



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 условий формирования зимних гроз»

Исполнитель _____
Ильина Ксения Юрьевна

(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)

« 09 » июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025 .

Содержание

Оглавление

Содержание	2
Введение	3
1. Зимние грозы и их особенности	5
1.1. Общие сведения и понятия	5
1.2. Зимняя гроза как опасное явление	6
1.3. Классификация грозовых явлений	7
1.4. Стадии развития грозового облака	9
2. Образование зимних гроз в России	11
2.1. Первые зафиксированные случаи зимних гроз	11
2.2. Методы расчета зимних гроз	11
3. Обработка данных зимних гроз	15
3.1. Территория исследования зимних гроз	15
3.2. Случаи зимних гроз в разных округах России	21
3.3. Случаи зимних гроз по месяцам	23
3.4. Анализ синоптической обстановки при образовании зимних гроз	25
3.5. Расчет индексов неустойчивости и оценка их успешности	31
3.6. Прогноз зимних гроз с помощью моделей (сайт ventusky)	37
4. Практическая значимость исследования и перспективы применения результатов	42
4.1. Актуальность прогноза зимних гроз в различных отраслях	42
4.2. Результаты как основа для улучшения прогноза	43
4.3. Перспективные направления развития прогноза зимних гроз	44
Заключение	46
Список литературы	48

Введение

Целью данной выпускной квалификационной работы является исследование условий формирования зимних гроз на территории России.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Создать архив случаев зимних гроз в России с 2015 по 2025 гг.
2. Проанализировать типовые синоптические ситуации случаев в момент зимних гроз.
3. Апробировать методы расчета зимних гроз и оценить их успешность.

Проблема данной темы заключается в том, что зимние грозы очень плохо прогнозируются, если и прогнозируются, то далеко не все. Их можно спрогнозировать и отследить при помощи радиолокатора, но, к сожалению, радиолокаторы стоят не во всех городах России.

Таким образом, тема выпускной квалификационной работы является **актуальной** и изучение условий формирования зимних гроз остается важной задачей, которую необходимо решать путем дальнейшего наблюдения и исследования этого сложного метеорологического явления.

Все мы знаем о существовании гроз, ведь оно является одним из самых опасных явлений. Грозы несут за собой большие потери для людей, ведь из-за разрядов молний могут возникать лесные пожары, из-за сильного ветра могут обрушиваться деревья, здания, линии электропередач. Грозы обычно образуются в мощных кучево-дождевых облаках (Cumulonimbus cloud) и сопровождаются ливневым дождем, градом, а также шквалом. Также существует еще и ‘сухая гроза’, которая не сопровождается выпадением осадков.

Как правило, нельзя сказать заранее точно, будет гроза или нет, ведь в кучево-дождевых облаках все процессы происходят достаточно быстро. Хотя грозы и тяжело прогнозировать, но в данный момент, существует достаточно много способов их прогнозирования. Помимо ‘летней’ грозы, которую мы все знаем, существует также ‘зимняя’ или как ее еще называют ‘снежная’ гроза.

Зимняя гроза (снежная) – это гроза, при которой вместо ливневого дождя выпадает ливневой снег, ледяной дождь или ледяная крупа. В наше время зимние грозы остаются достаточно редким и малоизученным явлением. В данной квалификационной работе для рассмотрения и анализа зимних гроз был взят период с октября по март.

1. Зимние грозы и их особенности

1.1. Общие сведения и понятия

Как уже было сказано выше, снежная гроза – это погодное явление, при котором в зимний период, когда идёт снег, происходит гроза [2]. По сути, это просто смесь снега и грозы, но вся редкость этого явления заключается в том, что зимой гроза крайне маловероятна. Обычно грозы холодного периода характеризуются отдельными кратковременными разрядами в течение 1-5 минут. Как правило, зимние грозы возникают при прохождении активных атмосферных фронтов. Температура воздуха меняется в диапазоне от -2°C до $+1^{\circ}\text{C}$. По данным радиозондирования атмосферы в нижней части тропосферы возникает струйное течение низкого уровня.

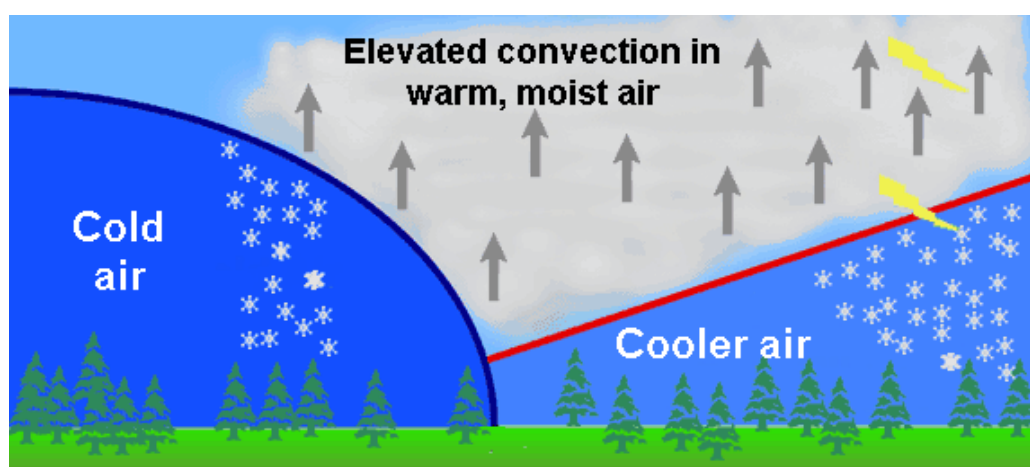


Рисунок 1 - Схема формирования снеговой грозы

Зимние грозы связаны, как правило, с проникновением в средние широты очень теплых и влажных воздушных масс из южных районов, с бассейна одного из теплых морей (так называемые выходы «южных циклонов»). В теплом секторе таких циклонов отмечается вынос теплого и влажного воздуха, температура

воздуха повышается до положительных значений, а при затоке холодного воздуха с севера в тыловой части такого циклона, на холодном фронте и возникают грозы.

Данное явление очень опасно из-за возможных шквалов, метелей и ледяного дождя. Шквал – это внезапное, резкое, кратковременное усиление ветра с изменением его направления. Скорость ветра может превышать 25–30 км/час. Метель — атмосферное явление, представляющее собой перенос выпадающего или выпавшего снега, более или менее сильным ветром над земной поверхностью. Ледяной дождь — это смешанные осадки, выпадающие из облаков при отрицательной температуре воздуха, и часто приводит к образованию гололёда. Ледяной дождь наблюдается при наличии температурной инверсии, когда у поверхности земли находится холодный воздух, а над ним располагается слой более тёплого воздуха. Данные явления опасны не только для человека, но и для авиации. Во время ледяного дождя скорость обледенения корпуса авиалайнеров высока, за счет этого есть вероятность нарушения аэродинамических свойств самолета, а это может спровоцировать аварийную ситуацию.

1.2. Зимняя гроза как опасное явление

Как известно, на суше преобладают летние грозы, над океанами – зимние. Но в последнее время такое определение становится размытым и неактуальным, так как все чаще зимние грозы наблюдаются над материковой частью различных стран, в том числе и в России. «Зимние грозы» можно наблюдать над южными территориями нашей страны (Кавказ, Краснодарский край), где зимы достаточно теплые. Но в последнее время фиксируются случаи наблюдения гроз и в нетипичных для них регионах – север европейской части России, Сибирь, Центральная Россия, Арктическая зона РФ.

Явления погоды конвективного происхождения, опасные в зимний период, мало изучены и сложно прогнозируемы. Обнаружить участки грозовых очагов можно с помощью метеорологических локаторов (МРЛ), но так как их

недостаточно в России, заранее спрогнозировать зимние грозы практически невозможно. На данный момент отсутствие методик прогноза такого редкого явления, является причиной необходимости создания некоего алгоритма по прогнозированию опасных конвективных явлений холодного периода. Для авиационной отрасли очень важно знать метеоусловия по маршруту полёта. Воздушным судам запрещено влетать в грозовые (конвективные) облака, так как турбулентность, обледенение, ливневые осадки, град, шквалистый ветер могут привести к разрушению или повреждению летательного аппарата. За последнее время количество зимних гроз значительно увеличилось [9].

Также причина их опасности состоит в том, что снегопады, значительно ухудшающие видимость, и сильный порывистый ветер уже представляет чрезвычайную опасность для транспорта. Электрическая активность создает дополнительные сложности для любой производственной деятельности [8].

1.3. Классификация грозовых явлений

Грозы, как летние, так и зимние могут быть:

1. Фронтальные – они возникают на холодных или тёплых атмосферных фронтах. Над материками умеренных широт грозы наиболее часты и интенсивны летом. Зимние грозы образуются здесь в исключительных случаях – при прохождении особенно резких холодных фронтов.

2. Внутримассовые грозы – возникают над сушей летом, в результате прогрева воздуха от земной поверхности, когда развиваются восходящие токи местной конвекции и образуются мощные кучево-дождевые облака, преим. в послеполуденные часы.

3. Одонаяейковая гроза — самый обычный тип гроз. Имеет один восходящий поток и длится не более получаса, сопровождаясь не очень сильным ливнем и умеренной интенсивностью молний, и громом.

4. Пульсирующая гроза — более опасный подтип одноячейковой грозы. Восходящий поток ее мощнее, сила разрядов, грома и порывов ветра тоже. Может вызвать небольшой смерч.

5. Мультиячейковые грозы имеют ряд разновидностей. Характеризуются множественными восходящими потоками. Чем их больше, тем мощнее гроза и ее последствия в виде сильных ливней, раскатистого грома и ярких молний.

6. Линейная гроза — это тот же многоячейный линейный кластер, но представляющий из себя не скопление грозовых ячеек, а цепочку из них. Причем движутся эти звенья с огромной скоростью. Звуки грозы и шквалистый ветер при этом очень сильные. Может снести с ног.

7. Сверхъячейковые грозы — самые опасные. Они могут бушевать на больших территориях, вплоть до 50 километров. Это одна, но невероятно сильная ячейка с вращающимся потоком. Именно такие грозы становятся причиной крупного града, сильных смерчей и торнадо.

8. Сухая гроза — отдельный вид гроз, когда гром гремит, а дождя все нет. Она только на первый взгляд кажется сухой, потому что возникает при низкой влажности воздуха и высоких температурах, начиная с 30 °C. На самом деле она проливается осадками, но до земли те долететь не успевают или выпадают в очень незначительном количестве — то, что мы называем «две капли». Основная влага сухой грозы просто испаряется в атмосфере.

Стоит отметить, что в случаях образования «зимней грозы» наблюдается при быстром прохождении атмосферного фронта — контраст температуры, атмосферного давления, влажности. Стратификация атмосферы неустойчива. Также необходимым условием образования «зимних гроз» является ветер переменного направления. Подводя итог вышперечисленного, можно выделить синоптические условия, которые могут быть предикторами для образования «зимних гроз»:

- прохождение холодного фронта или фронта окклюзии;
- контраст давления;

- контраст температур;
- достаточно быстрая конвекция теплой влажной воздушной массы при прохождении фронта (воздух перед прохождением фронта должен быть теплым для пункта прогнозирования);
- положительная энергия неустойчивости в атмосфере [9].

1.4. Стадии развития грозового облака

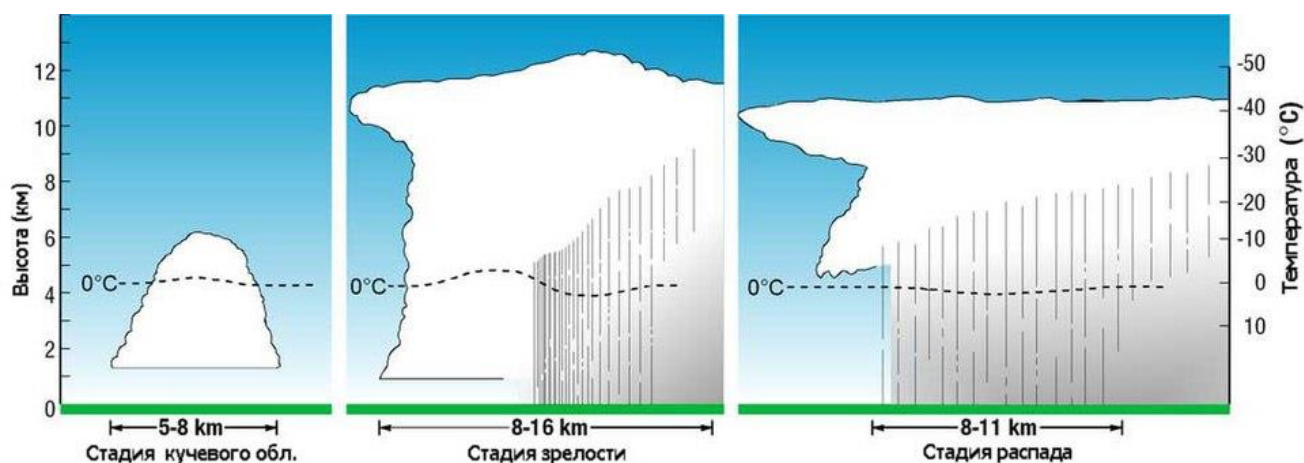


Рисунок 2 - Стадии развития грозового облака

Зимние грозы, также, как и летние, проходят одинаковые стадии развития. Для возникновения грозового облака важным условием является наличие конвекции, создающего восходящие потоки запаса влаги, достаточного для образования осадков, и наличия структуры, в которой часть облачных частиц находится в жидком состоянии, а часть — в ледяном. Конвекция, приводящая к развитию гроз [1].

Все грозовые облака, последовательно проходят 3 этапа:

1. Стадия развития (кучевая облачность)

Солнце нагревает землю, особенно в жаркие дни, что приводит к локальному неравномерному нагреву приземного слоя воздуха. Тёплый воздух, будучи менее плотным, поднимается вверх, образуя восходящие потоки. При подъёме он

адиабатически охлаждается (примерно на 1°C каждые 100 м). При достижении уровня конденсации (точки росы) водяной пар превращается в капли, формируя кучевые облака (Cumulus). Если процесс продолжается, облако растёт в высоту.

2. Стадия зрелости (грозовое облако - Cumulonimbus)

Восходящие потоки могут достигать скорости 10–20 м/с, "проталкивая" облако до высоты 8–12 км (иногда до тропопаузы). Верхняя часть облака состоит из ледяных кристаллов и может приобретать наковальню (incus). Внутри облака капли воды и льдинки сталкиваются, слипаются и укрупняются (коагуляция и аккреция). Это приводит к образованию дождя, града и снежных крупинок. Лёд и переохлаждённые капли в восходящих потоках трутся друг о друга, создавая положительные заряды (в верхней части облака) и отрицательные (в нижней).

3. Стадия распада

Холодный нисходящий поток "отрезает" облако от источника тёплого влажного воздуха, за счет чего восходящие потоки прекращаются. Дождь или град постепенно прекращаются, облако рассеивается.

Как правило, формирование грозового облака занимает от 30 минут до нескольких часов, а продолжительность активной фазы обычно не превышает 1–2 часов.

2. Образование зимних гроз в России

2.1. Первые зафиксированные случаи зимних гроз

Иногда мы не видим и не слышим грозы зимой. Все дело в снеге – он гасит звуковые волны, и слышимость становится очень плохой. А вот летом гром хорошо слышен, даже если молния возникает на большом расстоянии от нас. Самые ранние случаи зимних гроз отмечаются в старинных русских летописях:

- в 1383 году был «гром страшен очень и вихрь силен вельми»,
- 25 декабря 1396 года в Москве «...был гром, а туча от полуденной страны»,
- 13 ноября в 1447 года в Новгороде «...в полночь страшный гром и молния велико зело»,
- 2 января 1491 году во Пскове слышали гром [2].

2.2. Методы расчета зимних гроз

1) Метод Вайтинга

Суть метода Вайтинга заключается в вычислении коэффициента «К» по данным утреннего зондирования атмосферы для пунктов заданного района по формуле:

$$K = 2T_{\{850\}} - T_{\{500\}} - D_{\{850\}} - D_{\{700\}}$$

где:

К — коэффициент метода Вайтинга,

Т — температура воздуха,

Д — дефицит температуры точки росы на соответствующих уровнях.

После расчета данного параметра, мы оцениваем вероятность возникновения гроз по прогнозируемой территории. Интерпретация коэффициента «К»:

К < 20: гроз не ожидается,

20 < К < 25: изолированные грозы,

25 <K <30: отдельные грозы (на каждой четвертой станции),

K > 30: грозы повсеместно.

Иногда в рассчитанные значения параметра «K» вносят поправку на кривизну изобар. Значения поправок представлены ниже:

Таблица 1 - Поправка на кривизну изобар

Тип кривизны	Радиус кривизны R, км			
	<250	250 - 500	500 - 1000	> 1000
Циклоническая	2,0	1,4	1,0	0
Антициклоническая	-2,0	-1,4	-1,0	0

2) Индексы неустойчивости

1. Vertical Totals (VT)

Этот индекс оценивает разницу температуры средней и нижней части конвективного облака и измеряется в °C. Определяется по формуле:

$$VT = T_{\{850\}} - T_{\{500\}}$$

где:

VT — Vertical Totals индекс,

T — температура воздуха на соответствующих уровнях.

если:

VT > = 28: высокий потенциал конвективной неустойчивости, достаточный для гроз.

2. Cross Totals (CT)

Данный индекс оценивает разницу температуры точки росы в нижней части облака и температуру воздуха в средней части конвективного облака и измеряется в °C. Он определяется по формуле:

$$CT = Td_{\{850\}} - T_{\{500\}}$$

где:

СТ — Cross Totals индекс,

Td — температура точки росы,

T — температура воздуха на соответствующих уровнях.

Тогда, при оценке вероятности развития грозовой деятельности получится:

СТ <18: низкий потенциал конвективной неустойчивости, грозы маловероятны,

18 <СТ <19: умеренная неустойчивость, слабые грозы,

20 <СТ <21: высокая неустойчивость, грозы,

22 <СТ <23: возможны сильные грозы,

24 <СТ <25: высокая энергия неустойчивости, сильные грозы,

СТ > 25: очень высокая энергия неустойчивости, очень сильные грозы.

3. Total Totals (TT)

Этот индекс оценивает температуру и влажность, а также статическую стабильность и измеряется в °С. TT индекс представляет собой сумму двух компонент: Cross Totals индекс и Vertical Totals индекс и определяется по формуле:

$$TT = T_{\{850\}} + Td_{\{850\}} - 2T_{\{500\}}$$

Количественная оценка индекса выглядит следующим образом:

TT <44: грозы невозможны,

44 - 45: отдельные грозы,

46 - 47: рассеянные грозовые очаги,

48 - 49: значительное количество гроз, отдельные сильные,

50 - 51: рассеянные сильные грозы, возможны смерчи,

52 - 55: значительное количество сильных гроз, возможны смерчи,

TT > 55: многочисленные сильные грозы с сильными смерчами.

4. Severe Weather Threat (SWEAT)

Данный индекс оценивает вероятность опасных явлений погоды, которые связаны с конвективной облачностью, и включает в себя индекс неустойчивости воздушной массы, скорость и сдвиг ветра. Определяется по формуле:

$$SWEAT = 12 * Td_{\{850\}} + 20 * (TT - 49) + 3,888 * V_{\{850\}} + 1,944 * V_{\{500\}} + (125 * \sin(D_{\{500\}} - D_{\{850\}}) + 0,2)]$$

где:

V — скорость ветра на соответствующих уровнях (м/с),

D — направление ветра на соответствующих уровнях (градусы).

Количественная оценка индекса:

$SWEAT < 250$: нет условий для сильных гроз,

250 - 350: условия для сильных гроз, града и шквалов,

350 - 500: условия для очень сильных гроз, крупного града, сильных шквалов, смерчей,

$SWEAT \geq 500$: условия для очень сильных гроз, крупного града, сильных шквалов, сильных смерчей [10].

3.Обработка данных зимних гроз

3.1 Территория исследования зимних гроз

В данной квалификационной работе для рассмотрения и анализа зимних гроз был взят период с 2015 по 2025 годы с октября по март. Данные зимних гроз были взяты с сайта Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных [4].

В своей работе мне удалось найти 18 городов из разных округов России. Города выбирались так, чтобы в них обязательно были данные зондирования.

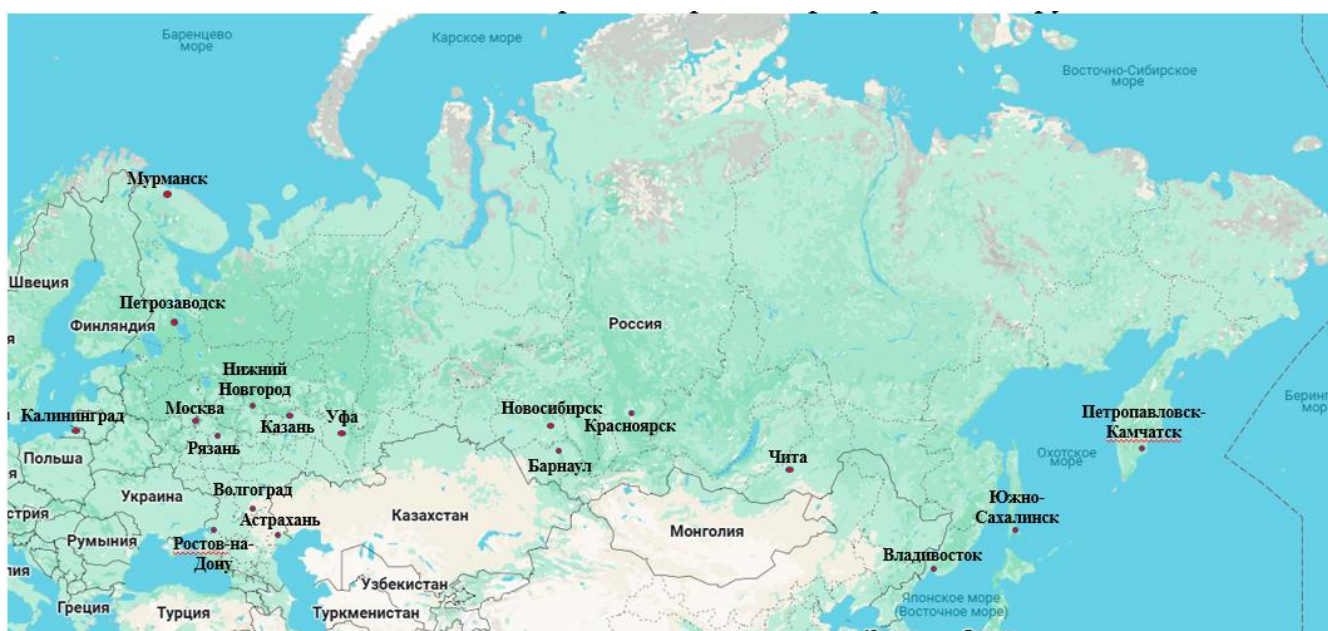


Рисунок 3 - Территория исследования

Города были найдены так, чтобы в каждом регионе России было примерно равное количество пунктов исследования. Таким образом, получилось:

1. Центральный федеральный округ:
 - Москва,
 - Рязань.
2. Приволжский федеральный округ:

- Нижний Новгород,
 - Казань,
 - Уфа.
3. Южный федеральный округ:
- Ростов-на-Дону,
 - Волгоград,
 - Астрахань.
4. Сибирский федеральный округ:
- Красноярск,
 - Новосибирск,
 - Барнаул.
5. Дальневосточный федеральный округ:
- Петропавловск-Камчатский,
 - Южно-Сахалинск,
 - Владивосток,
 - Чита.
6. Северо-Западный федеральный округ:
- Мурманск,
 - Петрозаводск,
 - Калининград.

Таблица 2 - Зафиксированные случаи зимних гроз

Город	Индекс	Год	Месяц	День	Срок	Номер	Начало	Конец
Москва	27612	2015	2	1	6	80	4,44	5,05
		2016	10	3	21		18,59	19,10
		2016	10	3	21		19,10	19,40
		2019	1	19	0		22,06	22,08
		2020	11	6	9		7,05	7,22
		2022	10	1	21		19,01	19,30
		2022	10	30	15		14,29	14,37
Нижний Новгород	27459	2016	10	3	3	80	0,02	0,12
		2019	10	6	15		14,03	15,00
		2019	10	6	18		15,00	15,30
Казань	27595	2015	10	2	15	80	12.31	12.51

Ростов-на-Дону	34730	2017	3	28	18	80	15.42	17.30
		2020	10	30	6		4.27	4.48
		2021	3	28	12		9.24	10.08
		2023	10	3	3		0.33	0.53
		2023	10	3	6		5.12	5.57
Уфа	28722	2020	10	17	0	80	21.50	22.25
Волгоград	34561	2015	11	26	3	80	0.40	1.15
		2018	10	4	18		17.29	18.00
		2018	10	4	21		18.00	18.14
		2019	10	1	18		17.41	18.00
		2019	10	1	21		18.00	18.26
		2023	10	6	15		14.30	15.00
		2023	10	6	18		15.00	15.10
		2023	10	6	21		19.37	20.10
Красноярск	29570	2015	10	2	12	80	10.43	10.58
Мурманск	22113	2016	12	3	15	80	13.30	13.40
		2016	12	11	6		3.05	3.15
		2018	3	26	3		2.17	2.19
		2022	1	21	9		8.10	8.20
Петропавловск-Камчатск	32583	2018	1	22	12	80	9.02	9.06
Южно-Сахалинск	32150	2018	10	9	3	80	2.35	3.00
		2018	10	9	6		3.00	3.25
		2018	10	15	9		7.22	8.25
		2018	10	15	12		10.06	10.25
		2020	10	14	3		2.05	2.20
		2021	10	3	15		14.58	15.00
		2021	10	3	18		15.00	15.02
Новосибирск	29638	2018	10	14	12	80	10.32	10.42
		2021	2	8	15		14.26	15.00
		2021	2	8	18		15.00	15.04
Барнаул	29838	2015	10	1	21	80	20.47	21.00
		2015	10	2	0		21.00	21.29
		2015	10	2	3		1.49	2.25
Петрозаводск	22820	2015	10	2	18	80	17.40	18.00
		2015	10	2	21		18.00	18.15
Калининград	26702	2016	3	29	15	80	14.48	15.00
		2016	3	29	18		15.00	15.15
		2016	10	2	0		23.43	0.00
		2016	10	2	3		0.00	0.43
		2017	1	4	3		1.34	1.45
		2017	1	4	9		6.07	6.22
		2020	10	4	15		14.55	15.00
		2020	10	4	18		15.00	15.34
		2020	10	5	18		17.56	18.00
		2020	10	5	21		18.00	21.00
		2020	10	6	0		21.00	22.08
		2021	10	23	3		2.55	3.00
		2021	10	23	6		3.00	3.16
		2023	3	25	15		13.50	14.06
		2024	3	16	15		14.49	15.00
		2024	3	16	18		15.00	15.05

Чита	30758	2015	10	1	6	80	5.30	6.00
		2015	10	1	9		6.00	7.27
		2021	3	24	9		8.40	9.00
Рязань	27730	2022	10	1	12	80	10.55	12.00
Астрахань	34880	2016	2	17	3	80	2.10	3.00
		2016	2	17	6		3.00	3.12
		2017	10	22	15		13.26	14.01
		2018	10	4	15		13.00	13.55
		2018	10	4	18		15.21	16.24
Владивосток	31960	2016	10	3	9	80	8.49	9.00
		2016	10	3	12		9.00	9.32
		2016	10	25	0		21.50	23.20
		2016	10	30	12		9.35	10.06
		2017	10	20	21		18.26	18.50
		2018	10	9	18		17.15	18.00
		2018	10	9	21		18.00	18.05
		2018	10	10	6		3.06	3.46
		2018	10	10	6		4.36	5.22
		2018	10	23	3		0.16	1.22
		2018	10	23	3		2.12	3.00
		2018	10	23	6		3.00	3.12
		2018	10	23	6		3.50	5.15
		2018	10	23	12		10.27	12.00
		2018	10	23	15		12.00	12.30
		2018	10	26	9		7.00	7.24
		2018	10	26	9		7.24	8.21
		2019	10	28	18		16.26	18.00
		2019	10	28	21		18.00	18.05
		2019	11	17	21		18.51	21.00
		2019	11	18	0		21.00	21.15
		2019	11	18	0		22.45	0.00
		2019	11	18	3		0.00	0.07
		2019	11	23	18		16.40	17.20
		2020	3	19	6		5.43	6.00
		2020	3	19	9		6.00	6.45
		2020	10	4	9		6.44	7.15
		2021	11	8	12		9.29	9.44
		2021	11	18	21		18.34	19.10
		2022	12	12	12		11.26	12.00
		2022	12	12	15		12.00	12.09
		2023	10	1	9		7.39	8.06
		2023	10	3	21		19.18	20.30
		2023	11	2	15		14.27	14.53
		2024	10	29	18		16.58	17.10
		2024	10	29	18		17.40	18.00
		2024	10	29	21		18.00	18.04

Пояснения к данной таблице:

- время начала и конца явления в UTC,
- голубым цветом – гроза без перерывов, но попавшая в разные сроки,
- розовым – гроза, которая происходила с небольшими перерывами.

Далее для последующей обработки и анализа данных была сделана дополнительная общая таблица с указанием городов, месяцев, в которых были отмечены случаи зимних грозы и общее количество случаев в каждом городе.

Таблица 3 – Общее число зафиксированных случаев

Округ	Количество случаев			
	Город	Месяц	Случаев	Всего
цфо	Москва	Январь	1	6
		Февраль	1	
		Март	0	
		Октябрь	3	
		Ноябрь	1	
		Декабрь	0	
пфо	Нижний Новгород	Январь	0	2
		Февраль	0	
		Март	0	
		Октябрь	2	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
пфо	Казань	Январь	0	1
		Февраль	0	
		Март	0	
		Октябрь	1	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
юфо	Ростов-на-Дону	Январь	0	4
		Февраль	0	
		Март	2	
		Октябрь	2	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
пфо	Уфа	Январь	0	1
		Февраль	0	
		Март	0	
		Октябрь	1	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
юфо	Волгоград	Январь	0	4
		Февраль	0	
		Март	0	
		Октябрь	3	
		Ноябрь	1	
		Декабрь	0	

сфо	Красноярск	Январь	0	1
		Февраль	0	
		Март	0	
		Октябрь	1	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
сзфо	Мурманск	Январь	1	4
		Февраль	0	
		Март	1	
		Октябрь	0	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	2	
дфо	Петропавловск-Камчатск	Январь	1	1
		Февраль	0	
		Март	0	
		Октябрь	0	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
дфо	Южно-Сахалинск	Январь	0	4
		Февраль	0	
		Март	0	
		Октябрь	4	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
дфо	Владивосток	Январь	0	20
		Февраль	0	
		Март	1	
		Октябрь	13	
		Ноябрь	5	
		Декабрь	1	
дфо	Чита	Январь	0	2
		Февраль	0	
		Март	1	
		Октябрь	1	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	

цфо	Рязань	Январь	0	1
		Февраль	0	
		Март	0	
		Октябрь	1	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
юфо	Астрахань	Январь	0	3
		Февраль	1	
		Март	0	
		Октябрь	2	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	

сфо	Новосибирск	Январь	0	2
		Февраль	1	
		Март	0	
		Октябрь	1	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
сфо	Барнаул	Январь	0	1
		Февраль	0	
		Март	0	
		Октябрь	1	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
сзфо	Петрозаводск	Январь	0	1
		Февраль	0	
		Март	0	
		Октябрь	1	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
сзфо	Калининград	Январь	1	8
		Февраль	0	
		Март	3	
		Октябрь	4	
		Ноябрь	0	
		Декабрь	0	
			всего	66

Таким образом, мне удалось найти 66 случаев зимних гроз из 18 городов России. После этого, я приступила к обработке результатов.

3.2Случаи зимних гроз в разных округах России

Первым делом была сделана таблица и график распределения количества случаев зимних гроз в разных округах России.

Таблица 4 - Распределение количества случаев зимних гроз в разных округах России

регион	случаи	повторяемость, %
Центральный	7	11
Приволжский	4	6
Южный	11	17
Сибирский	4	6
Дальневосточный	27	41
Северо-Западный	13	20

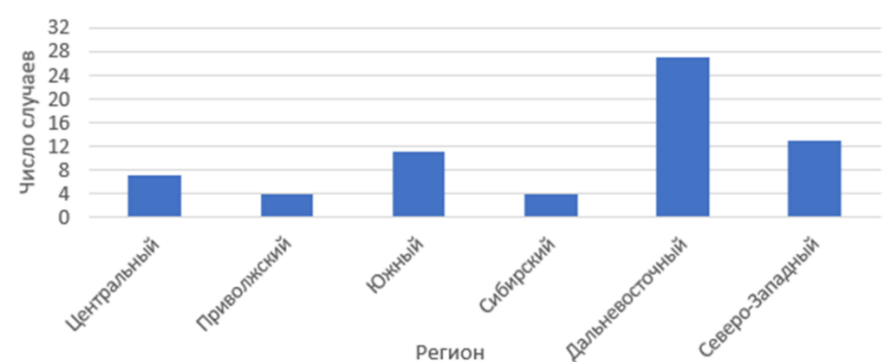


Рисунок 4 - Распределение количества случаев зимних гроз в разных округах России

Таким образом, наглядно видно, что наибольшая повторяемость зимних гроз была в Дальневосточном округе – 41%, что составило 27 случаев за последние 10 лет. Меньше всего зимних гроз было в Сибирском и Приволжском федеральном округе – по 4 случая, что составило всего 6% повторяемости.

Зимние грозы в Дальневосточном округе возникают за счет того, что рядом с выбранными городами находится Тихий океан, а также Японское море. Они остаются относительно тёплыми зимой, за счет чего происходит испарение с поверхности моря, создавая влажную и неустойчивую воздушную массу. Также, зимой над Японским морем часто формируются глубокие циклоны, которые приносят обильные осадки и сильные ветра. В таких циклонах возможны высотные восходящие потоки, приводящие к образованию кучево-дождевых облаков (Cb) и гроз.

3.3 Случаи зимних гроз по месяцам

Далее была сделана таблица и график распределения количества случаев зимних гроз в различных месяцах.

Таблица 5 - Распределение количества случаев зимних гроз в различных месяцах

месяц	случаев	повторяемость, %
Январь	4	6
Февраль	3	5
Март	8	12
Октябрь	41	62
Ноябрь	7	11
Декабрь	3	5

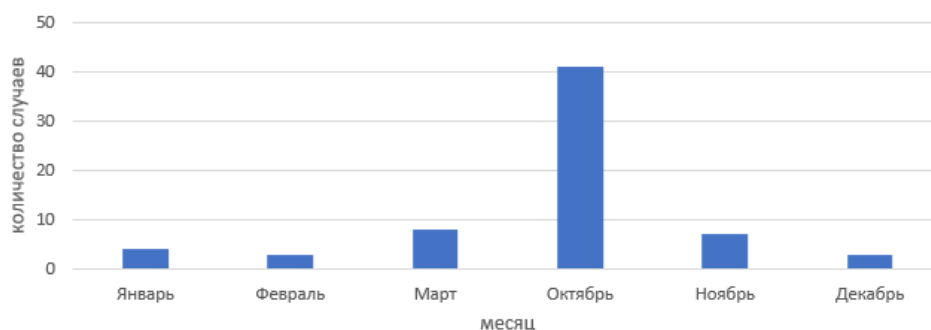


Рисунок 5 - Распределение количества случаев зимних гроз в различных месяцах

По таблице видно, что наибольшая повторяемость зимних гроз была в октябре – 41 случай и повторяемость составила – 62%. Меньше всего гроз было зафиксировано в декабре и феврале – по 3 случая, что составило 5% повторяемости.

Почему же в марте так мало гроз? На образование зимней грозы, помимо температурного режима, влияет еще множество факторов, например: особенности сезонной динамики атмосферных процессов, циркуляции воздушных масс. В образовании зимней грозы очень важна разница в температуре поверхности моря и суши. Так, например, в октябре море еще остается теплым, а воздух на суше уже становится более холодным, за счет этого возникает сильный контраст, что приводит

к мощным атмосферным фронтам. В марте же этот контраст выражен слабее, что приводит в слабым атмосферным фронтам.

Помимо этого, в октябре усиливается циклоническая деятельность, часто возникают атлантические, либо тихоокеанские циклоны с активной фронтальной зоной. В марте же, циклоны менее глубокие и по большей части преобладают антициклоны.

Случаи зимних гроз в разных месяцах в зависимости от округа России

По двум предыдущим таблицам были сделаны дополнительные таблицы распределения количества случаев зимних гроз в разных месяцах в зависимости от округа России.

Таблица 6 - Распределение количества случаев зимних гроз в разных месяцах в зависимости от округа России

Центральный		Приволжский	
месяц	случаи	месяц	случаи
Январь	1	Январь	0
Февраль	1	Февраль	0
Март	0	Март	0
Октябрь	4	Октябрь	4
Ноябрь	1	Ноябрь	0
Декабрь	0	Декабрь	0

Южный		Сибирский	
месяц	случаи	месяц	случаи
Январь	0	Январь	0
Февраль	1	Февраль	1
Март	2	Март	0
Октябрь	7	Октябрь	3
Ноябрь	1	Ноябрь	0
Декабрь	0	Декабрь	0

Дальневосточный		Северо-Западный	
месяц	случаи	месяц	случаи
Январь	1	Январь	2
Февраль	0	Февраль	0
Март	2	Март	4
Октябрь	18	Октябрь	5
Ноябрь	5	Ноябрь	0
Декабрь	1	Декабрь	2

По данным таблицам видно, что во всех округах России зимние грозы больше всего происходили в октябре. Например, в Приволжском округе из 4 случаев все выпали на октябрь, а в Дальневосточном округе из 27 случаев, в октябре было отмечено 18 случаев.

3.4 Анализ синоптической обстановки при образовании зимних гроз

Следующем этапом работы было рассмотрение синоптических карт погоды с сайта ФГБУ «Гидрометцентр России» [6] для всех 66 случаев за период с 2015 г по 2025 годы. По ним была выявлена синоптическая обстановка, связанная с прохождением зимней грозы.

Таблица 7 - Синоптическая обстановка при случаях зимних гроз

Город	син.обстановка
Москва	Прохождение холодного фронта
	Ложбина + близка к точке волны(может быть под влиянием и теплого и холодного фронта)
	Внутримассовая
	Прохождение холодного фронта
	Прохождение холодного фронта
Нижний Новгород	Прохождения холодного фронта
	Теплый сектор
Казань	Центор циклона + теплый сектор
	Прохождение холодного фронта
Ростов-на-Дону	Прохождение холодного фронта
	Малоградиентное поле низкого давления
	Прохождение холодного фронта
	Прохождение холодного фронта
Уфа	Центр циклона

Волгоград	Прохождение холодного фронта
	Ложбина + прохождение холодного фронта
	Ложбина + прохождение холодного фронта
	Прохождение фронта окклюзии
Красноярск	Прохождение холодного фронта
Мурманск	Прохождение холодного фронта
	Внутримассовая
	Малоградиентное поле низкого давления
	Центр циклона
Петропавловск-Камчатск	Теплый сектор
Южно-Сахалинск	Теплый сектор
	Теплый сектор + прохождение холодного фронта
	Прохождение холодного фронта
	Прохождение теплого фронта
Астрахань	Ложбина + малоградиентное поле низкого давления
	Малоградиентное поле низкого давления + теплый сектор
	Малоградиентное поле низкого давления + прохождение холодного фронта
Новосибирск	Прохождение холодного фронта
	Прохождение холодного фронта
Барнаул	Прохождение холодного фронта
Петрозаводск	Прохождение холодного фронта
Калининград	Прохождение фронта окклюзии
	Прохождение холодного фронта
	Центр циклона + прохождение холодного фронта
	Прохождение холодного фронта
	Прохождение фронта окклюзии
	Прохождение холодного фронта
	Прохождение фронта окклюзии
	Прохождение холодного фронта

Чита	Прохождение холодного фронта
	Центр циклона + прохождение холодного фронта
Рязань	Малоградиентное поле низкого давления + теплый сектор
Владивосток	Прохождение холодного фронта
	Прохождение холодного фронта
	Прохождение холодного фронта
	Теплый сектор
	Прохождение холодного фронта
	Прохождение фронта окклюзии
	Прохождение холодного фронта + фронта окклюзии
	Прохождение фронта окклюзии
	Прохождение теплого фронта
	Прохождение холодного фронта + фронта окклюзии
	Прохождение фронта окклюзии
	Малоградиентное поле низкого давления
	Прохождение теплого фронта
	Прохождение холодного фронта
	Теплый сектор
	Прохождение холодного фронта
	Прохождение холодного фронта
	Теплый сектор
	Прохождение холодного фронта
	Малоградиентное поле низкого давления + теплый сектор

После рассмотрения синоптических карт и выявления синоптической обстановки была сделана таблица распределения синоптической обстановки в момент зимней грозы.

Таблица 8 - Распределение синоптической обстановки в момент зимней грозы.

Причина	Случаи	Повторяемость, %
Холодный фронт	33	50
Теплый фронт (теплый сектор)	9	14
Фронт окклюзии	7	11
Внутримассовая	2	3
Малогradientное поле низкого давления	3	5
Центр циклона	2	3
холодный фронт + фронт окклюзии	2	3
Малогradientное поле низкого давления + теплый сектор	3	5
Центр циклона + холодный фронт	2	3
Ложбина + близка к вершине волны	1	2
Центор циклона + теплый сектор	1	2
Ложбина + малогradientное поле низкого давления	1	2

Как уже было сказано ранее, зимние грозы, в основном, возникаю при прохождении активных атмосферных фронтов, что мы и наблюдаем. Большая часть зимних гроз связана с прохождением фронта, в особенности с прохождением холодного фронта – 33 случая и повторяемость – 50%.

Как уже было описано ранее, холодный фронт, как правило, приносит арктический или полярный воздух, который сталкивается с более тёплой и влажной воздушной массой. При подъёме тёплого воздуха происходит его охлаждение, конденсация влаги и формирование кучево-дождевых облаков (Cb), способных на грозовую активность.

В холодное время года циклоническая деятельность часто сопровождается глубокими циклонами, которые обеспечивают дополнительную динамическую подъёмную силу.

При отрицательных температурах в облаках могут сосуществовать переохлаждённые капли, лёд и снег, что способствует разделению зарядов и возникновению молний. Также зимние грозы часто сопровождаются снежными зёрнами или ледяной крупой, а не ливневыми дождями.

Холодные фронты имеют более крутой наклон (1:50–1:100), что приводит к быстрому и мощному подъёму воздуха. Тёплые фронты, напротив, имеют малый наклон (1:200), и конвекция в них слабее, поэтому зимние грозы в их зоне редки.

Обзор синоптической ситуации зимней грозы 29 октября 2024 г.

Во Владивостоке был зафиксирован случай зимней грозы 29 октября 2024 года в 18 часов по UTC.



Рисунок 6 – Синоптическая карта за 29.10.24г за 00 UTC



Рисунок 7 – Синоптическая карта за 29.10.24г за 12 UTC



Рисунок 8 – Синоптическая карта за 30.10.24г за 00 UTC

Таблица 9 – Рассчитанные индексы неустойчивости и прогноз гроз по модели для данного случая

SWEAT	K	CT	VT	TT	модель
187.47	26.20	23.80	24.90	48.70	зафиксирована

По карте за 29 число в 12 UTC, мы наблюдаем, как Владивосток находится под влиянием малоградиентного поля низкого давления. Город уже успел пройти теплый фронт, но неподалеку находится фронт окклюзии, который стремительно приближается к Владивостоку. По карте за 30 число, город все также находится в малоградиентном поле, но уже находится под влиянием антициклона. Так как гроза проходила в 18 UTC, между сроками 29.10.24 за 12 и 30.10.24 за 00 UTC, можно предположить, что фронт окклюзии успел достигнуть города, что и спровоцировало возникновение грозы.

По рассчитанным индексам неустойчивости, гроза была спрогнозирована по методу Вайтинга, Total Totals индексу и Cross Totals индексу. Vertical Totals индекс практически спрогнозировал данную грозу, так как при расчете получилось значение 25, а необходимое значение для прогноза является 28. Модель ICON, также спрогнозировала данную грозу.

3.5 Расчет индексов неустойчивости и оценка их успешности

Далее были взяты ближайшие данные зондирования [5] к зафиксированным случаям зимних гроз. По этим данным были рассчитаны 5 индексов неустойчивости для всех случаев зимних гроз и проанализирована их успешность.

Таблица 10 - Рассчитанные значения 5 индексов неустойчивости

Город	SWEAT	K	CT	VT	TT
Москва	213,67	16,30	20,90	21,00	41,90
	108,56	24,60	20,10	24,30	44,40
	101,18	7,50	23,10	26,20	49,30
	134,03	11,10	22,40	22,80	45,20
	133,71	32,10	24,70	24,70	49,40
	157,34	3,10	21,80	24,40	46,20
Нижний Новгород	79,70	17,00	14,00	16,70	30,70
	211,52	26,40	23,40	26,10	49,50
Казань	124,32	16,50	22,30	25,30	47,60
Ростов-на-Дону	182,60	19,40	21,70	26,50	48,20
	122,04	30,20	20,50	28,50	50,00
	132,05	20,20	24,50	27,80	52,30
	136,11	30,40	23,30	29,30	52,60
Уфа	355,03	30,90	26,70	27,70	54,40
Волгоград	241,47	28,20	26,60	27,30	53,90
	130,15	9,90	17,70	19,90	37,60
	145,87	24,40	19,60	23,70	43,30
	104,90	4,90	18,10	25,10	43,20
Красноярск	277,58	27,30	26,70	27,90	54,60
Мурманск	333,30	17,30	30,10	31,00	61,10
	327,99	8,90	28,00	34,00	62,00
	267,70	4,80	28,10	30,40	58,50
	294,79	15,00	28,90	32,80	61,70
Петропавловск-Камчатск	95,18	3,10	19,50	23,80	43,30
Южно-Сахалинск	111,58	17,20	24,40	26,10	50,50
	237,43	18,50	24,50	28,50	53,00
	173,01	9,50	18,80	26,80	45,60
	211,30	10,30	9,50	20,50	30,00

Чита	201,70	17,90	26,20	29,00	55,20
	86,39	12,10	23,20	27,40	50,60
Рязань	132,56	26,80	23,30	24,30	47,30
Астрахань	166,96	28,20	24,10	27,10	51,20
	93,24	21,00	20,40	24,10	44,50
	159,40	21,70	16,70	26,70	43,40
Новосибирск	79,64	7,10	21,80	25,00	46,80
	207,85	17,70	23,10	23,80	46,90
Барнаул	230,48	26,90	22,10	29,10	51,20
Петрозаводск	171,17	22,70	21,50	22,30	43,80
Калининград	162,16	19,90	26,30	27,70	54,00
	338,73	34,60	24,80	25,50	50,30
	185,80	11,70	24,40	26,80	51,20
	197,77	25,38	18,19	25,44	43,63
	75,01	16,89	15,77	26,74	42,51
	281,59	19,90	29,00	30,00	59,00
	97,70	16,70	21,50	28,50	50,00
	134,05	22,40	23,70	28,70	52,40

Владивосток	221,20	24,70	19,30	21,30	40,60
	108,78	-5,50	8,90	21,90	30,80
	106,84	-7,70	8,40	23,40	31,80
	253,37	20,10	24,30	26,90	51,20
	66,04	14,10	17,30	26,30	43,60
	204,74	23,70	22,90	24,70	47,60
	228,44	25,10	26,50	26,50	53,00
	216,07	8,70	16,70	21,30	38,00
	228,66	13,10	22,70	24,70	47,40
	239,38	11,90	17,70	18,60	36,30
	210,51	22,90	19,10	25,10	44,20
	79,64	17,40	19,90	28,90	48,80
	238,98	6,70	17,50	26,50	44,00
	278,10	2,20	14,60	16,50	31,10
	101,01	5,10	14,60	26,60	41,20
	220,23	-16,50	9,00	21,00	30,00
	54,39	16,40	21,60	26,10	47,70
	197,32	17,30	14,90	28,90	43,80
	320,53	30,00	25,20	26,30	51,50
	187,47	26,20	23,80	24,90	48,70

Пояснения к данной таблице:

- Выделенные значения – значения, при которых гроза прогнозируется,
- Для прогнозирования грозы по SWEAT, рассчитанное значение должно быть больше 250,
- Для метода Вайтинга (K), значение должно быть больше 20,
- Для индекса cross totals (CT), ожидать грозу стоит при рассчитанных значениях больше 18,

- Для индекса vertical totals (VT) – грозы ожидаются при рассчитанных значениях более 28,
- Для индекса total totals (TT) – грозы стоит ожидать при рассчитанных значениях от 44.

После того, как были рассчитаны 5 индексов неустойчивости, была сделана таблица и график распределения количества спрогнозированных зимних гроз разными методами.

Таблица 11 - Распределение количества спрогнозированных зимних гроз разными методами

индекс	SWEAT	K	CT	VT	TT
случаев	11	26	51	14	44
повторяемость, %	17	39	77	21	67

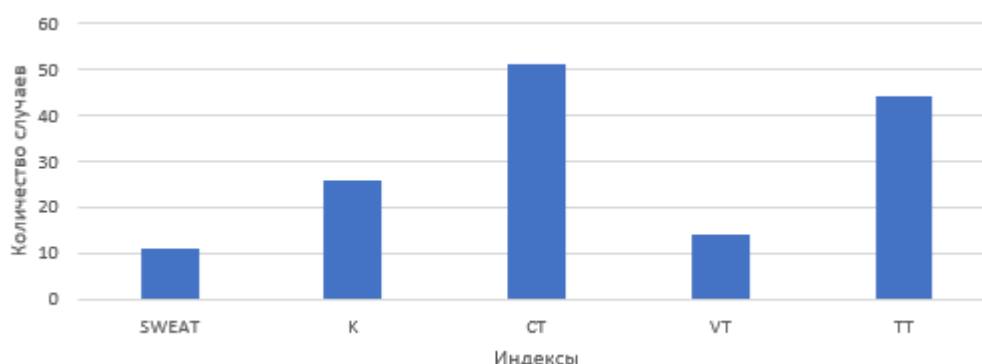


Рисунок 9 - Распределение количества спрогнозированных зимних гроз разными методами

Таким образом, можно наблюдать, что наилучший метод для расчета зимних гроз оказался Cross Totals индекс, количество спрогнозированных гроз составило 51 случай, а повторяемость его – 77%. Это связано с тем, что в формуле задействована разница температуры и температуры точки росы (влажность атмосферы) на разных уровнях. Total Totals индекс, тоже хорошо спрогнозировал, связано это с тем что в расчете использованы Cross Totals и Vertical Totals индексы.

Индекс Severe Weather Threat (SWEAT) показал себя хуже всех, это связано с тем, что данный индекс создан в США и он больше эффективен для данной территории. Для нашей страны данный индекс менее полезен и в основном при расчётах показывает плохие результаты. Но тем не менее в своей работе я проверила данный индекс.

Но нельзя говорить о том, что какой-то индекс показал себя хорошо, а какой-то плохо, так как большая часть гроз была связана с прохождением фронта. А как известно, при прохождении фронта индексы неустойчивости всегда сильно завышены. По этой причине была сделана дополнительная таблица распределения количества спрогнозированных зимних гроз разными методами в зависимости от синоптической обстановки.

Таблица 12 - Распределение количества спрогнозированных зимних гроз разными методами в зависимости от синоптической обстановки

прохождение фронтов (51 случаев)			другая син. обстановка (15 случаев)		
индекс	случаев	повторяемость, %	индекс	случаев	повторяемость, %
SWEAT	7	14	SWEAT	4	27
K	18	35	K	8	53
CT	36	71	CT	15	100
VT	9	18	VT	5	33
TT	29	57	TT	15	100

По данной таблице видно, что рассчитанные значения индексов неустойчивости лучше показали себя не при прохождении фронтов (внутримассовая гроза, гроза за счёт малоградиентного поля низкого давления). Cross Totals индекс идеально предсказал все 15 случаев зимних гроз, за счёт чего и total totals (TT) индекс, также хорошо показал себя, спрогнозировав все случаи.

При прохождении фронтов, индексы тоже показали себя хорошо, так как нужно учитывать, что случаев с прохождением фронта в 3 раза больше. В целом, cross totals индекс из 51 случая спрогнозировал 36 раз и повторяемость составила 71%, что является очень хорошим результатом. Total totals (TT) индекс также

показал хороший результат – 57 процентов повторяемости. Так что нельзя сказать, что в данном случае индексы показали себя завышенными.

3.6 Прогноз зимних гроз с помощью моделей (сайт ventusky)

В качестве проверки, была взята модель [7] и оценена успешность ее прогнозирования зимних гроз для всех 66 случаев.

Таблица 13 - Спрогнозированные грозы по модели ICON

Город	модель
Москва	не зафиксирована
	зафиксирована
	не зафиксирована
	не зафиксирована
	зафиксирована
	не зафиксирована
Нижний Новгород	зафиксирована
	зафиксирована
Казань	не зафиксирована
Ростов-на-Дону	не зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
Уфа	не зафиксирована
Волгоград	зафиксирована
	не зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
Красноярск	не зафиксирована
Мурманск	не зафиксирована
	не зафиксирована
	не зафиксирована
	не зафиксирована
Петропавловск-Камчатск	не зафиксирована

Южно-Сахалинск	не зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
Владивосток	зафиксирована
	не зафиксирована
	не зафиксирована
	не зафиксирована
	не зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
	не зафиксирована
	зафиксирована
	не зафиксирована
	не зафиксирована
	не зафиксирована
	зафиксирована
	не зафиксирована
	не зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
Чита	не зафиксирована
	не зафиксирована

Рязань	зафиксирована
Астрахань	не зафиксирована
	не зафиксирована
	зафиксирована
Новосибирск	не зафиксирована
	не зафиксирована
Барнаул	зафиксирована
Петрозаводск	не зафиксирована
Калининград	не зафиксирована
	зафиксирована
	не зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована
	зафиксирована

Получив данные о зафиксированных или не зафиксированных случаях зимних гроз с сайта ventusky была сделана таблица эффективности прогнозирования гроз по модели ICON.

Таблица 14 - Эффективность прогнозирования данной модели

прогноз	случаи	повторяемость, %
спрогнозированные	30	45
не спрогнозированные	36	55

Таким образом, видно, что модель прогнозировала зимние грозы 50% на 50%, что не является хорошим результатом. Скорее всего это связано с тем, что модель могла недооценивать конвективную неустойчивость, например, слабо реагировала на зимние фронтальные грозы, а в данной работе большая часть зимних гроз была связана с ними.

Затем я сделала дополнительную таблицу распределения спрогнозированных гроз по модели в зависимости от 5 рассчитанных индексов неустойчивости.

Таблица 15 - Сравнение модели с рассчитанными индексами неустойчивости

спрогнозированные (30 случаев)			не спрогнозированные (36)		
индекс	случаев	повторяемость, %	индекс	случаев	повторяемость, %
SWEAT	3	10	SWEAT	8	22
K	19	63	K	7	19
CT	25	83	CT	26	72
VT	8	27	VT	6	17
TT	20	67	TT	24	67

Анализируя таблицу 15, можно заметить, что повторяемость успешных и неуспешных прогноз зимних гроз при использовании модели примерно равна. Индексы в зафиксированных и не зафиксированных случаях показали себя, примерно, одинаково. Cross Totals индекс показал себя чуть лучше, когда по модели гроза была спрогнозирована - 83% повторяемость. Total Totals индекс и в том и в другом случае показал себя одинаково 67% повторяемости.

Далее, также было рассмотрено, как модель прогнозирует при той или иной синоптической обстановке.

Таблица 16 - Прогнозирование модели от синоптической обстановки

прохождение фронтов (51 случаев)			другая син. обстановка (15 случаев)		
прогноз	случаи	повторяемость, %	прогноз	случаи	повторяемость, %
зафиксирована	25	49	зафиксирована	5	33
не зафиксирована	26	51	не зафиксирована	10	67

Таким образом, модель лучше прогнозирует зимнюю грозу при прохождении фронта, но сказать, что хорошо, нельзя. При прохождении фронтов модель делает

прогноз 50% на 50%, что не является качественным прогнозом и опираться на нее не стоит. Но если сравнивать с другой синоптической обстановкой (внутримассовая, центр циклона), то модель прогнозирует еще хуже. Модель смогла спрогнозировать грозу всего 5 раз из 15, что составляет всего 33% повторяемости.

4. Практическая значимость исследования и перспективы применения результатов

4.1 Актуальность прогноза зимних гроз в различных отраслях

Исследование условий формирования зимних гроз – это не только академический интерес, но и насущная практическая задача, имеющая прямое отношение к безопасности людей, функционированию критической инфраструктуры и экономике. Низкая прогнозируемость этого явления, подтвержденная в том числе и нашими результатами оценки модели ICON (лишь 50% успешных прогнозов), делает его особенно коварным. Рассмотрим, почему так важно улучшить прогноз зимних гроз:

1. Авиационная безопасность (Главный потребитель прогноза):

Обледенение: Зимние грозы часто сопровождаются переохлажденными осадками (ледяной дождь, крупа, мокрый снег). Попадание воздушного судна в такую зону приводит к экстремально быстрому обледенению двигателей и датчиков. Наши данные о связи гроз с фронтами (50% случаев) и центрами циклонов (24%) напрямую указывают на зоны повышенного риска для полетов. Прогноз позволяет экипажам и диспетчерам заранее планировать обход опасных зон или отменять/переносить рейсы.

Турбулентность и сдвиг ветра: Грозовые облака, особенно фронтальные, являются источником сильной турбулентности и опасного сдвига ветра, которые могут привести к потере управления самолетом на критических этапах полета (взлет/посадка). Выявленная эффективность индексов СТ и ТТ дает метеорологам аэропортов конкретный инструмент для оценки этого риска в зимних условиях.

Электрические разряды: Прямое попадание молнии может повредить бортовое электронное оборудование. Хотя зимние молнии часто слабее летних, риск повреждений остается значительным.

2. Энергетика и ЖКХ:

Гололедно-изморозевые отложения: Ледяной дождь и мокрый снег, сопутствующие зимним грозам, – главная причина образования гололеда на проводах ЛЭП. Нагрузка на провода и опоры многократно увеличивается, что приводит к обрывам проводов, разрушению опор и масштабным отключениям электроэнергии. Прогноз таких событий (особенно в пиковый октябрьский период) позволяет энергетикам привести в готовность аварийные бригады, запустить системы антиобледенения или даже осуществить превентивное отключение участков сетей.

Нарушение работы транспорта: шквалы и метели, сопровождающие зимние грозы, резко ухудшают видимость на дорогах, приводят к снежным заносам и гололедице, повышая аварийность. Своевременное предупреждение позволяет дорожным службам усилить работу снегоуборочной техники и обработку дорог реагентами, а населению – отложить поездки.

Риск для городской инфраструктуры: Сильный ветер может срывать крыши, повреждать рекламные конструкции и деревья. Ледяной дождь создает опасность падения сосулек.

Сельское хозяйство: для южных регионов России (Краснодарский край, Ростовская область), где зимние грозы хоть и реже, но возможны, сильные шквалы и обледенение могут повредить тепличные комплексы и зимующие насаждения. Прогноз позволяет принять меры по укреплению конструкций.

4.2 Результаты как основа для улучшения прогноза

Полученные в ходе данного исследования результаты предоставляют конкретные инструменты и направления для повышения точности прогноза зимних гроз в России:

Приоритизация методов: Результаты раздела 3.5 однозначно указывают на индекс Cross Totals (СТ) и индекс Total Totals (ТТ) как на наиболее эффективные индикаторы потенциала зимней грозовой активности по данным зондирования

атмосферы. Это дает прогнозистам четкие критерии для ручного анализа и может быть легко встроено в алгоритмы автоматизированных систем прогноза погоды (АСПП) в регионах, особенно на Дальнем Востоке.

Фокус на синоптике: Выявленная сильная связь зимних гроз с активными холодными фронтами (50%) (раздел 3.5) позволяет синоптикам концентрировать внимание на анализе и прогнозе именно этих объектов в период с октября по март, особенно в зонах максимального риска (Дальний Восток, юг России). Мониторинг траекторий и эволюции таких циклонов и фронтов становится ключевым.

Учет региональной специфики: Явное доминирование Дальневосточного федерального округа (41% случаев) и пик активности в октябре (62%) (разделы 3.2, 3.3) – это важнейшая информация для региональных управлений Росгидромета. Она позволяет оптимизировать ресурсы: усилить мониторинг (включая анализ спутниковых данных и данных редких зондирований), отладить процедуры прогноза и оповещения именно в этом регионе и в этот период.

Критическая оценка моделей: Низкая эффективность глобальной модели ICON (50%, раздел 3.6) в прогнозе зимних гроз подчеркивает необходимость обязательной постобработки ее выходных данных региональными прогнозистами с использованием выявленных эффективных индексов (СТ, ТТ) и синоптического анализа. Модель не должна быть единственным источником прогностической информации для этого явления.

4.3 Перспективные направления развития прогноза зимних гроз

На основе проведенного исследования можно наметить пути дальнейшего совершенствования прогноза этого сложного метеорологического явления:

Радиолокаторы: Расширение сети доплеровских метеорологических радиолокаторов (МРЛ), особенно в малооснащенных регионах Сибири и Дальнего Востока, – критически важно. МРЛ позволяют в режиме реального времени обнаруживать грозовые ячейки (по эху от града/крупных снежинок и электрической

активности), отслеживать их перемещение и интенсивность, что невозможно сделать другими методами.

Мониторинг молний: Развертывание национальных или региональных сетей детектирования молний (как наземных, так и спутниковых) позволит фиксировать все случаи гроз, включая те, что не сопровождались значительными осадками у земли или остались незамеченными наблюдателями.

Применение технологий ИИ: Использование методов машинного обучения (нейронные сети, Random Forest) для анализа многомерных данных (модельные поля, индексы, спутник, рельеф, прошлые случаи) и выявления сложных, нелинейных закономерностей формирования зимних гроз.

Углубленное исследование физики явления: Проведение целевых исследований с использованием современных средств (МРЛ, самолетные зондирования, детальные численные модели облаков) для лучшего понимания микрофизических и электрических процессов именно в зимних грозовых облаках при отрицательных температурах. Это позволит уточнить физические основы прогноза.

Изучение влияния изменения климата: Мониторинг возможных изменений в частоте, интенсивности и географии зимних гроз в связи с глобальным потеплением. Уже сейчас есть основания полагать, что рост температуры морской поверхности может способствовать увеличению неустойчивости и повторяемости таких событий в прибрежных районах.

Внедрение результатов данной работы в практику прогностических подразделений Росгидромета, МЧС и авиаметеорологических служб, особенно в Дальневосточном регионе, позволит существенно повысить заблаговременность и точность предупреждений об опасных явлениях погоды, сопутствующих зимним грозами, тем самым снизив риски для населения и экономики страны.

Заключение

Данная работа была посвящена комплексному исследованию условий формирования редкого и опасного метеорологического явления – зимних гроз на территории России за период 2015-2025 гг. В ходе работы были решены все поставленные задачи и получены следующие основные результаты:

Установлена редкость и специфика явления: Зимние грозы подтверждены как редкое явление (66 случаев за 10 лет по 18 пунктам), характерное для переходных сезонов, преимущественно октября (62% случаев), и связанное с выпадением ливневого снега, ледяного дождя или крупы при температуре воздуха близкой к 0°C. Показана их опасность, обусловленная рисками шквалов, метелей, ледяных отложений и нарушения работы транспорта/энергетики.

Выявлена четкая географическая и сезонная закономерность: Сформированный архив случаев выявил резкое преобладание зимних гроз на Дальнем Востоке (41% случаев, 27 событий), что объясняется влиянием относительно теплых акваторий Тихого океана и Японского моря, а также активной циклонической деятельностью в регионе. Минимальная повторяемость зафиксирована в Сибирском и Приволжском ФО (по 6%). Пик активности в октябре связан с максимальным контрастом температура море-суша и усилением фронтальной активности.

Определены ключевые синоптические механизмы: Анализ синоптических карт для всех случаев однозначно показал доминирующую роль атмосферных фронтов в формировании зимних гроз. Наиболее значим холодный фронт (50% случаев), обеспечивающий мощную динамическую форсировку подъема теплой влажной воздушной массы. Значительная часть гроз также связана с центрами глубоких циклонов и зонами малоградиентного поля низкого давления.

Индексы неустойчивости: Проведен расчет и анализ 5 индексов (K, VT, CT, TT, SWEAT). Наивысшую прогностическую способность для зимних гроз продемонстрировал индекс Cross Totals (CT), верно, указавший на возможность

грозы в 77% случаев (51 из 66). Хорошие результаты также показал индекс Total Totals (ТТ) – 62%. Индекс Vertical Totals (VT) и метод Вайтинга (К) показали умеренную эффективность, в то время как индекс SWEAT оказался наименее пригодным для российских условий зимой (17%). Индексы СТ и ТТ сохраняют прогностическую ценность как при фронтальных, так и при внутримассовых зимних грозах.

Численная модель ICON: Оценка прогнозов глобальной модели ICON выявила ее ограниченную эффективность для зимних гроз: лишь в 50% случаев модель корректно указала на возможность явления. Точность модели несколько выше при фронтальных грозах, но остается неудовлетворительной для внутримассовых случаев (33%).

Разработаны практические рекомендации: Основываясь на результатах, для улучшения краткосрочного прогноза зимних гроз в России рекомендуется:

1. Приоритетное использование индексов Cross Totals (СТ) и Total Totals (ТТ) при анализе данных зондирования атмосферы в холодный период.
2. Тщательный синоптический анализ на предмет активных холодных фронтов и глубоких циклонов, особенно над Дальним Востоком в октябре.

Перспективы дальнейших исследований связаны с увеличением архива наблюдений, применением данных доплеровских радиолокаторов (при доступности) для детального изучения структуры зимних грозовых ячеек, разработкой специализированных региональных критериев и методов прогноза (включая применение методов машинного обучения), а также изучением потенциального влияния изменений климата на частоту и интенсивность этого опасного явления в России.

Список литературы

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гроза>
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Снеговая_гроза
3. <https://www.meteo vesti.ru>
4. Данные: <http://meteo.ru/data/>
5. Зонды: https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding_legacy.html
6. Син. карты: <https://meteo info.ru/mapsynop>
7. <https://www.ventusky.com>
8. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67957423>
9. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54294216>
10. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48092684>