



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 Платов (г.
Ростов-на-Дону)»

Исполнитель Фролова София Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(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)

«9» июня 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

ОГЛАВЛЕНИЕ	стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОПОЛОЖЕНИИ АЭРОДРОМА.....	6
1.1 Географическое и климатическое описание Ростовской области.....	6
1.2 Климатическое описание Ростовской области.....	7
1.3 Описание местоположения старого аэродрома в г. Ростов-На-Дону	8
1.4 Описание местоположения аэродрома «Платов».....	9
ГЛАВА 2 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АРХИВА ДАННЫХ О ДНЯХ С ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТЬЮ ДЛЯ АЭРОПОРТА «ПЛАТОВ»	121
2.1. Общие сведения о грозах	121
2.2. Анализ грозовой деятельности по архиву данных	15
ГЛАВА 3 ПОДБОР КРИТЕРИЕВ НЕУСТОЙЧИВОСТИ	21
3.1. Индексы неустойчивости	21
3.3. Подбор пороговых значений индекса К	26
3.4. Подбор пороговых значений для Vertical Totals index.....	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	513

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях аэропорты являются ключевыми звеньями в системе воздушного транспорта и гарантируют защиту жизни и здоровья пассажиров. В этой связи, изучение и оценка разнообразных элементов, влияющих на безопасность воздушных перелетов, приобретают особую значимость. Среди таких элементов особое место занимает активность гроз, оказывающая значительное воздействие на безопасность полётов и вызывающая сопутствующие задержки и отмены рейсов.

Грозовая деятельность может существенно влиять на полеты на аэродроме. Во время грозы происходит электризация атмосферы, что может создавать опасность для самолетов и безопасности полетов. В целях безопасности пилоты воздушных судов обычно стараются избегать грозовых областей, так как они могут быть связаны с сильными турбулентными потоками, градом, грозовыми ветрами и молнией, которые представляют угрозу для самолетов.

При наличии грозы аэродромы могут принимать определенные меры для обеспечения безопасности полетов, такие как:

1. **Закрытие аэродрома:** При приближении грозы аэродром может быть закрыт для полетов до тех пор, пока не будет оценена безопасность условий.
2. **Расчетный прокат:** Если гроза ожидается в ближайшем будущем, аэродром может разрешить вылет или посадку самолетов до определенного времени, чтобы минимизировать риски.
3. **Перенаправление полетов:** Если аэродром ожидает грозу, но другие аэродромы в округе находятся в безопасной зоне, полеты могут быть перенаправлены на эти аэродромы.

4. Установка метеорологического оборудования: Аэродромы могут быть оснащены специальным метеорологическим оборудованием, таким как молниеотводы, чтобы снизить риск поражения молнией.

Грозовая деятельность требует постоянного мониторинга и оценки, чтобы обеспечить безопасность полетов на аэродроме.

В рамках представляемой дипломной работы осуществляется исследование грозовой деятельности на аэродроме «Платов», который расположен в городе Ростов-на-Дону.

Актуальность темы исследования грозовой деятельности для аэропорта Платов является важной в контексте переезда аэропорта из города за его пределы. Так как местоположение и топография местности изменилась, то для обеспечения безопасности и эффективности работы аэропорта в условиях переменчивой погоды и грозовой деятельности требуется развитие и совершенствование методов прогнозирования, что делает данную тему важной и актуальной для исследований и практического применения.

Объектом исследования данной работы является атмосферное явление гроза.

Предметом изучения является анализ повторяемости гроз, продолжительности и других характеристик, а также использование индексов неустойчивости для более точного прогнозирования гроз.

Цель работы – исследовать грозовую деятельность на аэродроме Платов г. Ростов-на-Дону.

Задачи исследования:

- Описать новое местоположение аэропорта (Платов);
- Создать архив данных случаев гроз для аэродрома Платов;
- Проанализировать эти данные по типам гроз, синоптической ситуации, по месяцам и др. характеристикам;
- Проанализировать индексы неустойчивости для прогноза гроз в районе аэродрома;

- Подобрать пороговые значения индексов неустойчивости для более точного прогнозирования грозовой деятельности в районе аэродрома Платов.

Структура работы Работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка использованной литературы.

В первой главе описана основная информация о местоположении аэродрома.

Во второй главе описан статистический анализ грозовой деятельности на аэродроме «Платов»

В третьей главе рассмотрены индексы неустойчивости и подобраны пороговые значения.

Информационное обеспечение бакалаврской работы — это сайты с архивами синоптических карт и информации о зондировании атмосферы, данные наблюдения за период с 2018 по 2021 гг. и литература, относящаяся к данной тематике.

ГЛАВА 1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕСТОПОЛОЖЕНИИ АЭРОДРОМА

1.1 Географическое и климатическое описание Ростовской области

Ростовская область находится в южной части Европейской России и граничит с Волгоградской, Воронежской, Тамбовской, Липецкой, Воронежской и Донецкой областями (Рисунок 1.1). Площадь области составляет около 100 тысяч квадратных километров, а население превышает 4 миллиона человек. Почти половина территории занимается сельскохозяйственными угодьями, которые являются основным источником дохода для многих местных жителей.

Ростовская область расположена в живописной степи, характерной для южных регионов России. Главной рекой региона является Дон, который разделяет область на правобережную и левобережную части. Восточная часть области в основном представлена плоской местностью с небольшими холмами и речными долинами, в то время как западная часть отличается более разнообразным рельефом с холмами и возвышенными районами.

Географическое положение Ростовской области имеет свои преимущества, так как она расположена на пересечении важных транспортных магистралей. Железные дороги и автомагистрали соединяют область с другими регионами России, а также с Украиной и Казахстаном. Крупный морской порт в городе Ростов-на-Дону обеспечивает доступ к Черному морю и международным торговым путям.

Благоприятное географическое положение Ростовской области, а также плодородные почвы, доступ к водным ресурсам и развитая инфраструктура делают ее привлекательным регионом для развития сельского хозяйства, промышленности и туризма.

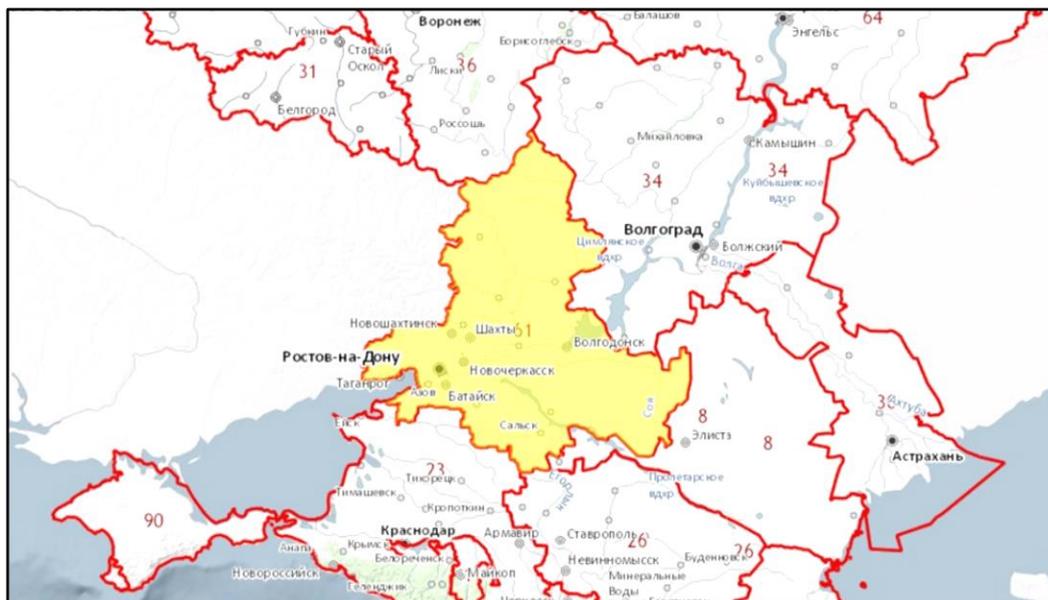


Рисунок 1.1 - Кадастровая карта Ростовской области [1]

1.2 Климатическое описание Ростовской области

Ростовская область – это территория на Юге России, которая характеризуется континентальным климатом, где преобладают степные и полустепные ландшафты.

Здесь лето очень жаркое, с температурами, достигающими отметки +25 до +35 градусов Цельсия. Часто наблюдаются засухи и сильные порывистые ветры. Грозы с обильными осадками также не редкость летом.

Зима в Ростовской области относительно мягкая. Температура воздуха обычно составляет от -5 до -15 градусов Цельсия. Снег выпадает, но его слой обычно невысокий и часто растает в течение нескольких дней. Продолжительность зимы здесь составляет около 3-4 месяцев.

Весна и осень в Ростовской области достаточно короткие и переменчивые. Температура воздуха варьирует от +5 до +20 градусов Цельсия, а осадки бывают неравномерными.

Климат Ростовской области характеризуется высокой солнечной активностью, низкой влажностью воздуха и частыми засухами. Однако

наличие рек, озер и водоемов помогает смягчить климат в некоторых районах области.

1.3 Описание местоположения старого аэродрома в г. Ростов-На-Дону

Аэродром в Ростове-на-Дону был построен в 1925 году. Изначально он находился не на улице Шолохова, а в районе "Роствертола", который в то время был известен как Нахичеванский дачный поселок. На аэродроме были организованы авиарейсы в Москву и Тифлис (ныне Тбилиси).

В 1938 году здание аэровокзала было перенесено на Новочеркасское шоссе, где оно и находится по сегодняшний день. Во время Великой Отечественной войны аэродром на юго-западе страны играл важную роль для Красной Армии. Однако в ходе отступления советским войскам пришлось взорвать все ключевые объекты аэропорта.

Позже аэропорт в Ростове-на-Дону неоднократно модернизировали. В 2007 году он обслужил более миллиона пассажиров, а за последние годы это число выросло более чем вдвое. В 2013 году ростовский аэропорт вошел в десятку самых загруженных в России [2].

Аэропорты, как правило, строятся на открытых участках с минимальным количеством препятствий, таких как высокие здания или горы, однако международный аэропорт города Ростов-на-Дону был расположен в северо-восточной части города, в 9 км к востоку от его центра. Это могло способствовать образованию грозных облаков и увеличить вероятность гроз в этом районе. Еще одним фактором, влияющим на возникновение гроз вблизи аэродрома, является близость к водному объекту, а точнее к реке Дон (рисунок 1.2).

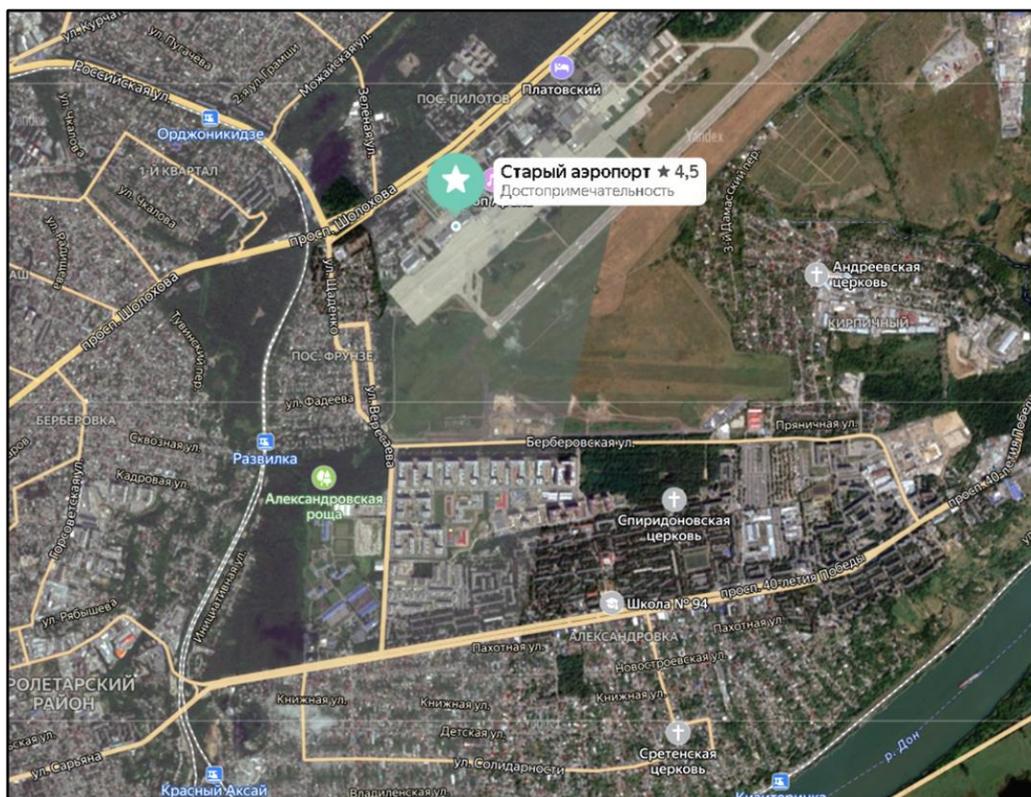


Рисунок 1.2 - Местоположение старого аэропорта на карте.

Присутствие аэропорта в городе обычно сопровождается интенсивным движением самолетов, особенно во время взлетов и посадок. При этом воздушные суда оставляют за собой следы конденсации. Именно эти следы могут способствовать образованию грозовых облаков и стимулировать более интенсивное развитие грозовой активности, увеличивая вероятность их возникновения прямо возле аэропорта.

1.4 Описание местоположения аэродрома «Платов»

Аэропорт Платов расположен в Ростовской области, точнее в 30 километрах на юго-восток от города Ростов-на-Дону(рис.1.3). Название аэропорта дано в честь выдающегося героя Советского Союза - Александра Платова. Аэропорт обладает статусом международного и является одним из крупнейших на Юге России.

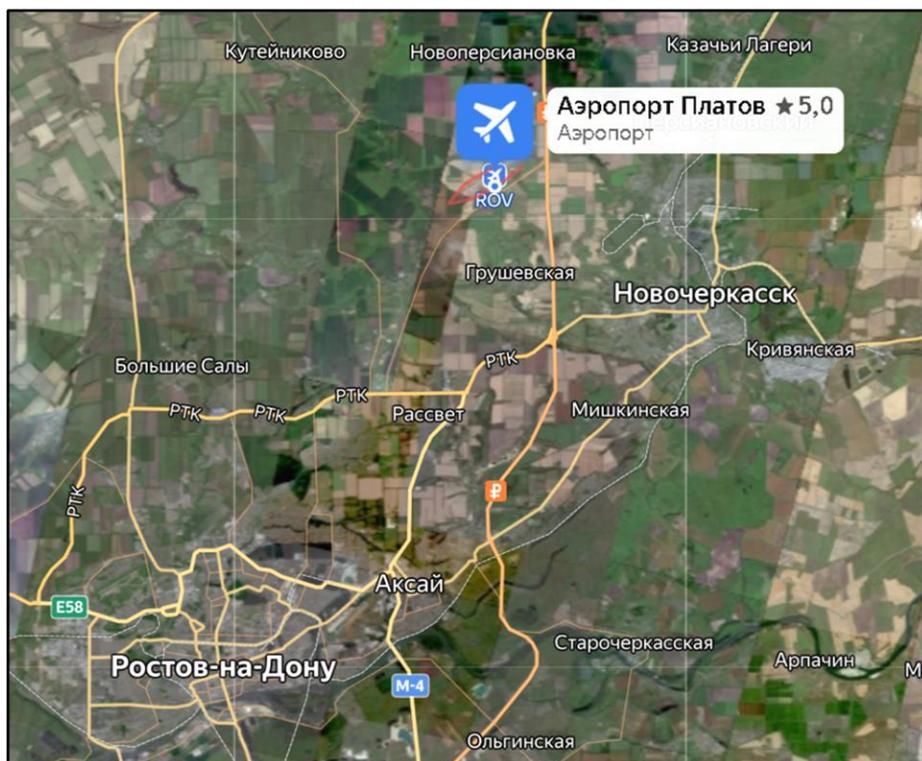


Рисунок 1.3 - Местоположение аэропорта «Платов» на карте

Территория, окружающая аэропорт «Платов», представляет собой степную местность, характерную для Южного Федерального округа. Рельеф там практически равнинный с небольшими возвышенностями. Отсутствие резких горизонтальных провалов и возвышенностей обеспечивает отличную видимость на взлетно-посадочные полосы (рис.1.4).

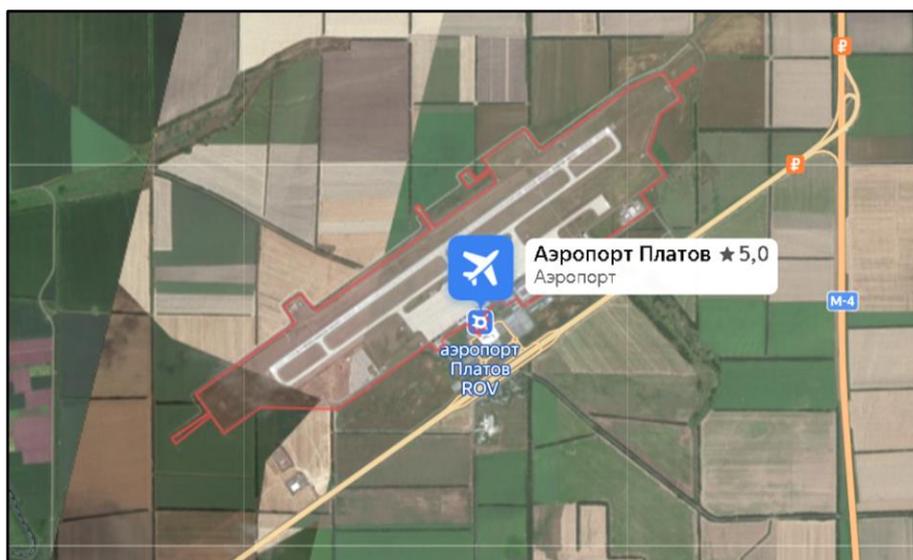


Рисунок 1.4 - Приближенный спутниковый снимок территории аэродрома

В международном аэропорту «Платов» расположен Авиационный метеорологический центр (АМЦ). Он обеспечивает регулярные, специальные наблюдения за состоянием погоды на аэродроме круглосуточно.

АМЦ оснащён современным высокотехнологичным оборудованием для определения:

- температуры и влажности воздуха;
- высоты нижней границы облаков и горизонтальной видимости в нескольких точках вдоль взлётно-посадочной полосы;
- атмосферного давления и параметров ветра.

Сбор и передача метеорологических данных осуществляются автоматически с использованием современных средств связи. Прогноз погоды создается синоптиками на основе новейших прогностических моделей и информации, полученной от искусственных спутников Земли [3].

Характеристики взлётно-посадочной полосы

Код ICAO аэропорта - URRP.

Длина взлетно-посадочной полосы - 3600х45 м

Пороги (торцы) совпадают с началом ИВП. Полоса понижается с СВ на ЮЗ.

№ВВП 05/23 - класс «Б»

Размеры ВПП - 3600х45

Категория ИКАО - II

Магнитные курсы посадки - 046/226

Покрытие ВПП – Цементобетон [4].

ГЛАВА 2 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АРХИВА ДАННЫХ О ДНЯХ С ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТЬЮ ДЛЯ АЭРОПОРТА «ПЛАТОВ»

2.1. Общие сведения о грозах

Формирование грозовой облачности

В общем случае, атмосфера должна быть неустойчивой - воздушные массы около земной поверхности должны быть легче, чем воздух, расположенный на более высоких слоях. Такое явление может быть вызвано прогревом поверхности и, соответственно, воздушных масс над ней, а также наличием высокой влажности воздуха, которая является распространенным фактором. Возможно, это происходит из-за динамических причин, и холодные воздушные массы проникают в верхние слои атмосферы. В результате, более теплый и влажный воздух, получив плавучесть, поднимается вверх, а более холодные частицы из верхних слоев спускаются вниз. Таким образом, происходит перемещение тепла, получаемого поверхностью земли от солнца, в более высокие слои атмосферы. Этот процесс называется свободной конвекцией. В зонах атмосферных фронтов и в горных районах этот процесс усиливается за счет вынужденного подъема воздушных масс.

В поднимающемся воздухе содержится вода в виде водяного пара. По мере охлаждения пар конденсируется и образует облака, при этом выделяется тепло. Облака постепенно растут вверх и достигают высоты, где температура становится отрицательной. Некоторые частицы облаков застывают и превращаются в ледяные, а другие остаются в жидком состоянии. Как ледяные, так и жидкие частицы облаков имеют электрический заряд. В основном, ледяные частицы обладают положительным зарядом, в то время как жидкие - отрицательным. Постепенно частицы облаков продолжают увеличиваться в размерах и начинают осаживаться под действием гравитационного поля, образуя осадки. В процессе этого образуется

накопление объемных зарядов. В верхней части облака образуется положительный заряд, в то время как внизу образуется отрицательный. Когда электрическое поле достигает критического значения, происходит разряд - мы видим молнию и после некоторого времени слышим звуковую волну, известную как гром [5].

Основные сведения о грозовой деятельности

Гроза представляет собой метеорологическое явление, при котором происходят множественные электрические разряды, известные как молнии, между облаками или между облаками и землей. Это атмосферное явление сопровождается громом, звуковым эффектом, который слышен после вспышек молнии. Часто при грозе наблюдаются обильные осадки в форме дождя или града, реже – в форме снега.

Иногда отмечаются грозы и без осадков; их называют сухими грозами.

Грозы бывают двух основных типов: внутримассовые и фронтальные.

Внутримассовые грозы формируются внутри воздушных масс влажного и неустойчивого характера, являются внутримассовыми грозами. Одной из наиболее распространенных является тепловая гроза, также известная как местная гроза, которая возникает в результате нагрева воздуха от подстилающей поверхности. Тепловые грозы обычно происходят летом после полудня и рассеиваются к вечеру. Внутримассовые грозы выступают в виде изолированных грозовых образований или располагаются на расстоянии 20-30 км друг от друга, что позволяет самолету легко их обходить.

Фронтальные грозы возникают как на холодных, так и на теплых фронтах, а также на фронтах окклюзии. Особенно сильными являются грозы на холодных фронтах, которые образуются благодаря мощному подъему теплого воздуха по клину холодного воздуха. В результате, в передней части холодного фронта в теплое время года образуются грозовые облака с ливнями, которые часто сопровождаются градом и сильными шквалами, достигающими ураганной силы.

Грозы на холодном фронте усиливаются во вторую половину дня и ослабевают во второй половине ночи и утром.

Грозы на теплом фронте - явление, которое встречается довольно редко. Они возникают в теплом неустойчивом воздухе, который поднимается в противоположности к холодному воздуху, который, в свою очередь, опускается. Кучево-дождевые облака чаще всего скрыты слоистыми облаками. Наиболее характерной чертой гроз на теплом фронте является их наибольшая активность в вечернее и ночное время.

Опасность для воздушного судна и его экипажа представляют собой мощные вертикальные потоки воздуха, которые поднимаются и опускаются. Эти потоки образуются в области кучево-дождевых облаков и вблизи них, а также существует возможность попадания самолета в зону поражения молнией.

Молнии возникают в кучево-дождевых облаках, где формируются электрические поля огромной напряженности, вызывающие искровые электрические разряды. Эти разряды происходят между облаками и землей, а также между разными частями одного и того же облака.

Удар молнии в самолет может стать фатальным в случае сильного заряда. Однако, он также может быть относительно слабым и называться статическим разрядом. Борьба с такими неблагоприятными событиями требует высокого уровня безопасности и технического оснащения, чтобы минимизировать риски для полетов в условиях электрической активности атмосферы. Кроме того, согласно федеральным авиационным правилам, запрещено влетать в плотные грозовые облака.

Для самолетов, выполняющих регулярные полеты, избежать столкновения с грозой и обеспечить нормальную связь с помощью антенны практически невозможно. Поэтому крайне важно, чтобы самолеты были оборудованы средствами защиты от грозовых разрядов.

В случае удара молнии, повреждения самолета, как правило, не представляют серьезной угрозы. Однако, такие события всегда

сопровожаются значительными расходами. Самолет, пострадавший от молнии, вынужден быть выведенным из эксплуатации. Все системы связи и навигации требуют тщательной проверки и повторной настройки. Эти процессы, а также осмотр всей структуры самолета и восстановление поврежденных элементов вызывают затраты времени и ресурсов авиакомпании, что приводит к повышению неэффективных расходов [6].

2.2. Анализ грозовой деятельности по архиву данных

В процессе исследовательской работы были обработаны данные за 4-х летний период с 2018 по 2021 года. Информация была взята из архивов дневников погоды АВ-6. По полученным данным была составлена таблица с данными о днях с грозовой активностью и прилегающими к ней характеристиками. Всего в архив было занесено 96 дней с грозовой активностью. Затем произведен анализ, в результате которого мы пришли к следующим выводам:

I. В районе аэропорта преобладает грозовая деятельность внутримассового характера (Рис.2.5).

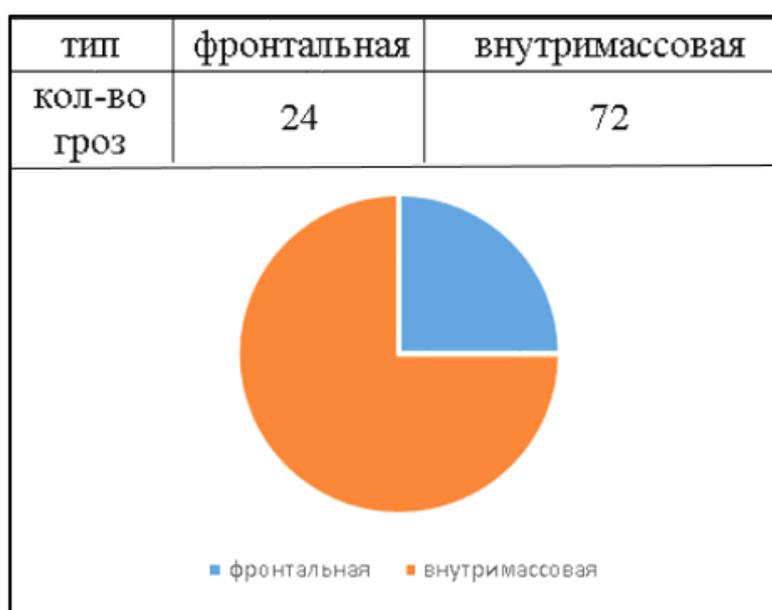


Рисунок 2.5 - Типы грозовой деятельности

Преобладание внутримассовых гроз в районе аэропорта "Платов" может быть связано с рядом факторов:

1. Географическое положение: Ростов-на-Дону и его окрестности располагаются в зоне умеренного континентального климата, отличающегося характерными перепадами температур. Такие атмосферные условия способствуют развитию интенсивных конвективных процессов, которые могут вызывать грозовую активность.

2. Влияние природных водоемов: Расположение близости реки Дон и приближенность Черного моря приводит к повышению влажности воздуха в данном районе, что также способствует образованию гроз.

3. Близость города: Влияние городской застройки и антропогенного воздействия на окружающую среду также могут способствовать созданию микроклиматических условий, которые способны увеличить возможность возникновения грозовой активности.

Комбинация влияния этих факторов, а также то, что Ростовская область часто оказывается на стыке двух погодных фронтов: холодного северного и тёплого южного, формирует внутримассовые грозы в зоне распространения аэропорта «Платов».

II. При оценке количества гроз по месяцам за четырехлетний период (рис.2.2) была выявлена следующая закономерность - наибольшая повторяемость грозовой активности наблюдается в летний период года, а точнее – в июле (Рис.2.3.4).

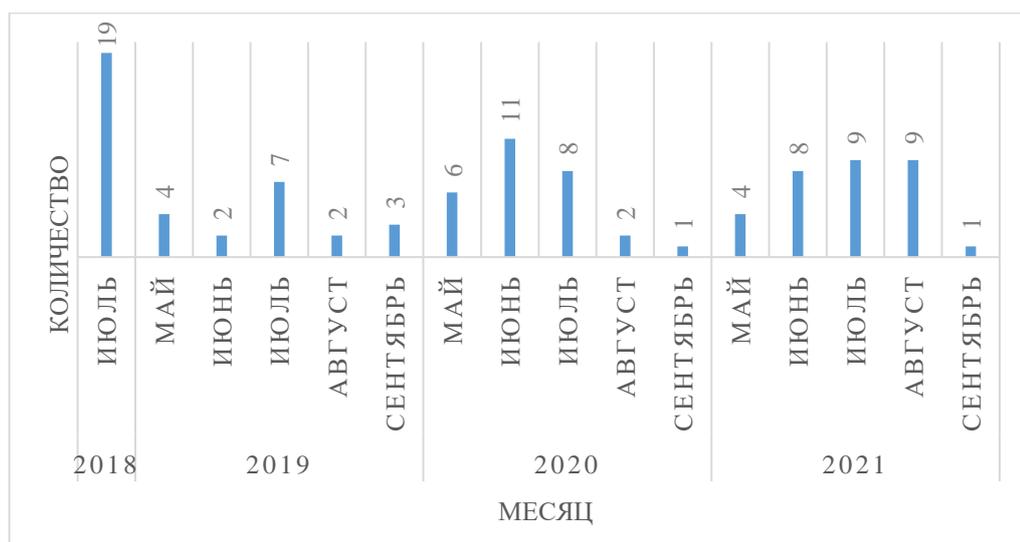


Рисунок 2.2 - Количество гроз по месяцам за 2018-2021 гг.

Месяц	Повторяемость, %
Май	15
Июнь	22
Июль	45
Август	14
Сентябрь	5
Всего	100%



Рисунок 2.3.4 Повторяемость грозовой активности

В результате исследования можно заметить, что в 2018 году грозовая активность наблюдалась в июле, минуя месяца, в которых она обычно начинала свое формирование.

Такому явлению могло способствовать то, что в этот период можно заметить периодические передвижения циклонов и атмосферных фронтов, которые, в свою очередь, поспособствовали усилению конвекции воздушных масс и образованию грозовых облаков. В июле 2018 года такие атмосферные процессы проявлялись с большей интенсивностью, чем обычно.

К сожалению, на данный момент синоптические карты, обработанные именно синоптиками за 2018 год, не удастся найти в архивах. Но при просмотре архивов карт из открытых ресурсов интернета, было выявлено, что за тот год очень часто возникала синоптическая ситуация непривычная для данного региона. Атмосферные фронты в весеннее время часто проходили рядом с регионом, в редких случаях по нему. В летнее время Ростовская область зачастую находилась в центре тепла. Только в июле к региону начали проходить холодные атмосферные фронты. В результате разницы температур между сильно прогретой поверхностью и холодной атмосферой на протяжении практически всего месяца наблюдались грозы и только к августу система атмосфера-земля пришла в более равновесное состояние.

III. Анализ средней температуры по месяцам в месяц с грозовой активностью (Таблица 1)

Таблица 1 - Средняя температура в момент грозы по месяцам

Год	2018	2019					2020					2021				
Месяц	VII	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
t°С ср..	24	16.5	22.7	21.4	19.3	18.9	14.3	21.8	23	19.4	13.4	19	20.9	22.6	23.4	21.4

В более жаркие месяцы лета поверхность земли быстрее нагревается, это приводит к созданию теплой атмосферы над землей, что способствует интенсивному прогреву воздуха. Разница температур между нагретым воздухом у поверхности земли и более холодными слоями атмосферы, а также близость водных объектов, которые испаряются еще сильнее из-за повышения температуры, способствуют развитию конвекции и формированию грозových очагов.

По полученным данным можно сделать следующие выводы:

- средняя температура в момент грозовой активности в летнее время >20°С.

- средняя температура в момент грозовой активности в весеннее и осеннее время < 20°С.

IV. Также по собранным данным был произведен анализ продолжительности грозовой деятельности в районе аэродрома «Платов» (таблица 2).

Таблица 2 - Продолжительность грозовой деятельности

Год	2018	2019					2020					2021					Всего
Месяц	7	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	5	6	7	8	9	
<30 мин.	5			2		2		3		1					1	1	15
30<60мин.	4	1		2		1	1	3	3				3	2	4		24
1<2 ч.	4	1	1	1	1		3	3	1	1		3	2	3	3		27
2<3ч.	2	2			1		2	1	1		1		1	1			12
3<4ч.	1		1	1					1					1			5
4<5ч.	2								1						1		4
5<6ч.				1				1				1	2	1			6
6<7ч.									1					1			2
7<8ч.	1																1

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что средняя продолжительность грозовой деятельности от 30 до 60 минут и от 1 до 2 часов.

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что средняя продолжительность грозовой деятельности от 30 до 60 минут и от 1 до 2 часов. В редких случаях можно наблюдать продолжительность от 7 до 8 часов. Данный случай был замечен 16 июля 2018г., когда на протяжении всего дня, сохранялась облачность 100% и периодически шли осадки. Грозовая деятельность началась еще в вечернее время 15 июля, затем небо продолжали покрывать густые высококучевые облака, но ближе к 6 часам утра стали наблюдаться просветы. Затем, ближе к 9ч. утра облака снова начали сгущаться и образовалась грозовая активность, которая продолжалась вплоть до 5ч. вечера. Синоптическая ситуация определялась областью пониженного давления (тыловая часть ложбины) с проходящей вдоль оси ложбины линией

неустойчивости (рис.2.5). Гроза сформировалась в неустойчивой воздушной массе на фоне активной конвекции, тип грозы – внутримассовая.

Критерий неустойчивости Вайтинга показал высокую вероятность гроз $K=34$ (при $K > 30$ грозы вероятны повсеместно).

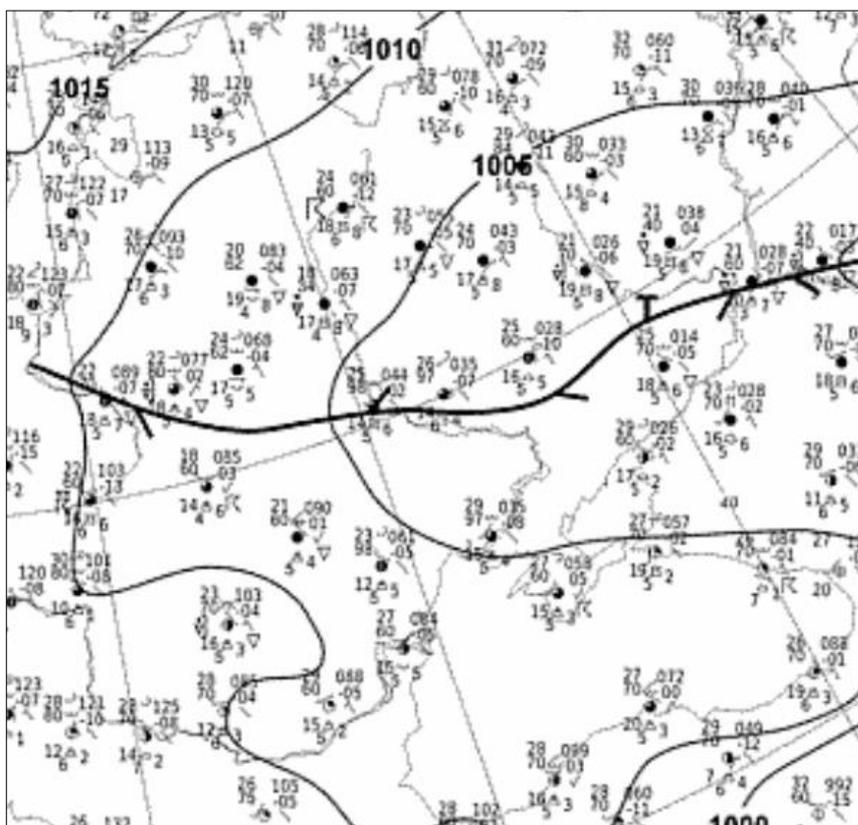


Рисунок 2.5 - Синоптическая ситуация за 16.07.2018 за 12 UTC

Гроза может длиться до 7 часов в различных ситуациях, таких как сильная неустойчивость атмосферы, наличие стабильного источника тепла и влаги, а также определенные географические условия (неоднородность рельефа и т.п.).

Так как территория Ростова-на Дону находится вдоль побережья реки, с равнинной местностью, вследствие в области с высокой атмосферной неустойчивостью из-за разницы температур, то это может привести к продолжительной грозовой активности.

ГЛАВА 3 ПОДБОР КРИТЕРИЕВ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

3.1. Индексы неустойчивости

Индексы неустойчивости - это показатели, которые используются для оценки вероятности возникновения атмосферной неустойчивости. Она, в свою очередь, может привести к различным явлениям, таким как грозы, сильные ветры и бурные осадки.

В данной работе мы будем исследовать такие индексы неустойчивости, как:

- K-index
- Cross Totals index
- Vertical Totals index
- Total Totals index
- Convective Available Potential Energy (Сокращенно CAPE)

K-index

K-index-это показатель вероятности грозы в метеорологии. По данным Национальной метеорологической службы, индекс использует такие измерения, как скорость изменения температуры по вертикали, содержание влаги в нижних слоях атмосферы и вертикальная протяженность влажного слоя. Индекс К находится по формуле (3.1.1):

$$K = (T_{850} - T_{500}) + TD_{850} - (T_{700} - TD_{700}), \quad (3.1.1)$$

где:

T_{850} = Температура по Цельсию на уровне 850гПа;

T_{500} = Температура по Цельсию на уровне 500гПа;

TD_{850} = Температура точки росы в Цельсии на 850гПа;

T_{700} = Температура по Цельсию на уровне 700гПа;

TD_{700} = Температура точки росы в Цельсии на 700гПа.

Прогностический метод Вайтинга основан на данном индексе.

По мере того, как этот показатель увеличивается от значения 20 или около того, ожидается увеличение вероятности ливней и гроз [7].

Cross Totals index

Cross Totals index- индекс определяет горизонтальный перенос нестабильного воздуха, рассчитывается по формуле (3.1.2). Значение, превышающее 25, необходимо для сильных штормов.

$$CTOT = TD850 - \underline{T500}, \quad (3.1.2)$$

где:

TD850= Температура точки росы в Цельсии на 850гПа;

T500= Температура по Цельсию на уровне 500гПа [7].

Vertical Totals index

Vertical Totals index- индекс определяет вертикальный перенос нестабильного воздуха, находится по формуле (3.1.3). Значения, превышающие 25, необходимы для сильных штормов.

$$VTOT = T850 - \underline{T500}, \quad (3.1.3)$$

где:

T850 = Температура по Цельсию на уровне 850гПа;

T500 = Температура по Цельсию на уровне 500гПа [8].

Total Totals index

Total Totals index- индекс стабильности и инструмент прогнозирования погоды, находится по формуле (3.1.4). Суммарный индекс представляет собой арифметическую сумму двух других индексов: индекса вертикальных сумм и индекса перекрестных сумм. Как и для всех индексов стабильности, не существует пороговых значений, но в целом значения менее 50 или более 55 считаются соответственно слабыми и сильными индикаторами потенциального развития сильного шторма.

$$TOTL=(T850-T500)+(TD850-T500), \quad (3.1.4)$$

где: T850= Температура по Цельсию на уровне 850гПа;

TD850= Температура точки росы в Цельсии на 850гПа;

T500= Температура по Цельсию на уровне 500гПа [8].

CAPE

Convective Available Potential Energy (Сокращенно CAPE.) доступная конвективная потенциальная энергия представляет собой количество энергии плавучести, доступной для ускорения частицы воздуха по вертикали или количество работы, совершающей частицей воздуха при подъёме. Используется для прогнозирования грозовой деятельности и конвективных явлений. CAPE - это положительная область на диаграмме между линией влажной адиабаты и кривой состояния воздуха от уровня свободной конвекции до уровня выравнивания температуры. CAPE измеряется в Джоулях на кг воздуха и рассчитывается по формуле (3.1.5):

$$CAPE = \int_{z_f}^{z_n} g \left(\frac{T_{vparcel} - T_{vbnv}}{T_{vbnv}} \right) dz \quad (3.1.5)$$

где:

z_f , z_n - высоты соответственно свободной конвекции и уровня выравнивания температур (нейтральная плавучесть);

$T_{vparcel}$ - виртуальная температура определённой частицы воздуха;

T_{vbnv} - виртуальная температура окружающей среды;

g - ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

Когда частица неустойчива (её температура выше окружающей среды), она будет продолжать подниматься вверх, пока не достигнет устойчивого слоя (хотя импульс, сила тяжести и другие силы могут заставить частицу продолжать двигаться). Существуют разнообразные типы CAPE: CAPE нисходящего потока (DCAPE) – показывает потенциальную силу дождя и т.д.

Характеристики индекса доступной конвективной потенциальной энергии:

- CAPE ниже 0 – устойчивое состояние (грозы невозможны);
- CAPE от 0 до 1000 – слабая неустойчивость (возможны грозы);
- CAPE от 1000 до 2500 – умеренная неустойчивость (сильные грозы и ливни);
- CAPE от 2500 до 3500 – сильная неустойчивость (очень сильные грозы, град, шквалы);
- CAPE выше 3500 – взрывная конвекция (суперячейки, торнадо и т.п.).

Нормализованная CAPE является более усовершенствованной разновидностью обычной CAPE и определяется: $CAPE/FCL$, где FCL – мощность слоя свободной конвекции (Free Convective Layer). Единицы измерения CAPE -Дж/кг или m/s^2 [9].

3.2. Проверка срабатываемости индексов для аэродрома «Платов»

В ходе работы были проанализированы дни с грозовой деятельностью с помощью сайта <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> с данными зондирования. Полученные результаты приведены в Таблице 3.

Таблица 3 - Оправдываемость индексов

Дата	K index	Cross totals index	Vertical totals index	Totals totals index	CAPE
01.07.2018	+	-	+	+	-
09.07.2018	+	-	+	+	-
10.07.2018	+	-	+	-	-
11.07.2018	+	-	+	+	+
14.07.2018	+	-	+	-	+
15.07.2018	+	-	+	-	-
16.07.2018	+	-	+	-	-

17.07.2018	+	-	+	+	-
19.07.2018	+	-	+	-	-
20.07.2018	+	-	+	-	+
22.07.2018	+	-	+	-	-
28.07.2018	+	+	+	+	-
Итого	12//12	1//12	12//12	5//12	3//12

Дата	K index	Cross totals index	Vertical totals index	Totals totals index	CAPE
25.05.2019	+	-	+	-	-
26.05.2019	+	-	+	+	-
27.05.2019	+	-	+	+	-
16.06.2019	+	-	+	-	-
12.07.2019	+	-	+	-	-
14.07.2019	+	-	+	-	-
31.07.2019	+	-	+	+	+
04.08.2019	+	-	-	-	-
Итого	8//8	0//8	7//8	3//8	1//8
09.05.2020	+	-	+	-	-
16.05.2020	+	+	+	+	-
03.06.2020	+	-	+	-	-
15.06.2020	+	-	+	+	-
23.06.2020	+	-	+	-	-
29.06.2020	+	-	+	-	-
08.07.2020	+	-	+	+	-
27.07.2020	+	-	+	-	-
28.09.2020	+	-	+	+	-
Итого	9//9	1//9	9//9	4//9	0//9
19.05.2021	+	+	+	+	-
24.05.2021	+	-	+	-	-
01.06.2021	+	-	+	-	-
02.06.2021	-	-	+	-	-
10.06.2021	-	-	+	-	-
13.06.2021	-	-	+	-	-
15.06.2021	+	-	+	+	-

16.06.2021	+	-	+	+	-
17.06.2021	+	+	+	+	+
03.07.2021	+	-	+	+	-
04.07.2021	+	-	+	+	-
06.07.2021	+	-	+	-	-
09.07.2021	-	-	+	-	-
22.07.2021	+	-	+	-	-
10.08.2021	+	-	+	-	-
11.08.2021	+	-	-	-	+
23.08.2021	+	-	+	-	-
26.08.2021	+	-	+	-	-
31.08.2021	+	-	+	+	+
02.09.2021	+	-	+	-	-
Итого	16//20	2//20	19//20	7//20	3//20
Общий итог	45//49	4//49	47//49	19//49	7//49

Из данных Таблицы 3, мы видим, что лучше всего срабатывают Индекс К и Vertical totals index. Поэтому для определения пороговых значений для аэропорта «Платов» мы будем анализировать и рассчитывать именно их.

3.3. Подбор пороговых значений индекса К

Для подбора пороговых значений проанализируем дни с 01.05.2021 г. по 31.08.2021 г. Всего у нас данных для анализа -122 дня, где в 23 случаях, гроза точно была.

Построим матрицу сопряженности методом методических и случайных прогнозов.

Данные для матрицы возьмем из статистически полученных нами результатов.

Для начала проверим на успешность полученные данные, при $K \geq 20$.

Матрица методических прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n^{M}_{ij} =$	Ф	21	2	23
	$\bar{Ф}$	52	47	99
	Σ	73	49	122

Матрица случайных прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n^{сл}_{ij} =$	Ф	14	9	23
	$\bar{Ф}$	59	40	99
	Σ	73	49	122

Оценка успешности прогнозов.

1.1. Общая оправдываемость прогнозов:

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100$$

$$p = \frac{21 + 47}{122} \cdot 100 = 56\% \text{ - прогноз на уровне случайного.}$$

1.2. Оправдываемость прогноза факта наличия явления:

$$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} * 100\%$$

$$U = \frac{21}{23} * 100\% = 91\% \text{ - прогноз на уровне идеального.}$$

1.3. Предупрежденность факта наличия явления:

$$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} * 100\%$$

$$\Pi = \frac{21}{73} * 100\% = 29\% - \text{прогноз на уровне случайного.}$$

1.4. Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления:

$$\text{Уб.т.} = \frac{n_{22}}{n_{20}} * 100\%$$

$$\text{Уб.т.} = \frac{47}{99} * 100\% = 47\% - \text{прогноз на уровне случайного.}$$

1.5. Предупрежденность факта отсутствия явления:

$$\text{Пб. т.} = \frac{n_{22}}{n_{02}} * 100\%$$

$$\text{Пб. т.} = \frac{47}{49} * 100\% = 95\% - \text{прогноз на уровне идеального.}$$

1.6. Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову рассчитываются по формуле:

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

$$Q = 1 - \left(\frac{2}{23} + \frac{52}{99} \right) = 0.39 - \text{прогноз на уровне случайного.}$$

1.7. Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{p - p_{\text{сл}}}{1 - p_{\text{сл}}}$$

$$\begin{aligned} p_{\text{сл}} &= \frac{n_{11}^{\text{сл}} + n_{22}^{\text{сл}}}{N} \times 100 = \frac{1}{N} \left(\frac{n_{10}n_{01}}{N} + \frac{n_{20}n_{02}}{N} \right) \times 100 \\ &= \frac{n_{10}n_{01} + n_{20}n_{02}}{N^2} \times 100 = 44 \end{aligned}$$

Где $n_{11}^{сл} = \frac{n_{10}n_{01}}{N}$ и $n_{22}^{сл} = \frac{n_{20}n_{02}}{N}$ - число случайно оправдавшихся прогнозов.

Тогда:

$$H = \frac{56-44}{1-44} = 0.2 \text{ – прогноз на уровне случайного.}$$

Критерий H характеризует относительное приращение общей оправдываемости оцениваемых прогнозов к максимально возможному. Значения H меняются в пределах от 0 до 1.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что большинство прогнозов на уровне случайных, если опираться на $K \geq 20$

Результаты расчётов выведены в таблицу 4.

Таблица 4 - Результаты расчётов при $K \geq 20$

Название критерия	Обозначение	Расчет по формуле
Общая оправдываемость, %	p	56
Оправдываемость прогноза факта наличия явления, %	U	91
Предупрежденность факта наличия явления, %	Π	29
Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления, %	$Уб.т.$	47
Предупрежденность факта отсутствия явления, %	$\Pi б.т.$	95
Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову	Q	0,39
Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова	H	0,2
Общая оправдываемость случайных прогнозов, %	$P_{сл}$	44

Теперь проверим на успешность полученные данные, при $K \geq 23$

Матрица методических прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n_{ij}^M =$	Ф	18	5	23
	$\bar{Ф}$	40	59	99
Σ		58	64	122

Матрица случайных прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n_{ij}^{сл} =$	Ф	11	12	23
	$\bar{Ф}$	47	52	99
Σ		58	64	122

Оценка успешности прогнозов.

1.1. Общая оправдываемость прогнозов:

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100$$

$$p = \frac{18 + 59}{122} \cdot 100 = 63\% \text{ -прогноз на уровне случайного.}$$

1.2. Оправдываемость прогноза факта наличия явления:

$$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} * 100\%$$

$$U = \frac{18}{23} * 100\% = 78\% \text{ -прогноз на уровне случайного.}$$

\

1.3. Предупрежденность факта наличия явления:

$$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} * 100\%$$

$$\Pi = \frac{18}{58} * 100\% = 31\% - \text{прогноз на уровне случайного.}$$

1.4. Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления:

$$\text{Уб.т.} = \frac{n_{22}}{n_{20}} * 100\%$$

$$\text{Уб.т.} = \frac{59}{99} * 100\% = 59\% - \text{прогноз на уровне случайного.}$$

1.5. Предупрежденность факта отсутствия явления:

$$\text{Пб. т.} = \frac{n_{22}}{n_{02}} * 100\%$$

$$\text{Пб. т.} = \frac{59}{64} * 100\% = 92\% - \text{прогноз на уровне идеального.}$$

1.6. Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову рассчитываются по формуле:

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

$$Q = 1 - \left(\frac{5}{23} + \frac{40}{99} \right) = 0.38 - \text{прогноз на уровне случайного.}$$

1.7. Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{p - p_{\text{сл}}}{1 - p_{\text{сл}}}$$

$$\begin{aligned} p_{\text{сл}} &= \frac{n_{11}^{\text{сл}} + n_{22}^{\text{сл}}}{N} \times 100 = \frac{1}{N} \left(\frac{n_{10}n_{01}}{N} + \frac{n_{20}n_{02}}{N} \right) \times 100 \\ &= \frac{n_{10}n_{01} + n_{20}n_{02}}{N^2} \times 100 = 52 \end{aligned}$$

Где $n_{11}^{сл} = \frac{n_{10}n_{01}}{N}$ и $n_{22}^{сл} = \frac{n_{20}n_{02}}{N}$ - число случайно оправдавшихся прогнозов.

Тогда:

$$H = \frac{63-52}{1-52} = 0.2 \text{ – прогноз на уровне случайного.}$$

Результаты расчётов выведены в таблицу 5.

Таблица 5 - Результаты расчётов при $K \geq 23$

Название критерия	Обозначение	Расчет по формуле
Общая оправдываемость, %	р	63
Оправдываемость прогноза факта наличия явления, %	U	78
Предупрежденность факта наличия явления, %	П	31
Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления, %	Уб.т.	59
Предупрежденность факта отсутствия явления, %	Пб.т.	92
Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову	Q	0,38
Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова	Н	0,2
Общая оправдываемость случайных прогнозов, %	$P_{сл}$	52

Из полученных результатов можно сделать вывод, что при $K \geq 23$:

- Общая оправдываемость повышается – 56% < 63%
- Оправдываемость прогноза факта наличия явления понижается – 91% > 78%
- Предупрежденность факта наличия явления повышается – 29% < 31%
- Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления повышается – 47% < 59%

- Предупрежденность факта отсутствия явления понижается – 95% >92%
- Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову понижается – 0,39 >0,38
- Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова остается неизменным = 0,2

По полученным данным, можно сделать вывод, что повышение значения индекса К, приводит к понижению результативности прогнозов.

Тогда, попробуем уменьшить значение $K \geq 18$:

Матрица методических прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n_{ij}^M =$	Ф	21	2	23
	$\bar{Ф}$	61	38	99
	Σ	82	40	122

Матрица случайных прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n_{ij}^{сл} =$	Ф	16	7	23
	$\bar{Ф}$	66	33	99
	Σ	82	40	122

Оценка успешности прогнозов.

1.1. Общая оправдываемость прогнозов:

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100$$

$$p = \frac{21+38}{122} \cdot 100 = 48\% \text{ - прогноз на уровне случайного.}$$

1.2. Оправдываемость прогноза факта наличия явления:

$$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} * 100\%$$

$$U = \frac{21}{23} * 100\% = 96\% \text{ - прогноз на уровне идеального.}$$

1.3. Предупрежденность факта наличия явления:

$$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} * 100\%$$

$$\Pi = \frac{21}{82} * 100\% = 25\% \text{ - прогноз на уровне случайного.}$$

1.4. Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления:

$$Уб.т. = \frac{n_{22}}{n_{20}} * 100\%$$

$$Уб.т. = \frac{38}{99} * 100\% = 38\% \text{ - прогноз на уровне случайного.}$$

1.5. Предупрежденность факта отсутствия явления:

$$Пб. т. = \frac{n_{22}}{n_{02}} * 100\%$$

$$Пб. т. = \frac{38}{40} * 100\% = 95\% \text{ - прогноз на уровне идеального.}$$

1.6. Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову рассчитываются по формуле:

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

$$Q = 1 - \left(\frac{2}{23} + \frac{61}{99} \right) = 0.3 \text{ – прогноз на уровне случайного.}$$

1.7. Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{p - p_{сл}}{1 - p_{сл}}$$

$$p_{сл} = \frac{n_{11}^{сл} + n_{22}^{сл}}{N} \times 100 = \frac{1}{N} \left(\frac{n_{10}n_{01}}{N} + \frac{n_{20}n_{02}}{N} \right) \times 100$$

$$= \frac{n_{10}n_{01} + n_{20}n_{02}}{N^2} \times 100 = 39$$

Где $n_{11}^{сл} = \frac{n_{10}n_{01}}{N}$ и $n_{22}^{сл} = \frac{n_{20}n_{02}}{N}$ - число случайно оправдавшихся прогнозов.

Тогда:

$$H = \frac{48-39}{1-39} = 0.15 \text{ – прогноз на уровне случайного.}$$

Результаты расчётов выведены в таблицу 6.

Таблица 6 - Результаты расчётов при $K \geq 18$

Название критерия	Обозначение	Расчет по формуле
Общая оправдываемость, %	p	48
Оправдываемость прогноза факта наличия явления, %	U	96
Предупрежденность факта наличия явления, %	П	25
Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления, %	Уб.т.	38
Предупрежденность факта отсутствия явления, %	Пб.т.	95
Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову	Q	0,3
Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова	H	0,15
Общая оправдываемость случайных прогнозов, %	$p_{сл}$	39

Из полученных результатов можно сделать вывод, что при $K \geq 18$:

- Общая оправдываемость понижается – 56% >48%

- Оправдываемость прогноза факта наличия явления повышается – 91% <96%
- Предупрежденность факта наличия явления понижается – 29% >25%
- Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления понижается – 47% >38%
- Предупрежденность факта отсутствия явления остается неизменным – 95%
- Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову понижается – 0,39 >0,3
- Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова понижается – 0,2 >0,15

По полученным данным, можно сделать вывод, что понижение значения индекса К, приводит к понижению результативности прогнозов.

Теперь сравним все полученные результаты и вынесем их в таблицу 7.

Таблица 7 - Сравнение результатов индексов

Название критерия	Обозначение	Расчет по формуле		
		К \geq 18	К \geq 20	К \geq 23
Значение индекса К		К \geq 18	К \geq 20	К \geq 23
Общая оправдываемость, %	р	48	56	63
Оправдываемость прогноза факта наличия явления, %	U	96	91	78
Предупрежденность факта наличия явления, %	П	25	29	31
Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления, %	Уб.т.	38	47	59
Предупрежденность факта отсутствия явления, %	Пб.т.	95	95	92
Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову	Q	0,3	0,39	0,38
Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова	Н	0,15	0,2	0,2
Общая оправдываемость случайных прогнозов, %	Р _{сл}	39	44	52

Из таблицы 7 можно сделать следующие выводы:

- Общая оправдываемость прогноза лучше при $K \geq 23$ (63%), но важно помнить, что при расчете общей оправдываемости прогноза не учитываются ошибки 1-го и 2-го рода;
- Оправдываемость прогноза факта наличия явления лучше при $K \geq 18$ (96%);
- Предупрежденность факта наличия явления лучше при $K \geq 20$ (29%);
- Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления лучше при $K \geq 23$ (59%);
- Предупрежденность факта отсутствия явления лучше $K \geq 18$ и $K \geq 20$ (95%);
- Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову лучше при $K \geq 20$ (0,39);
- Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова лучше при $K \geq 20$ и $K \geq 23$ (0.2);
- Общая оправдываемость случайных прогнозов лучше при $K \geq 23$ (52%).

3.4. Подбор пороговых значений для Vertical Totals index

Для подбора пороговых значений проанализируем дни с 01.05.2021 г. по 31.08.2021 г. Всего у нас данных для анализа -122 дня, где в 23 случаях, гроза точно была.

Построим матрицу сопряженности методом методических и случайных прогнозов.

Для начала проверим на успешность полученные данные, при $VT \geq 25$.

Матрица методических прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n_{ij}^M =$	Ф	19	4	23
	$\bar{Ф}$	73	26	99
	Σ	92	30	122

Матрица случайных прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n_{ij}^{сл} =$	Ф	17	6	23
	$\bar{Ф}$	75	24	99
	Σ	92	30	122

Оценка успешности прогнозов:

1.1. Общая оправдываемость прогнозов:

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100$$

$$p = \frac{19+26}{122} \cdot 100 = 37\% \text{ -прогноз на уровне случайного.}$$

1.2. Оправдываемость прогноза факта наличия явления:

$$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} * 100\%$$

$$U = \frac{19}{23} * 100\% = 82\% \text{ -прогноз близок к идеальному.}$$

1.3. Предупрежденность факта наличия явления:

$$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} * 100\%$$

$\Pi = \frac{19}{92} * 100\% = 20\%$ - прогноз на уровне случайного.

1.4. Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления:

$$\text{Уб.т.} = \frac{n_{22}}{n_{20}} * 100\%$$

$\text{Уб.т.} = \frac{26}{99} * 100\% = 26\%$ - прогноз на уровне случайного.

1.5. Предупрежденность факта отсутствия явления:

$$\text{Пб. т.} = \frac{n_{22}}{n_{02}} * 100\%$$

$\text{Пб. т.} = \frac{26}{30} * 100\% = 87\%$ - прогноз близок к идеальному.

1.6. Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову рассчитываются по формуле:

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

$Q = 1 - \left(\frac{4}{23} + \frac{73}{99} \right) = 0,08$ – прогноз на уровне случайного.

1.7. Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{p - p_{\text{сл}}}{1 - p_{\text{сл}}}$$

$$\begin{aligned} p_{\text{сл}} &= \frac{n_{11}^{\text{сл}} + n_{22}^{\text{сл}}}{N} \times 100 = \frac{1}{N} \left(\frac{n_{10}n_{01}}{N} + \frac{n_{20}n_{02}}{N} \right) \times 100 \\ &= \frac{n_{10}n_{01} + n_{20}n_{02}}{N^2} \times 100 = 34 \end{aligned}$$

Где $n_{11}^{\text{сл}} = \frac{n_{10}n_{01}}{N}$ и $n_{22}^{\text{сл}} = \frac{n_{20}n_{02}}{N}$ - число случайно оправдавшихся прогнозов.

Тогда:

$H = \frac{36,8-34}{1-34} = 0,04$ – прогноз на уровне случайного.

Критерий H характеризует относительное приращение общей

оправдываемости оцениваемых прогнозов к максимально возможному. Значения H меняются в пределах от 0 до 1.

Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что большинство прогнозов на уровне случайных, если опираться на $VT \geq 25$

Результаты расчётов выведены в таблицу 8.

Таблица 8 - Результаты расчётов при $VT \geq 25$

Название критерия	Обозначение	Расчет по формуле
Общая оправдываемость, %	p	37
Оправдываемость прогноза факта наличия явления, %	U	82
Предупрежденность факта наличия явления, %	Π	20
Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления, %	$U_{б.т.}$	26
Предупрежденность факта отсутствия явления, %	$\Pi_{б.т.}$	87
Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову	Q	0,08
Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова	H	0,04
Общая оправдываемость случайных прогнозов, %	$P_{сл}$	34

Теперь проверим на успешность полученные данные, при $VT \geq 26$

Матрица методических прогнозов:

		Π	$\bar{\Pi}$	Σ
$n_{ij}^M =$	Φ	18	5	23
	$\bar{\Phi}$	61	38	99
	Σ	79	43	122

Матрица случайных прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n_{ij}^{сл.} =$	Ф	15	8	23
	$\bar{Ф}$	64	35	99
	Σ	79	43	122

Оценка успешности прогнозов.

1.1. Общая оправдываемость прогнозов:

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100$$

$$p = \frac{18+38}{122} \cdot 100 = 46\% \text{ -прогноз на уровне случайного.}$$

1.2. Оправдываемость прогноза факта наличия явления:

$$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} * 100\%$$

$$U = \frac{18}{23} * 100\% = 78\% \text{ -прогноз на уровне случайного.}$$

1.3. Предупрежденность факта наличия явления:

$$П = \frac{n_{11}}{n_{01}} * 100\%$$

$$П = \frac{18}{79} * 100\% = 23\% \text{ - прогноз на уровне случайного.}$$

1.4. Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления:

$$Уб.т. = \frac{n_{22}}{n_{20}} * 100\%$$

$$Уб.т. = \frac{38}{99} * 100\% = 38\% \text{ -прогноз на уровне случайного.}$$

1.5. Предупрежденность факта отсутствия явления:

$$\text{Пб. т.} = \frac{n_{22}}{n_{02}} * 100\%$$

$$\text{Пб. т.} = \frac{38}{43} * 100\% = 88\% - \text{прогноз близок к идеальному.}$$

1.6. Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову рассчитываются по формуле:

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

$$, \quad Q = 1 - \left(\frac{5}{23} + \frac{61}{99} \right) = 0,17 - \text{прогноз на уровне случайного.}$$

1.7. Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{p - p_{\text{сл}}}{1 - p_{\text{сл}}}$$

$$p_{\text{сл}} = \frac{n_{11}^{\text{сл}} + n_{22}^{\text{сл}}}{N} \times 100 = \frac{1}{N} \left(\frac{n_{10}n_{01}}{N} + \frac{n_{20}n_{02}}{N} \right) \times 100$$

$$= \frac{n_{10}n_{01} + n_{20}n_{02}}{N^2} \times 100 = 41$$

Где $n_{11}^{\text{сл}} = \frac{n_{10}n_{01}}{N}$ и $n_{22}^{\text{сл}} = \frac{n_{20}n_{02}}{N}$ - число случайно оправдавшихся прогнозов.

Тогда:

$$H = \frac{46-41}{1-41} = 0.08 - \text{прогноз на уровне случайного.}$$

Результаты расчётов выведены в таблицу 9.

Таблица 9 - Результаты расчётов при $VT \geq 26$

Название критерия	Обозначение	Расчет по формуле
Общая оправдываемость, %	p	46
Оправдываемость прогноза факта наличия явления, %	U	78

Предупрежденность факта наличия явления, %	П	23
Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления, %	Уб.т.	38
Предупрежденность факта отсутствия явления, %	Пб.т.	88
Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову	Q	0,17
Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова	Н	0,08
Общая оправдываемость случайных прогнозов, %	$P_{сл}$	41

Из полученных результатов можно сделать вывод, что при $VT \geq 26$:

- Общая оправдываемость повышается – 37% < 46%
- Оправдываемость прогноза факта наличия явления понижается – 82% > 78%
- Предупрежденность факта наличия явления повышается – 20% < 23%
- Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления повышается – 26% < 38%
- Предупрежденность факта отсутствия явления повышается – 87% < 88%
- Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову повышается – 0,08 < 0,17
- Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова Обухову повышается – 0,04 < 0,08

В целом, результативность улучшилась, но для уверенности, что пороговое значение необходимо поднимать, попробуем проверить успешность прогнозов при $VT \geq 23$

Теперь проверим на успешность полученные данные, при $VT \geq 23$

Матрица методических прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n_{ij}^M =$	Ф	21	2	23
	$\bar{Ф}$	91	8	99
	Σ	112	10	122

В целом, посмотрев на матрицу методических прогнозов, можно без расчётов сделать вывод, что при понижении значения индекса VT, прогноз становится максимально перестраховочным и теряет точность.

Тогда проверим успешность прогнозов при $VT \geq 27$

Матрица методических прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n_{ij}^M =$	Ф	9	14	23
	$\bar{Ф}$	47	52	99
	Σ	56	66	122

Матрица случайных прогнозов:

		П	$\bar{П}$	Σ
$n_{ij}^{сл} =$	Ф	11	12	23
	$\bar{Ф}$	45	54	99
	Σ	56	66	122

Оценка успешности прогнозов.

1.1 Общая оправдываемость прогнозов:

$$p = \frac{n_{11} + n_{22}}{N} \cdot 100$$

$$p = \frac{9+52}{122} \cdot 100 = 50\% \text{ -прогноз на уровне случайного.}$$

1.2 Оправдываемость прогноза факта наличия явления:

$$U = \frac{n_{11}}{n_{10}} * 100\%$$

$$U = \frac{9}{23} \cdot 100\% = 39\% \text{ -прогноз на уровне случайного.}$$

1.3 Предупрежденность факта наличия явления:

$$\Pi = \frac{n_{11}}{n_{01}} * 100\%$$

$$\Pi = \frac{9}{56} * 100\% = 16\% \text{ - прогноз на уровне случайного.}$$

1.4 Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления:

$$Уб.т. = \frac{n_{22}}{n_{20}} * 100\%$$

$$Уб.т. = \frac{52}{99} * 100\% = 52\% \text{ -прогноз на уровне случайного.}$$

1.5 Предупрежденность факта отсутствия явления:

$$Пб. т. = \frac{n_{22}}{n_{02}} * 100\%$$

$$Пб. т. = \frac{52}{66} * 100\% = 79\% \text{ - прогноз н уровне случайного.}$$

1.6 Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову рассчитываются по формуле:

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

$$Q = 1 - \left(\frac{14}{23} + \frac{47}{99} \right) = -0,08 - \text{прогноз на уровне ошибочного.}$$

1.7 Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{P - P_{сл}}{1 - P_{сл}}$$

$$P_{сл} = \frac{n_{11}^{сл} + n_{22}^{сл}}{N} \times 100 = \frac{1}{N} \left(\frac{n_{10}n_{01}}{N} + \frac{n_{20}n_{02}}{N} \right) \times 100$$

$$= \frac{n_{10}n_{01} + n_{20}n_{02}}{N^2} \times 100 = 53$$

Где $n_{11}^{сл} = \frac{n_{10}n_{01}}{N}$ и $n_{22}^{сл} = \frac{n_{20}n_{02}}{N}$ - число случайно оправдавшихся прогнозов.

Тогда:

$$H = \frac{50-53}{1-53} = -0,06 - \text{прогноз на уровне ошибочного.}$$

Результаты расчётов выведены в таблицу 10.

Таблица 10 - Результаты расчётов при $V_T \geq 27$

Название критерия	Обозначение	Расчет по формуле
Общая оправдываемость, %	р	50
Оправдываемость прогноза факта наличия явления, %	У	39
Предупрежденность факта наличия явления, %	П	16
Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления, %	Уб.т.	52
Предупрежденность факта отсутствия явления, %	Пб.т.	79

Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову	Q	-0,08
Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова	Н	-0,06
Общая оправдываемость случайных прогнозов, %	$P_{сл}$	53

Из полученных результатов можно сделать вывод, что при $VT \geq 27$:

- Общая оправдываемость повышается – 37% < 50%
- Оправдываемость прогноза факта наличия явления понижается – 82% > 39%
- Предупрежденность факта наличия явления понижается – 20% > 16%
- Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления повышается – 26% < 52%
- Предупрежденность факта отсутствия явления понижается – 87% > 79%
- Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову понижается – 0,08 > 0,08
- Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова Обухову понижается – 0,04 > -0,06

Теперь сравним все полученные результаты и вынесем их в таблицу 11.

Таблица 11 - Сравнение результатов индексов VT

Название критерия	Обозначение	Расчет по формуле		
		$VT \geq 25$	$VT \geq 26$	$VT \geq 27$
Значение индекса VT				
Общая оправдываемость, %	p	37	46	50
Оправдываемость прогноза факта наличия явления, %	U	82	78	39
Предупрежденность факта наличия явления, %	П	20	23	16
Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления, %	Уб.т.	26	38	52
Предупрежденность факта отсутствия явления, %	Пб.т.	87	88	79

Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову	Q	0,08	0,17	-0,08
Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова	H	0,04	0,08	-0,06
Общая оправдываемость случайных прогнозов, %	$P_{сл}$	34	41	53

Из таблицы 11 можно сделать следующие выводы:

- Общая оправдываемость прогноза лучше при $VT \geq 27$ (50%), но важно помнить, что при расчете общей оправдываемости прогноза не учитываются ошибки 1-го и 2-го рода;
- Оправдываемость прогноза факта наличия явления лучше при $VT \geq 25$ (82%);
- Предупрежденность факта наличия явления лучше при $VT \geq 26$ (23%);
- Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления лучше при $VT \geq 27$ (52%)
- Предупрежденность факта отсутствия явления лучше $VT \geq 26$ (88%);
- Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову лучше при $VT \geq 26$ (0,17);
- Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова лучше при $VT \geq 26$ (0.08);
- Общая оправдываемость случайных прогнозов лучше при $VT \geq 27$ (53%).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования грозовой деятельности на аэродроме Платов (Ростов-на-Дону) за 4-х летний период с 2018 по 2021 гг., были получены следующие выводы:

- Определили, что преобладает грозовая деятельность внутримассового характера;
- При оценке количества гроз выявили, что наибольшая повторяемость приходится на июль месяц;
- Определили среднюю температуру в момент грозовой активности в летнее время $>20^{\circ}\text{C}$; в весеннее и осеннее время $< 20^{\circ}\text{C}$;
- Определили среднюю продолжительность грозы- от 30 мин. до 2 ч.;
- Проанализировали оправдываемость индексов неустойчивости и выявили, что лучше всего работают индекс К и Vertical Totals index;
- Подобрали значения для индекса К:
 - Общая оправдываемость прогноза лучше при $K \geq 23$ (63%);
 - Оправдываемость прогноза факта наличия явления лучше при $K \geq 18$ (96%);
 - Предупрежденность факта наличия явления лучше при $K \geq 20$ (29%);
 - Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления лучше при $K \geq 23$ (59%);
 - Предупрежденность факта отсутствия явления лучше при $K \geq 18$ и $K \geq 20$ (95%);
 - Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову лучше при $K \geq 20$ (0,39);
 - Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова лучше при $K \geq 20$ и $K \geq 23$ (0.2);
- Подобрали значения для индекса VT:

- Общая оправдываемость прогноза лучше при $VT \geq 27$ (50%);
- Оправдываемость прогноза факта наличия явления лучше при $VT \geq 25$ (82%);
- Предупрежденность факта наличия явления лучше при $VT \geq 26$ (23%);
- Оправдываемость прогноза факта отсутствия явления лучше при $VT \geq 27$ (52%);
- Предупрежденность факта отсутствия явления лучше $VT \geq 26$ (88%);
- Критерий точности прогнозов по М.А. Обухову лучше при $VT \geq 26$ (0,17);
- Критерий надежности прогнозов Н.А. Багрова лучше при $VT \geq 26$ (0.08).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://triptonkosti.ru/20-foto/karta-rossii-rostovskaya-oblast.html> фотобанк;
2. <https://161.ru/text/gorod/2023/05/25/72337394/> новостной сайт г. Ростов-на-Дону;
3. https://vk.com/wall-42886009_1273948 новостной форум «Клуб любителей метеорологии»;
4. <https://rov.aero/partners/airlines/airport/> сайт аэропорта «Платов»;
5. <https://meteoinfo.ru/novosti/5296-12062012-> сайт Гидрометцентра РФ.;
6. <https://apni.ru/article/8227-yavleniya-pogodi-kak-faktori-ugrozi-bezopasno> научная статья «Явления погоды как факторы угрозы безопасности полетов воздушных судов», авторы: Исаков Д.Е., Бучнев А.Н....21 января 2024г.;
7. https://glossary.ametsoc.org/wiki/Stability_index сайт американского метеорологического сообщества;
8. http://eprints.tversu.ru/11500/1/ГЕОГРАФИЯ_3_2022-44-59.pdf научная статья «Синоптические условия образования и прогнозирование гроз на территории Тверской области», авторы В.А. Бухарова, Н.Б. Прокофьева;
9. <https://u2019.meteoinfo.ru/services/cosmo-ru/convection.html> сайт ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019 - 2022 , статья на тему «Параметры для оценки рисков опасных явлений, связанных с развитием конвекции».