	$\bar{П}$	$\sum_j^m n_j$
Ф	10	1	11
$\bar{Ф}$	21	68	89
$\sum_i^n n_i$	31	69	100

Таблица 3.5 – Матрица сопряжённости методического прогноза гроз с $K > 30$ для аэродрома Талаги (город Архангельск)

Рассеянные грозы $K > 30$			
	П	$\bar{П}$	$\sum_j^m n_j$
Ф	5	1	6
$\bar{Ф}$	5	89	94
$\sum_i^n n_i$	10	90	100

Из анализа матриц, представленных в таблицах 3.3, 3.4 и 3.5 видно, что во всех трёх случаях лишь один раз гроза была в тот момент, когда она не прогнозировалась. Основная разница в том, что с увеличением значения индекса K значительно уменьшается ошибка страховки (прогноз есть, явления нет), для $K > 20$ таких случаев было 44, для $K > 25$ - 21 случай, а для $K > 30$ всего 5 раз.

Далее для каждой из градаций были рассчитаны оправдываемость прогноза, критерий точности по Обухову и критерий надежности Багрова, результаты расчётов отражены в таблице 3.6.

Оправдываемость прогноза отражает соответствие прогностических метеоявлений и фактических.

Критерий точности по Обухову изменяется в пределах от -1 до 1, где 1 – идеальные прогнозы, а -1 – ни один прогноз не оказался успешным, главным отличием от оправдываемости является то, что из 1 принимаемой за 100% точность прогнозов вычитаются ошибки прогнозов, в то время, как оправдываемость считается исключительно из тех случаев, когда был прогноз и явление наблюдалось, но не учитывается случай, когда явление не

прогнозировалось и не наблюдалось, соответственно из-за того, что учитывается всего один элемент матрицы значения получаются сильно завышенными.

Критерий надёжности Багрова меняется от 0 до 1, где 1 – все прогнозы являются оправдавшимися, а 0 – прогнозы на уровне случайных. Для расчёта учитываются общая оправдываемость, оправдываемость случайных прогнозов.

Успешность прогноза:

$$P = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} * 100, \quad (6)$$

где:

n_{11} - число случаев, когда был прогноз наличия явления и явление наблюдалось

n_{22} - число случаев, когда прогноз наличия явления отсутствовал и явление не наблюдалось

N - общее количество случаев

Оправдываемость прогноза факта наличия явления:

$$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} * 100\%, \quad (7)$$

где:

$\frac{n_{11}}{n_{10}}$ - отношение числа случаев, когда был прогноз и явление наблюдалось к общему числу случаев, когда был прогноз.

Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову:

$$Q = 1 - \left(\frac{n_{12}}{n_{10}} + \frac{n_{21}}{n_{20}} \right), \quad (8)$$

где:

$\frac{n_{12}}{n_{10}}, \frac{n_{21}}{n_{20}}$ - относительные ошибки прогнозов.

Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова:

$$H = \frac{p - p_{сл}}{1 - p_{сл}} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} p_{сл} &= \frac{n_{11}^{сл} + n_{22}^{сл}}{N} * 100 = \frac{1}{N} * \left(\frac{n_{10} * n_{01}}{N} + \frac{n_{20} * n_{02}}{N} \right) * 100 \\ &= \frac{n_{10} * n_{01} + n_{20} * n_{02}}{N^2} * 100, \end{aligned} \quad (10)$$

где:

$n_{11}^{сл} = \frac{n_{10} * n_{01}}{N}$ и - число случайно оправдавшихся прогнозов.

$$n_{22}^{сл} = \frac{n_{20} * n_{02}}{N}$$

Таблица 3.6 – Рассчитанные успешность, оправдываемость, критерий точности и критерий надёжности для $K > 20$, $K > 25$, $K > 30$

	$K > 20$	$K > 25$	$K > 30$
P	55%	78%	94%
U	93,33	90,91	83,33
Q	0,42	0,67	0,78
H	0,19	0,37	0,59

Анализируя таблицу 3.6 видно, что успешность прогнозов с увеличением значения K растёт, общая оправдываемость прогноза уменьшается с ростом значения, но точность прогноза, наоборот растёт, так как с увеличением значения количества случаев, когда гроза прогнозировалась уменьшается, а вместе с этим и уменьшается количество «ошибок страховки».

В таблице 3.7 представлены результаты расчёта средней температуры и средней температуры точки росы в дни с грозой и без грозы в пятикилометровом слое атмосферы.

Таблица 3.7 – Средние значения суммы температур в нижнем пятикилометровом слое атмосферы в дни с грозой и без грозы в районе аэродрома Талаги (г. Архангельск) за период 2013-2021 гг.

Явление погоды	T	Td
Гроза	16,93	13,38
Без грозы	13,8	8,73

Анализируя представленную выше таблицу 3.7 можно сделать вывод о том, что грозовая деятельность развивается, когда теплосодержание в нижней тропосфере повышено, следовательно запас потенциальной энергии, которая впоследствии перетекает в образование конвективной облачности, достаточно велик.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате данной работы были сделаны выводы:

1. Месяц с наиболее частой повторяемостью гроз на аэродроме Талаги – июнь за период 2013-2021 гг. зафиксировано 22 грозы.
2. Ранние и поздние грозы за рассматриваемый период над аэродромом Талаги не наблюдались.
3. По количеству фронтальные грозы преобладают над внутримассовыми.
4. Грозы на холодных фронтах над грозами на тёплых и фронтах окклюзии, что подтверждается анализом синоптических карт и временем начала гроз.
5. За период 2013-2021 гг. грозы наблюдались в течении всех промежутков суток, а наиболее часто с 14 до 19 часов.
6. Анализ индексов неустойчивости показал, что SWEAT нельзя использовать для рассматриваемого региона, так как его успешность ниже 10%. А индекс Cross Totals имеет успешность выше 90%, что говорит о то, что для региона Архангельска его использование будет правильным решением. Индекс Vertical Totals является нежелательным для использования, потому что им прогнозируется лишь половина гроз в данном регионе. Индекс Cross Totals имеет хорошую успешность, но его зависимость от не самого успешного индекса VT делает его использование не самым целесообразным.
7. Критерий Вайтинга имеет успешность более 85%, что является хорошим результатом. С ростом значения критерия растёт успешность, так при значении $K > 20$ успешность составляет 55%, при значении $K > 25$ успешность равна 78%, а при $K > 30$ успешность наибольшая и равна 94%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы, Л: Гидрометеиздат, 1984. - 745 с.
2. Воробьёв В.И. Синоптическая метеорология, Л: Гидрометеиздат, 1991. - 616 с.
3. Зверев А.С. Синоптическая метеорология, Л: Гидрометеиздат, 1977. – 711 с.
4. Сафонова Т.В. Авиационная метеорология, Ульяновск: УВАУ ГА, 2005. - 257 с.
5. <https://tainaprirody.ru/atmosfera/groza>
6. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды, СПб: БХВ-Петербург, 2010. - 288 с.
7. <https://flymeteo.org/stat/indexneust.php>
8. Архангельск // Города России: энциклопедия. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. - 559 с.
9. [https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Архангельске,_им._Ф._А._Абрамова_\(аэропорт\),_METAR](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Архангельске,_им._Ф._А._Абрамова_(аэропорт),_METAR)
10. https://wetter3.de/archiv_dwd_dt.html