



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии климатологии и охраны атмосферы
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему «Исследование условий начала молниевой активности для
конвективных облаков на Северном Кавказе»

Исполнитель Чупова Елена Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

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

Михайловский Юрий Павлович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой


(подпись)

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

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

« 15 » февраля 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Физико-географическое и климатическое описание Северного Кавказа.....	5
1.1 Физико-географическое расположение Северного Кавказа.....	5
1.2 Климатическое описание Северного Кавказа.....	6
2. Гроза и молния.....	11
2.1 Гроза как опасное явления.....	11
2.2 Эволюция грозовых облаков.....	14
2.3 Классификация грозовых облаков.....	15
2.4 Электричество конвективных облаков.....	19
2.5 Молния.....	23
2.6 Виды молний.....	24
2.7 Линейная молния.....	26
3. Средства и методы контроля грозовых облаков Северного Кавказа.....	28
3.1 Метеорологический радиолокатор МРЛ-5.....	30
3.2 Грозопеленгационная сеть LS8000.....	34
4. Данные комплексных натуральных экспериментов и результаты их анализа.....	38
Заключение.....	56
Список используемой литературы.....	57

Ведение.

Исследование закономерностей электризации конвективных облаков и молниевой активности природного явления как гроза является актуальной темой в метеорологии. Наиболее широко распространены вопросы прогноза и описания электрической опасности облаков для нужд авиации, космонавтики, связи, горнодобывающей промышленности, энергетики и других отраслей. Ниже перечислены некоторые примеры негативного влияния грозовой деятельности на инфраструктуры и сферы человеческой деятельности:

– грозовые разряды приводят к возникновению пожаров и аварий на нефте- и газопроводах, жилых и промышленных постройках сооружениях, транспорте, молнии являются одной из главных причин лесных пожаров;

– перенапряжения в линиях электропередач во время грозы вызывают аварии, возможны помехи в радиосвязи и радионавигации;

– для летательных аппаратов большую опасность представляют как непосредственно прямые удары молний, так и мощные вертикальные восходящие и нисходящие движения воздуха внутри грозовых облаков с порывами ветра 15-20 м/с;

– огромное влияние грозовая деятельность оказывает на сельское и лесное хозяйства, такие опасные явления, которые напрямую связаны с грозами как молнии, град, шквал и интенсивные осадки могут привести к гибели урожая.

В данной работе использовались исходные данные метеорологического радиолокатора МРЛ-5 и грозопеленгационной системы LS8000, результатов наблюдений за эволюцией облаков, которые зародились и перешли в грозовую стадию в период наблюдений с 2010 по 2018 г. на Северном Кавказе. А также были представлены параметры грозовой активности конвективных облаков: максимальная радиолокационная отражаемость (Z_{max} (dBZ)), Y критерий грозоопасности (Y criteria), объемы облака с отражаемостью 35dBZ (dV_{35} (km^3)), интенсивность осадков (SRI (mm/h)), масса переохлажденной части

облака 35dBZ (dM35 (ton)), высота переохлажденной части облака 35dBZ (dH35 (km)), поток осадков (VIL, кг/м²) и поток града (VIN, кг/м²).

Актуальность данной работы состоит в том, чтобы определить какие параметры облака обладают максимальным различием предгрозовой и грозовой стадии облака.

1. Физико-географическое и климатическое описание Северного Кавказа.

1.1 Физико-географическое расположение Северного Кавказа.

Кавказ преимущественно горный район. Одно из самых важных особенностей географического расположения является выход к морям: на западе это Азово-Черноморское, а на востоке Каспийское.



Рисунок 1.1 Физическая карта расположение Северного Кавказа [2].

Кавказ можно разделить на три части: Предкавказье, Большой Кавказ и Закавказье. Предкавказье и северная часть Большого Кавказа считают Северным Кавказом. Северный Кавказ от Закавказья разделяет мощная горная система Кавказского хребта площадью 2600 м² (рисунок 1.1).

Орографически Северный Кавказ можно разделить на три главные части: Кубано-Приазовская низменность - западная, Прикаспийская низменность - восточная и расположенная между ними Ставропольская возвышенность [1].

На Северном Кавказе горы еще молоды. Рельеф их создавался разными тетаническими структурами. Также имеются значительные гидроресурсы горных рек и множество геотермальных источников.

1.2 Климатическое описание Северного Кавказа.

Большой Кавказ является границей между двумя климатическими зонами – субтропическим и умеренным.

Теплые воздушные массы, движущиеся со стороны Атлантического океана и влияние долго остывающее море, влияют на положительную (высокую) температуру (Предкавказья). Большие горы, которые являются препятствием для прохождения холодного воздуха тоже играют не последнюю роль.[3]

Реки имеют снежное и ледниковое питание, часто наблюдающие паводки происходят из-за резкого повышения температуры или выпадения дождя.

В зависимости от географического района воздушные массы делятся на три основные типа:

1. Арктический воздух – бывает континентальный (формируется зимой в полярной области над ледяным покровом Арктики) и морской (район формирования Гренландия-Шпицберген). При вторжении арктического воздуха на Северном Кавказе резко понижается температура, в равнинной части края и в Предкавказье возникают сильные ветра;

2. Воздух умеренных широт – делится на континентальный (образуется азиатским циклоном (зимой), а также путем трансформации из морского воздуха умеренных широт или из Арктического воздуха) и морской

(образуется на севере Атлантики). Весной и осенью континентальный воздух создаёт теплую и ясную погоду, а летом характеризуется повышением температуры и развитием кучевой облачности, в горных районах в первой половине дня – грозы. Зимой вторжение морского воздуха вызывает повышение температуры, оттепели, увеличение облачности и осадков.

3. Тропический воздух – также делится на континентальный и морской. Как правило континентальный тропический воздух попадает на территорию юга России из Средней Азии, также может формироваться на Северном Кавказе путем трансформации воздуха умеренных широт. Появляется в апреле-мае и исчезает в октябре. Морской тропический воздух формируется в районе Азовских островов и приходит на Северный Кавказ через Балканы. Зимой он приносит потепление и туманы, летом ливневые осадки.

По приведенным климатическим показателям трех метеостанций: Пятигорск, Нальчик, Ставрополь (таблица 1) можно сделать вывод, что на Северном Кавказе лето продолжается от 4-6 месяцев, а зима делится всего на 2-3 месяца, остальное время года занимает весна и осень. Средняя температура в июле составляет $+21...+22^{\circ}\text{C}$, января $-4...-3^{\circ}\text{C}$. Суммарное количество осадков составляет 539-653 мм в год.

Несмотря на то, что регион окружён тремя морями, водными ресурсами он обеспечен неравномерно – со стороны востока ощущается недостаток влаги, т. к. движущиеся циклоны с запада на восток и сложная орография влияет на выпадение осадков.

Попадание концентрации промышленности ведущая за собой выброс в атмосферу пыли, являющейся ядрами конденсации и кристаллизации, которые способствуют развитию облака, осадков и гроз, а также влияет повышенный теплообмен с атмосферой над регионом.

Таблица 1. Климатические показатели метеостанций Северного Кавказа

Метеостанция	Климатические показатели												Средне- годовое
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Температура воздуха, °С													
Пятигорск	- 4,2	-3,0	1,1	8,9	14,6	18,3	21,1	20,5	15,5	8,9	3,2	- 1,4	8,6
Нальчик	- 4,0	-2,8	1,8	9,5	15,4	19,1	21,6	21,0	16,0	9,4	3,8	- 1,3	9,1
Ставрополь	- 3,2	- 2,3	1,3	9,3	15,3	19,3	21,9	21,2	16,1	9,6	4,1	- 0,5	9,1
Парциальное давление водяного пара (гпа)													
Пятигорск	4,0	4,3	5,4	7,9	11,4	14,3	16,0	15,5	12,5	9,0	6,7	4,8	9,3
Нальчик	4,1	4,4	5,7	8,5	12,4	15,2	17,3	16,9	13,6	9,5	6,9	5,0	10,0
Ставрополь	4,2	4,3	5,3	7,6	11,2	13,5	14,8	14,1	11,5	8,7	6,6	5,0	8,9
Относительная влажность воздуха (%)													
Пятигорск	83	83	82	71	70	69	66	67	73	79	84	85	76
Нальчик	86	85	83	73	72	70	68	70	76	81	85	85	78
Ставрополь	82	82	79	66	64	60	59	58	65	74	81	83	71
Скорость ветра, м/с													

Метеостанция	Климатические показатели												Средне- годовое
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Пятигорск	3,2	3,7	3,9	3,9	3,5	3,1	3,0	2,9	2,9	3,1	3,3	3,0	3,3
Нальчик	1,6	1,8	2,0	2,2	2,2	2,3	2,1	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	1,9
Ставрополь	4,0	4,5	5,0	4,9	4,2	3,6	3,3	3,2	3,3	3,8	4,4	3,9	4,0
Количество осадков (мм)													
Пятигорск	18	19	28	47	72	84	76	57	51	38	27	22	539
Нальчик	21	23	35	57	103	105	77	63	56	44	31	25	641
Ставрополь	35	30	37	53	74	93	79	56	56	46	47	47	653
Количество общей (о) и нижней (н) облачности (баллы)													
Пятигорск													
о	7,7	8,0	8,0	7,1	6,8	5,9	5,3	5,1	5,6	6,5	7,7	7,9	6,8
н	5,7	6,0	6,3	4,8	4,4	4,0	4,0	3,9	4,5	5,2	6,3	6,2	5,1

Метеостанция	Климатические показатели												Средне- годовое
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Количество общей (о) и нижней (н) облачности (баллы)													
Нальчик													
о	7,6	8,0	8,0	7,2	7,0	6,1	5,7	5,4	5,9	6,5	7,6	7,9	6,9
н	6,0	6,2	6,4	5,1	4,7	4,3	4,0	4,0	4,7	5,1	6,2	6,5	5,3
Ставрополь													
о	7,3	7,5	7,4	6,3	6,1	5,1	4,2	3,9	4,5	5,7	7,3	7,6	6,1
н	5,1	5,0	5,1	3,6	3,0	2,8	2,5	2,3	2,9	4,1	5,3	5,8	4,0

Грозы на Северном Кавказе наблюдаются когда:

- перенос воздушных масс с северо-запада на юго-восток;
- северное вторжение циклона;
- малоградиентное барическое поле в средней атмосфере (иной раз над центральной частью Кавказа располагается ложбина или очаг холода).

Таблица 2. Число дней и продолжительность гроз на Северном Кавказе.

Характеристики грозы	Значения по месяцам и декадам											
	Май			Июнь			Июль			Август		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Число дней с грозой	1	3	4	4	3	4	5	4	3	-	2	1
Продолжительность гроз, ч.	2.5	3.3	3.4	3.4	4.8	3.5	4	2.2	2	2.5	1.7	1.2

По результатам многолетних наблюдений (таблица 2) самая большая повторяемость гроз приходи на первую декаду июля 5, а максимальная продолжительность на вторую декаду июля и составляет 4,8 часа. Среднее число дней с грозой для Северного Кавказа составляет 41 день.[4]

Как было сказано выше географическое расположение, сложная орография, а также термобарическое поле средней тропосферы и перемещения воздушных масс в приземном слое все это влияет на высокую грозовую активность Северного Кавказа.

2. Гроза и молния.

2.1 Гроза как опасное явления.

Гроза – это опасное, метеорологическое, природное явление, возникающее в кучево-дождевых облаках вертикального развития (Cumulonimbus, Cb), несущая за собой выпадение ливневых осадков, временами града и шквального усиления ветра и разрядов молний. Гроза представляет собой распределённое явление, при котором внутри облаков или

между облаком и земной поверхностью возникают электрические разряды — молнии, сопровождающимся звуковым эффектом называемым громом.

Наиболее опасны при грозах – электрические разряды, которые могут привести к гибели людей. Например, при поражении самолета молниями не редко выходят из строя средства связи и навигации, электросиловое оборудование, а могут даже разрушиться металлические конструкции самолета.

Необходимыми условиями, ведущие к образованию грозы, является:

- наличие условий для развития конвекции в которых наблюдается вертикальное движение воздуха создающего восходящие потоки запаса влаги;
- интенсивные зоны турбулентности и формирование крупных ледяных кристаллов.

Конвекция, приводящая к развитию гроз, возникает в следующих случаях:

1. При неравномерном нагревании приземного слоя воздуха над различной подстилающей поверхностью;
2. При подъёме или вытеснении тёплого воздуха холодным на атмосферных фронтах. Атмосферная конвекция в отличии от внутренней на атмосферных фронтах отличается значительной интенсивностью и встречается чаще. Также встречается фронтальная конвекция, которая развивается одновременно со слоисто-дождевой облачностью и обложными осадками и маскирует образующуюся кучево-дождевую облачность;
3. При подъёме воздуха в районе горных массивов. Высокие горы даже небольшие возвышенности формируют особо сложные условия для развития конвекции и почти всегда увеличивают её повторяемость и интенсивность за счет вынужденной конвекции.

Грозовое облако образуется, когда влажный прогретый воздух поднимается, конденсируется формируя кучево-дождевое облако и охлаждается. Наличие структуры кучево-дождевого облака, в которой часть облачных частиц находится в жидком состоянии, а часть — в ледяном

достаточного для образования ливневых осадков. Высота таких облаков может достигать 20 километров.

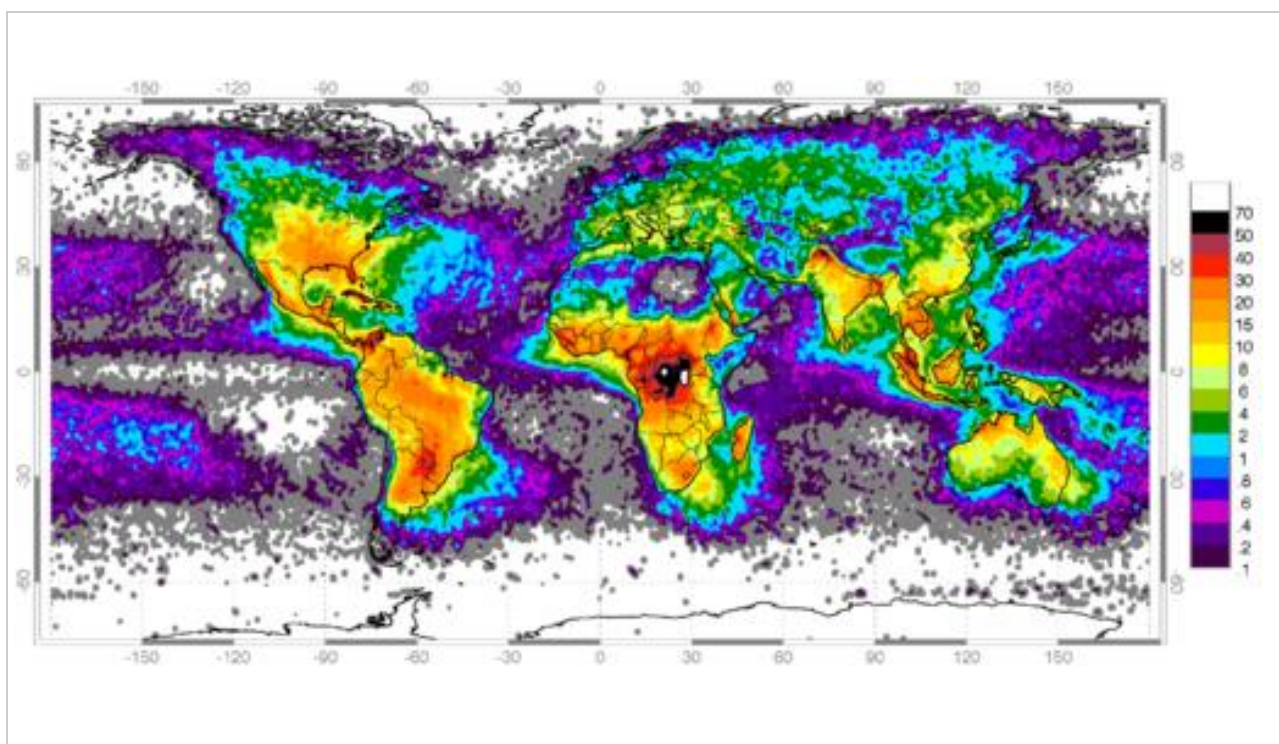


Рисунок 2.1 - Распределение грозовых разрядов по поверхности Земли [5].

Одновременно на Земле действует около двух тысяч гроз, средняя интенсивность разрядов оценивается как 44 молний в секунду. По поверхности планеты грозы распределяются неравномерно. Над океаном гроз наблюдается приблизительно в десять раз меньше, чем над континентами

В тропической и экваториальной зоне (от 30° северной широты до 30° южной широты) сосредоточено около 78 % всех молниевых разрядов. Самая большая грозовая активности встречается в Центральной Африке. Над океанами из-за отсутствия мощного прогрева подстилающей поверхности грозы встречаются гораздо меньше, а в районах Арктики и Антарктики и над полюсами гроз практически не бывает (рисунок 2.1). Максимальное количество зарегистрированных гроз встречаются летом (в средних широтах) и дневные послеполуденные часы, и самая малость встречается перед восходом солнца.

2.2 Эволюция грозовых облаков.

Развитие грозовых облаков начинается с благоприятных условий формирования кучевых облаков хорошей погоды (*Cumulus humilis*, *Cu hum.*), где кучевые облака начинают стремительно расти как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Восходящие потоки располагаются практически по всему объёму облака и усиливаются от 5 м/с до 15-20 м/с, а нисходящие потоки незначительны. Окружающий воздух активно пробирается внутрь облака за счёт интенсивных зон турбулентности на вершине облака и его границе, тем самым способствует переходу в среднюю стадию кучевых облаков (*Cumulus mediocris*, *Cu med.*). В результате конденсации образуются маленькие водяные капли, которые при сливании друг с другом становятся более крупными и переносятся вверх с помощью интенсивных восходящих потоков воздуха. При попадании частиц воды в область отрицательной температуры на верхней границе облака, капли формируются в ледяные кристаллы и создаются условия для перехода в стадию мощного кучевого облака. В дальнейшем при увеличении облачных элементов появляются условия для выпадения осадков и образования грозовой активности, и уже такое облако называют кучево-дождевым (*Cb*, *Cumulonimbus*). Вертикальные потоки в таком облаке достигают 25-35 м/с, а верхняя часть облака может достигать 20 км. При испарении частиц осадков, которые охлаждают окружающий воздух приводят к увеличению нисходящих потоков, тем самым способствуя распаду грозового облака [6, 7].

Все грозовые облака, независимо от их разновидности, последовательно проходят 3 стадии жизни облачности (рисунок 2.2).

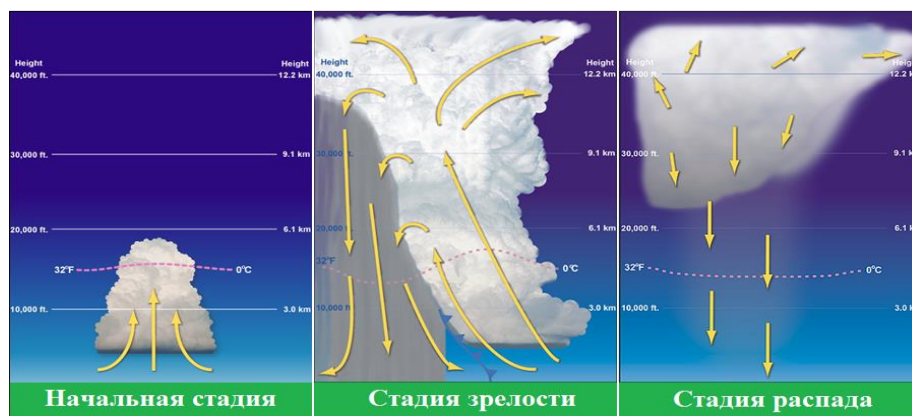


Рисунок 2.2 - Стадии развития грозового облака [8]

Первая: начальная стадия. На этом этапе происходит формирование облака (теплый воздух поднимающийся вверх ➔ конденсация), которое может достичь высоты 7-9 километров, а также могут образоваться частицы осадков. Продолжительность данной стадии составляет 10-20 минут.

Вторая: стадия зрелости. На этом этапе высота облака достигает максимальных значений. В облаке кроме восходящих потоков появляются нисходящие потоки воздуха, а температура в облаке может становиться ниже температуры окружающей среды. Также происходят процессы выпадения ливневых осадков. Продолжительность этой стадии составляет 30-40 минут.

Третья: стадия распада. Заключительная стадия, где происходит разрушение нижней части облака, из-за мощных нисходящих потоков воздуха и лишения притока тепла и влаги. Этот процесс происходит медленно, а при распаде грозового облака могут образоваться облака среднего и верхнего яруса.

2.3 Классификация грозовых облаков.

Одно время грозы классифицировались в соответствии с тем, где они наблюдались (локальные, фронтальные или орографические). На сегодняшний день грозы принято классифицировать в соответствии с их характеристиками, которые зависят от метеорологического окружения, где развивается гроза. Главным условием для образования грозовых облаков является состояние неустойчивости атмосферы, которое отвечает за

формирование восходящих потоков. В зависимости от величины и силы таких потоков формируются грозовые облака различных типов, а именно: одноячейковые, многоячейковые и суперячейковые грозы.

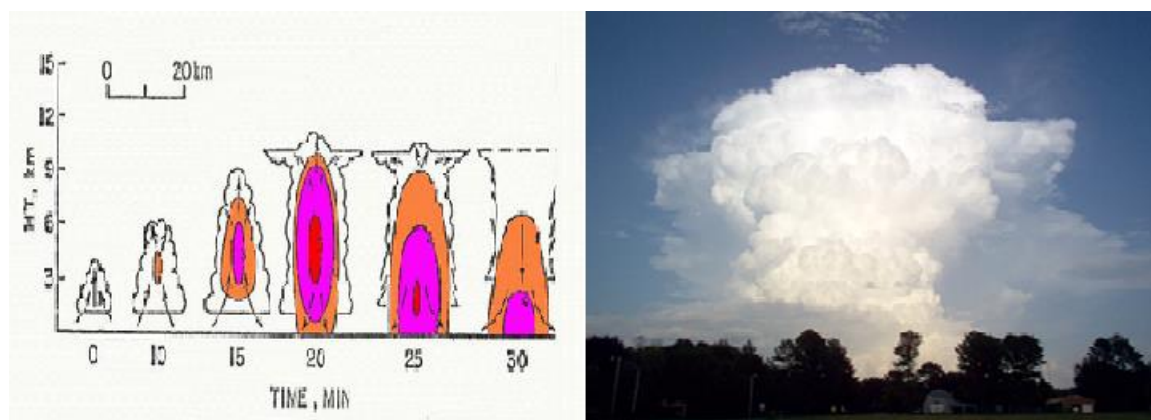


Рисунок 2.3 Цикл жизни и фотография одноячейкового облака.

Одноячейковое облако Сb (рисунок 2.3) развивается при слабом ветре у поверхности земли в малоградиентном барическом поле, состоит из одной конвективной ячейки с восходящим потоком в центральной части и имеют симметричную форму. Средняя продолжительность жизни примерно 30 минут, но иногда может длиться около часа. Размеры такого облака составляют: поперечный 5-20 километров, а вертикальный 8-25 километров. Такие одноячейковые облака если достигают грозовой фазы начинают быстро разрушаться за счет нисходящих потоков порождённых выпадением осадков.

Многоячейковые облака бывают двух видов: кластерные и линейные. Причиной их образования является крупномасштабная конвергенция в зоне ложбин и атмосферных фронтов (преимущественно на основных и вторичных холодных фронтах). Многоячейковое кучево-дождевое облако намного более мощное, чем одноячейковое. Общая продолжительность существования достигает нескольких часов, средняя приблизительно около полутора часа. Данный тип обычно более интенсивен, чем одноячейковая облачность, но на много слабее суперячейковой грозы.

Многоячейковые кластерные Сb (рисунок 2.4) имеют сформированную кластерную структуру (несколько ячеек) движущихся вместе как единое

целое. Признаком энергичности грозových ячеек является частота молниевых разрядов в облаке. Размер ячеек у данного типа составляет: горизонтальный от 10 до 1000 километров, а вертикальный 14-16 километров. Грозových ячейки, находящиеся в стадии зрелости (продолжительность жизни около 20 минут), обычно находятся в центральной части кластера, а распадающиеся ячейки с подветренной стороны кластера. Такой вид многоячейковая кластерная гроза может существовать в течение нескольких часов и сопровождаться градом, сильными порывами ветра и интенсивными осадками. Также это форма гроз наиболее распространённая [10,11,12].

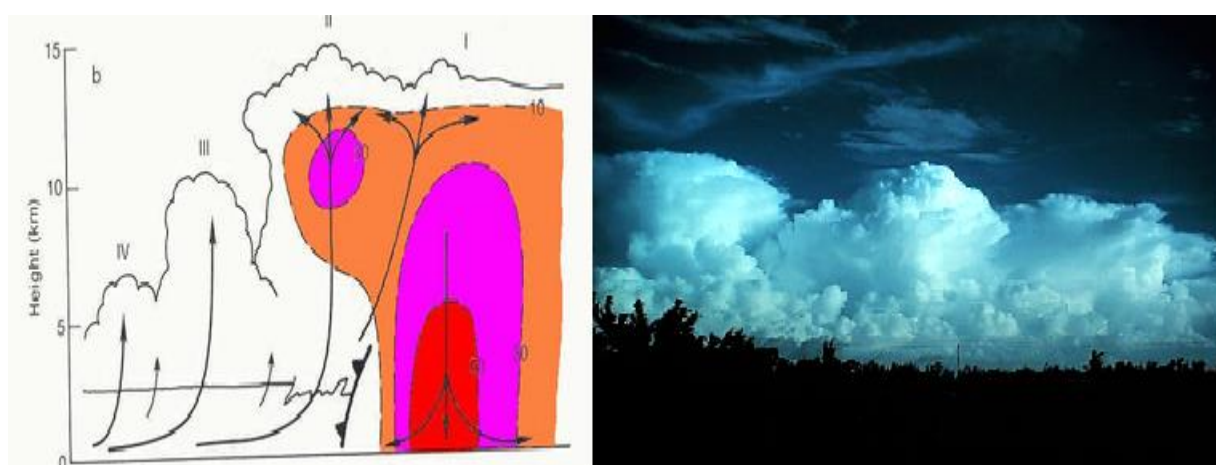


Рисунок 2.4. Слева схема многоячейковой грозовой структуры. Справа фотография кластерной облачности [9].

Многоячейковые линейные облака (линия шквалов). Является группа грозových ячеек, ранжированных в дугообразную линию, и имеют отличительную черту, а именно - наличие шквалового ворота (рисунок 2.5), который как правило формируется вдоль переднего края линии грозовой системы. [10,11,12].



Рисунок 2.5. Шкваловый вент многоячейковой облачности [9].

Суперячейковые кучево-дождевые облака наиболее мощные и долгоживущие (рисунок 2.6). С ними связаны наиболее интенсивные грозы и катастрофические градобития. Развиваются на холодных фронтах и холодных фронтах окклюзии при сильной неустойчивости атмосферы и больших сдвигах ветра по скорости и незначительном изменении направления с высотой (вызывая вращение). Сперячейковое облако встречается редко, но представляет самую большую угрозу населению. Состоит из одной квазистационарной ячейки, диаметром до 10-15 километров, а высота составляет 12-16 километров и может присутствовать за 20–60 минут до образования торнадо. На правом фланге такой ячейки (по потоку) располагается зона мощного восходящего потока, в которой скорости могут достигать 50 метров в секунду, а в тыловой части в зоне интенсивных осадков формируется нисходящий поток со скоростями 20 метров в секунду и более. Эти две зоны разделяет резко выраженная линия шквалов (холодный мезофронт) который может обнаруживаться доплеровским радаром. После прохождения такого фронта давление и влажность воздуха растет, а температура резко падает. Такие облака могут достигать высоты в 20-22 км. [10,11,12].

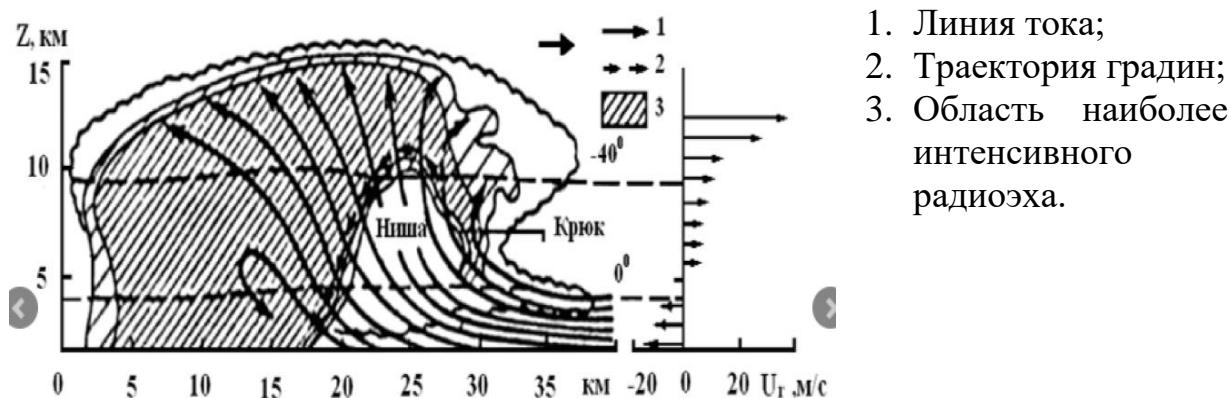


Рисунок 2.6. Вертикальный разрез через мощное суперчейковое облако в направлении перемещения Сб [12].

2.4 Электричество конвективных облаков.

Электризация грозовых облаков на сегодняшний день еще изучается. Было проведено множество лабораторных экспериментов и исследований, а также существует много теорий на счет электризации капель воды и кристаллов льда в грозовых облаках, и исходя из этого стоит отметить, что этот процесс довольно сложный [13].

Важнейшую роль электризации облака играют процессы, которые можно наблюдать в атмосфере, а именно это заряды (положительные и отрицательные ионы) и поля. Ионный механизмы электризации конвективных облаков предполагают селективный захват ионов отрицательного знака капельками воды. Этот захват объясняется их «родством».

В грозовом облаке могут действовать несколько механизмов электризации (рисунок 2.7) которое зависит от стадии развития облака и агрегатного состояния воды [13,14,15].



Рисунок 2.7. Схема механизмов электризации в конвективных облаках.

Неиндуктивный механизм электризации. Получил свое название так как ему не требуется наличие внешнего электрического поля для зарядения частиц. Таким образом электризация конвективной облачности начинается только при появлении в облаке мелких или крупных частиц (у которых скорость равна некоторому пороговому значению). Гипотеза о такой электризации предполагает, что разделение зарядов при столкновении частиц происходит из-за разности их электро-химико-физических потенциалов поверхностей и обеспечивается разделение зарядов на микроуровни в пространстве.

Индуктивный механизм электризации бывает можно разделить на два вида: механизм гидрометеоров и контактный.

1) Индуктивная электризация гидрометеоров. После контакта частиц разделение заряда может происходить под индукционным воздействием внешнего электрического поля, но в сильном электрическом поле механический контакт может и не понадобиться. Обмен зарядами обеспечивается коронными или искровыми разрядами между поляризованными частицами. Данный механизм работает между

находящимися в облаке ионами (ледяными или жидкими гидрометеорами) в присутствии электрического поля. Частицы забирают ионы с противоположным зарядом и отталкивают ионы с такой же полярностью. Следовательно, если в облаке электрическое поле направлено вниз, то отрицательные ионы захватываются гидрометеорами, которые становятся отрицательно заряженными. Результативность этого механизма связана безусловной скоростью частиц и ионов.

2) Индуктивный контактный механизм электризации. В данном механизме частицы и облачные капли в присутствии электрического поля сталкиваются и отталкиваются друг от друга с разными знаками, при этом имея разные вертикальные скорости. Положительным знаком частица движется вверх, а отрицательная - вниз. Этот механизм может увеличить основной отрицательный заряд облака за счет селективного заряда ионов.

Электризация при фазовых переходах. Этот процесс довольно сложный. Кристаллизация начинается на поверхности переохлажденной капли с последующим перемещением во внутрь капли, при этом капля расширяется, поверхностный слой трескается и ломается, затем положительно заряженные осколки поднимаются в верхнюю часть облака за счет воздушного потока воздуха. В твердых и жидких фазах воды происходит расщепление (диссоциация) молекул воды на положительные и отрицательные ионы ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+$ и OH^-). В твердой фазе концентрация ионов меньше, чем в жидкой так как через фронт кристаллизации положительные ионы ведут себя более подвижнее и быстрее проникают в твердую фазу создавая во льду избыточный положительный заряд.

Механизм конвекции или захват ионов каплями. Источниками зарядов в этом механизме является естественная радиоактивность у поверхности земли которая несёт положительный заряд теплым восходящим потоком к вершине облачности и космические лучи находящиеся рядом с верхней границей облаков неся отрицательный заряд который притягивается и принимает участие в конвективном процессе развития облачности. Этот механизм играет

главную роль на ранней стадии развития облака, то есть, когда ледяные частицы еще не успевают образоваться так как облако еще не достигло область замерзания.

В простом грозовом облаке беспорядочно дующий ветер, вода и лёд находятся в гравитационном поле и в поле температурного градиента. Из-за взаимодействия этих элементов по еще не до конца изученным полностью причинам возникают заряженные области грозового облака. Как уже было сказано верхняя часть заряжена положительно, а нижняя отрицательно, но в редких случаях наблюдается отрицательно поляризованные облака, то есть в верхней части избыточный отрицательный заряд, а в центральной части положительный.

Таким образом грозовое облако по структуре основного заряда представляет собой электрический диполь (рисунок 2.8). Заряженные области диполя имеют диаметр порядка километра или нескольких километров, а средние значения положительных и отрицательных зарядов примерно одинаковое (в средних широтах 25Кл), а также образуются небольшие области положительного заряда в основании облака.

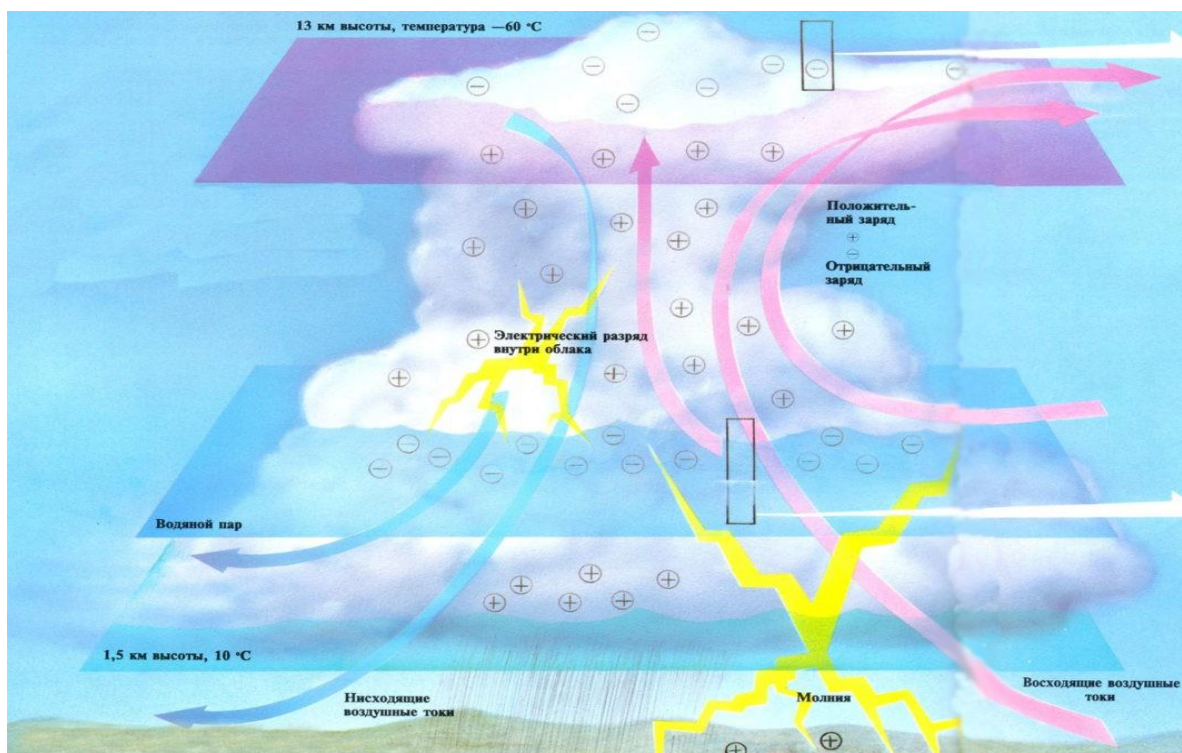


Рисунок 2.8 Схема вероятного распределения грозовых зарядов.

Подводя итог можно сделать вывод, что контактные механизмы электризации играют очень важную роль в формировании распределения зарядов в конвективной облачности (приблизительно от кучевого плоского до мощного кучевого облака). Процессы такого облака достаточно хорошо описаны математически и могут моделироваться.

2.5 Молния.

Молния это яркая, интенсивная, световая вспышка в напряженном электрическом поле атмосферы. Разряд молнии во время грозы сходен с электрическим взрывом сопровождаемым звуковыми и световыми эффектами, резким усилением ветра, выпадением сильных ливневых осадков. Молния напрямую связана с электричеством и поэтому может характеризоваться силой тока (10-100 тыс. ампер) и разностью потенциалов, которое стремится к миллиарду вольт.

Молния может приобретать разные оттенки цвета, которые зависят от состава атмосферы. Голубой и фиолетовый оттенок приобретает из-за температуры молниевых каналов, который разогревается в пять раз сильнее солнца. Приобретение белого и желтого оттенка зависит от расстояния в чистой атмосфере. Если в составе атмосферы много пыли, то молния приобретает оранжевый цвет, а капельки воды дают красный окрас молнии.

Несмотря на то, что молния — это опасное природное явление, её электрические разряды очищают воздух от разных загрязнений и способствуют накоплению больших объёмов азота, который обогащает природные растения.

Молния развивается по направлению вектора напряженности электрического поля и имеет стримерные процессы и ступенчатый лидер. Стреловидный лидер нисходящей отрицательной молнии, заполняет молниевый канал (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 Схема развития молнии [16].

Лидерная, главная и финальная стадии создадут первую компоненту нисходящей отрицательной молнии. Любая последующая компонента состоит из лидерной стадии, которая заряжает канал молнии и главной стадии – разряжающей, но возможна и финальная стадия [14].

2.6 Виды молний.

1. **Горизонтальная молния** (рисунок 2.10). Мощная молния, не доносящаяся до земли, вспышки исходят в разные стороны.



Рисунок 2.10 Фотография горизонтальной молнии.

2. **Шаровая молния** (рисунок 2.11). Возникает под облаками, а как именно образуется неизвестно. О природе шаровой молнии высказаны лишь гипотезы. По гипотезе Я. И. Френкеля, шаровая молния – это шарообразный вихрь смеси частиц пыли и дыма с химическими активными газами. Химическая реакция, идущая как цепной процесс с огромной скоростью.



Рисунок 2.11 Шаровая молния.

3. **Линейная молния** (рисунок 2.12). Молния в виде ярких светящихся прямых или зигзагообразных линий с многочисленными разветвлениями или без. Считается самой распространенной и более изученной.



Рисунок 2.12 Фотография линейной молнии.

Стоит также отметить необычные виды молний, которые возникли в верхних слоях атмосферы (рисунок 2.13). Они были открыты учеными в двадцатом веке.

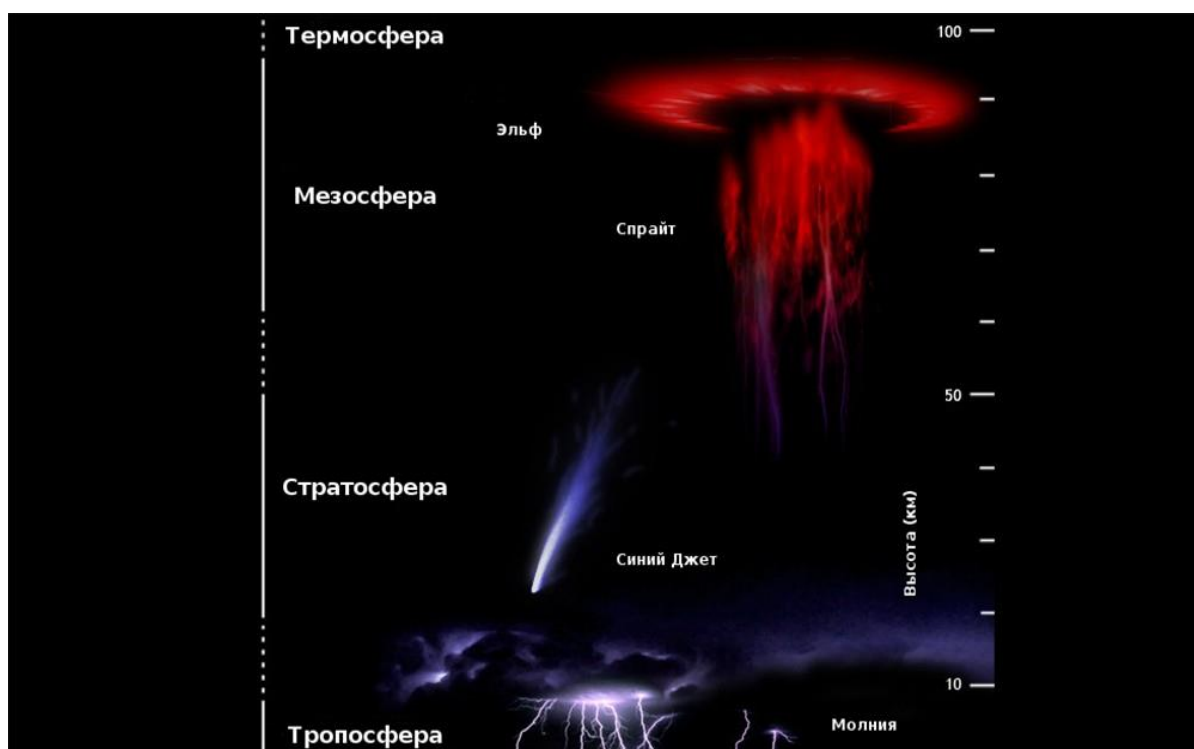


Рисунок 2.13 Необычные виды молний.

2.7 Линейная молния.

Линейная молния появляется и развивается по принципу, описанному ранее. Различают нисходящую и восходящую линейную молнию. Отличие восходящей молнии в том, что она не имеет возвратного удара во время первой компоненты (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 Распространение линейной молнии.

Линейная молния имеет несколько типов, определяемых тем, что находится на "концах" каналов молний, а именно:

- внутриоблачная молния - происходит между частями одного и того же облака;

- облако-облако - разряд, который возникает среди облаков. Вспышки образуются в результате пробоя между противоположно заряженными областями соседних облаков;

- облако-земля - разряд происходит между грозовым облаком и земной поверхностью;

- облако-воздух [18].

Линейная молния (облако-земля) проходит через три основных этапа развития: лидерную, главную и финальную [14].

Лидерная стадия. Искровой разряд начинается с объединения нескольких стримеров (отдельных разрядов). Стримерные процессы обеспечивают необходимую плотность энергии для термоионизации воздуха. При достижении пробойных значений напряженности от облака к поверхности земли развивается поток электронов, вызывающий ударную ионизацию воздуха (лидером). В результате ионизации нейтральный воздух превращается в плазму имея высокую проводимость при температуре 5000-6000 К [19].

Главная стадия. Начинается с момента контакта лидера с земной поверхностью или заземленным объектом. От вершины объекта может образоваться и передвигаться навстречу лидеру молнии собственный лидерный канал (встречным лидером). После контакта заряд лидера передаётся в землю. При этом возникает обратная волна тока и напряжения при этом движение сопровождается усилением яркости свечения канала, особенно на фронте волны. Сила тока в среднем равна 30 кА, а в наиболее сильных молниях может достичь 200-250 кА и может сопровождаться гром. Длительность главной стадии может составлять сотни микросекунды [19].

Финальная стадия. В финальной стадии продолжается перенос заряда к земле по каналу молнии. Скорость перемещения зарядов снижается, но сила тока и напряжение остаются высокими [14].

3. Средства и методы контроля грозовых облаков Северного Кавказа.

Радиолокация — это так называемое поле радиоэлектроники, в котором отражение или излучение электромагнитных волн объектами используется для отслеживания и измерения координат движения. Концентрация и большое распределение частиц на единицу объема и их сложный показатель преломления в волновых диапазонах определяют коэффициент отражения радара, характеризующий рассеивающие свойства облаков и осадков в радиоволнах [22].

К видам излучения, испускаемого радиолокационной информацией, относятся: вторичное излучение, обратное излучение и собственное излучение радиоволн. В первом и втором случаях радар посылает сильно звучащий сигнал в направлении цели. в последнем случае целевое облучение не требуется.

Радиолокатор со вторичным излучением и обратным излучением, то есть излучение цели с электромагнитной энергией, излучаемой антенной радиолокационной станции, и прием энергии, отображаемой целью, называется активным, а радар с собственным излучением электромагнитной энергии, излучаемой целью, называется пассивным.

Основной принцип радиолокатора — это электромагнитная энергия в виде кратковременных сверхмощных импульсов последовательно через равные промежутки времени подается антенной высокой направленности, концентрирующей излучение в узком луче, когда импульс попадает в соответствующую цель на своем пути часть ее энергии отводится в сторону приемника, который обычно находится рядом с передатчиком и работает с той же антенной. Принимаемый сигнал (радиоэхо), очень слабый по сравнению с посылаемым импульсом после значительного усиления и обнаружения,

поступает в катодную лучевую трубку, которая одновременно является показателем амплитуды отраженного сигнала и положения источника радиоэхо.

Для повышения качества распознавания Гроз, были предложены целый ряд технических решений, на использовании современного оборудования радиосвязи применением радарных технологий, совершенствованием Датчиков, использование зондов, пороговых устройств и т. д. основаны., а также с использованием зависимость того или иного параметра электромагнитного поля от расстояния.

Для оценки грозовой активности определенного диапазона часто использовались амплитудные пороговые устройства - грозопеленгаторы. Они регистрируют импульсы электромагнитного молниеносного излучения, амплитуда которого превышает определенный уровень.

Наблюдения на Северном Кавказе проводятся с помощью автоматизированной системы метеорологического радиолокационного комплекса АМРК «АСУ-МРЛ» и грозопеленгационной сети LS-8000 в реальном времени. По данным сети датчиков LS-8000 получают синтезированные карты, на которой отображаются пеленги грозовых разрядов на фоне радиолокационной структуры облаков (рисунок 3.1).

Наблюдения на Северном Кавказе проводятся с помощью автоматизированной системы метеорологического радиолокационного комплекса АМРК «АСУ-МРЛ» и грозопеленгационной сети LS-8000 в реальном времени. По данным сети датчиков LS-8000 получают синтезированные карты, на которой отображаются пеленги грозовых разрядов на фоне радиолокационной структуры облаков (рисунок 3.1).

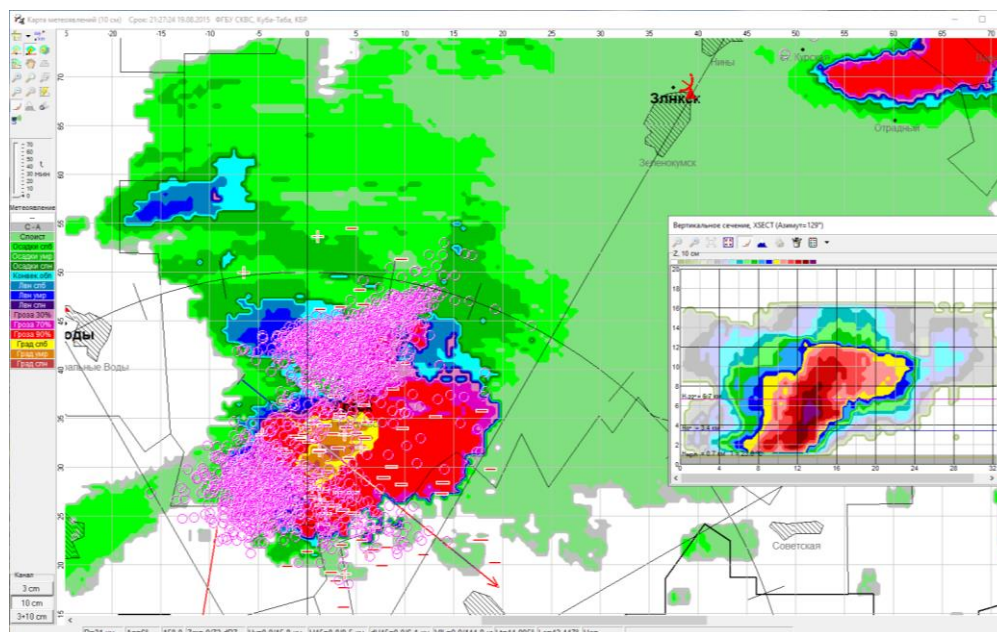


Рисунок 3.1 Пример синтезированной карты метеорологических явлений, полученной на АМРК «АСУ-МРЛ» в 21²³ 15.09.2015. Кружочками показаны внутриоблачные высокочастотные VHF разряды, заками + и – низкочастотные LF разряды облако-земля положительной и отрицательной полярности.

3.1 Метеорологический радиолокатор МРЛ-5.

Для зондирования атмосферы достаточно широко используются метеорологические радиолокаторы, например, МРЛ-5.

МРЛ-5 является двухволновым высокопотенциальным метеорологическим импульсным радиолокатором.

Основными частями метеорологического радиолокатора МРЛ (рисунок 3.2) являются антенная система, которая включает в себя облучатель и металлическое зеркало-отражатель, передатчик, приемник, антенный переключатель, индикаторы, синхронизатор, волноводно-фидерный тракт, блоки управления антенной и энергетического питания.

Передатчик импульсной МРЛ генерирует мощные электромагнитные СВЧ колебания в виде периодически повторяющихся зондирующих импульсов, которые с помощью антенной системы излучаются в сторону метеорологического объекта. Во время пауз между зондирующими импульсами, отраженные от метеорологического объекта информационные

сигналы принимаются той же антенной системой и по волноводному тракту поступают на вход приемника, где усиливаются и подаются на индикаторы РЛС для определения координат и физических характеристик метеорологических объектов.

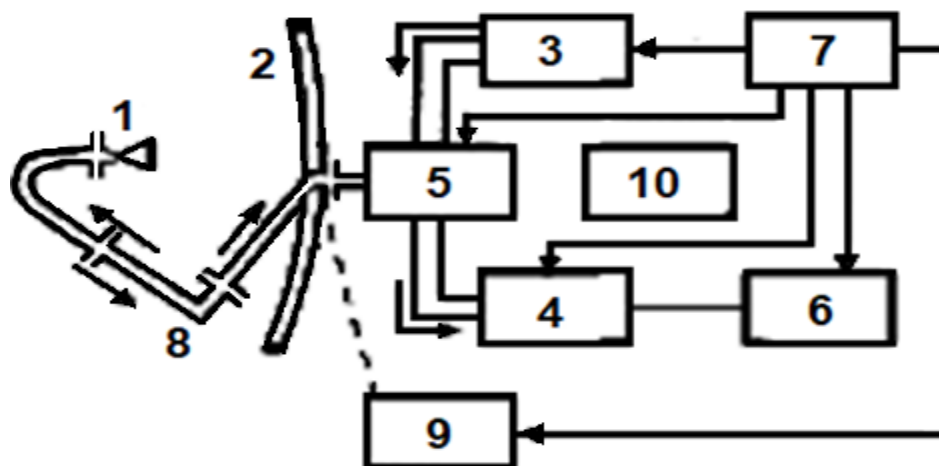


Рисунок 3.2 Функциональная схема МРЛ

1 – облучатель; 2 – металлическое зеркало-отражатель; 3 – передатчик; 4 – приёмник; 5 – антенный переключатель; 6 – индикаторы; 7 – синхронизатор; 8 – волноводно-фидерный тракт; 9 – блок управления антенной; 10 – блок энергетического питания.

Волноводно-фидерный тракт служит для передачи высокочастотных импульсов от передатчика к антенне и от антенны к приемнику. Антенный переключатель обеспечивает попеременное подключение антенны к передатчику и приемнику, что позволяет использовать для передачи и приема одну антенну. Во время работы передатчика переключатель через волноводно-фидерный тракт замыкает передатчик на антенную систему и отключает вход приемника, защищая приемник от мощного импульса передатчика, а в период между двумя зондирующими импульсами антенный переключатель закрывает вход передатчика, чтобы всю энергию информационного сигнала (радиоэха) направить в приемник.

В метеорологических РЛС для наглядного представления метеорологической обстановки могут применяться индикаторы кругового

обзора (ИКО), вертикального обзора (дальность-высота (ИДВ) и амплитудные индикаторы (ИА)).

На индикаторе кругового обзора пространственное положение метеорологического объекта определяется в полярных координатах: наклонная дальность и азимут. В ИКО применяется радиально-круговая развертка, периодически перемещающая луч радиально от центра к периферии экрана и обратно, одновременно (синхронно) с вращением антенны по азимуту. В результате этого на экране ИКО можно наблюдать конфигурацию, взаимное положение и размеры метеорологических объектов.

В индикаторе ИДВ развертка электронного луча производится синхронно с поворотом антенны по углу места, что позволяет получать изображение вертикальных разрезов наблюдаемого метеорологического объекта.

Работа передатчика, приемника и индикаторов МРЛ синхронизируется запускающими или тактовыми импульсами, вырабатываемыми блоком синхронизатора.

Основные технические характеристики радиолокатора МРЛ-5 представлены в таблице 3.

Таблица 3. Основные технические характеристики МРЛ-5

Параметр	Единица измерения	1-й канал	2-й канал
Несущая частота	мГц	9595 ± 15	2950 ± 15
Длина волны	см	3.14	10.15
Длительность импульса	мкс	1; 2	1; 2
Частота следования зондирующих импульсов	Гц	500; 250	500; 250
Скорость вращения антенны по азимуту	число об/мин	от 0 до 6	от 0 до 6
Скорость вращения антенны по углу места	число об/мин	от 0 до 2	от 0 до 2

Параметр	Единица измерения	1-й канал	2-й канал
Масштаб дальности ИКО	км	25; 50; 100; 300	25; 50; 100; 300
Масштаб дальности ИДВ	км	6,25/12,5; 12,5/25; 25/50; 50/100	6,25/12,5; 12,5/25; 25/50; 50/100

Для обеспечения работы станции используется система электроснабжения, которая предусматривает питание аппаратуры либо от промышленной трехфазной сети, либо от специальной автономной сети [23].

Специальные возможности МРЛ-5:

а) антенная система с параболическим отражателем и двухдиапазонным облучателем формирует узкие диаграммы направленности; применение такой антенны обеспечивает высокую разрешающую способность по угловым координатам и необходимую точность измерения вертикальных и горизонтальных параметров радиоэха;

б) приемные устройства 1-го и 2-го каналов обладают высокой чувствительностью и широким динамическим диапазоном входных сигналов;

в) совмещенные индикаторы ИКО/ИДВ (основной и для фоторегистрации) с широким набором масштабов разверток обеспечивают измерения, наблюдения и фоторегистрацию радиоэха в горизонтальной и вертикальной плоскостях; индикатор типа А позволяет наблюдать радиоэхо метеорологических объектов в координатах амплитуда–дальность;

г) аппаратура преобразования угловой информации обеспечивает выдачу азимута метеорологических целей в географических и артиллерийских координатах с высокой точностью ($0,1^\circ$), вычисление высоты и географической дальности;

д) устройство автоматического выделения градовых очагов.

С помощью МРЛ-5 решаются следующие задачи:

– обнаружение и определение местоположение очагов гроз, града и

ливневых осадков в радиусе 300 км;

- определение горизонтальной и вертикальной протяженности метеорологических образований, направления и скорости их смещения;
- измерения мощности радиоэха метеорологических целей.

МРЛ сантиметрового диапазона обычно не фиксируют грозовые разряды, вероятность обнаружения радиосигнала от молний мала из-за кратковременного их существования и узкой направленностью диаграммы антенны [22].

3.2 Грозопеленгационная сеть LS8000

Эта система была установлена в 2008 году на северном Кавказе, изначально состояла из четырёх грозопеленгаторов, через четыре года было добавлено ещё четыре грозопеленгатора, установленных в Ростовской области.

Грозопеленгационная сеть LS8000 (рисунок 3.3) предназначен для автоматического обнаружения и регистрации координат грозовых разрядов, фиксирует радиоизлучение от электрических разрядов в двух частотных диапазонах – VHF (Very High Frequency range, 110–118 МГц) и LF (Low Frequency range, 30–350 кГц), а также позволяет фиксировать полярность электрических разрядов (молний) при измерениях в низкочастотном канале – LF+ и LF-.

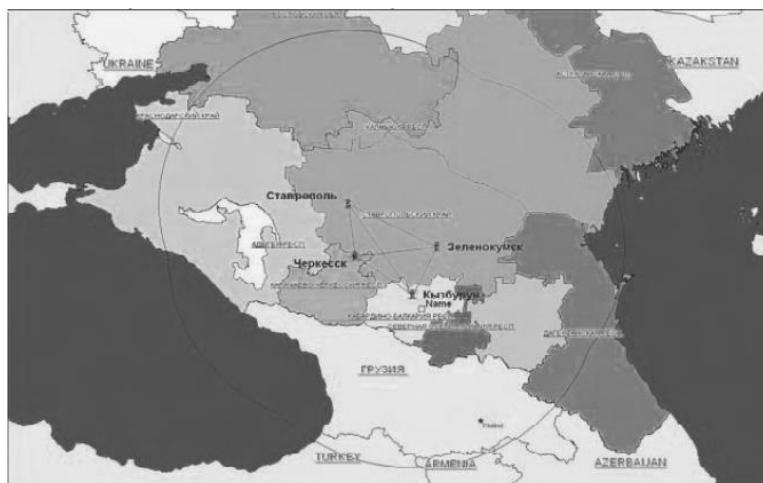


Рисунок 3.3 Схема грозопеленгационная сеть LS8000. Чертой показана граница уверенного приёма, различными цветами разделены республики Северного Кавказа.[21]

Грозорегистратор LS8000 регистрирует мощное электромагнитное излучение (ЭМИ), генерируемое молниевыми разрядами и распространяющееся между Землей и ионосферой, при достижении излучения пункта наблюдения. При приёме импульсов ЭМИ обеспечивается измерение их временных и энергетических характеристик, а также анализ формы. На основании измерений параметров принятых сигналов вычисляются географические координаты молниевых разряда и его энергетические характеристики.

В состав комплекса LS8000 входят: блок антенн и приёмников; блок обработки сигналов на базе мощных компьютеров; приемник GPS (Global Positioning System) с антенной; функциональное программное обеспечение; комплект кабелей; монтажный комплект; комплект эксплуатационной документации.

Приемниками являются два сенсора – низкочастотный диапазон (LF) и высокочастотный (VHF). LF-датчик регистрирует разряды облако-земля, VHF-датчик – все молниевые разряды. На центральном пункте сбора и обработки информации и на каждой из мачт с сенсорами находятся антенны GPS, которые получают точное время со спутников GPS. Это позволяет синхронизировать все временные измерения, производимые сенсорами, и

временем на центральном пункте. Каждый датчик при молниевом разряде определяет азимут разряда, время прихода сигнала на датчик и силу сигнала. Такие данные с каждого сенсора передаются на центральный процессор (СР). По этим данным СР определяет местоположение каждого разряда, используя данные с максимально возможного числа сенсоров.

Определение пиковых значений токов молнии осуществляется по специальной программе, используя значение амплитуды регистрируемого сигнала.

Система LS8000 предназначена для получения следующей информации о разрядах молнии:

- дата и время разряда с точностью 100 наносекунд;
- широта и долгота места разряда;
- сила и полярность сигнала (тока) в канале разряда, в килоамперах;
- классификация разрядов: разряд «облако–земля» или внутриоблачный разряд;
- классификация разрядов: положительные и отрицательные;
- время поднятия сигнала до пикового значения, в микросекундах;
- время спада сигнала от пикового значения до нуля, в микросекундах;
- максимальное значение скорости увеличения сигнала (крутизна тока молнии), в килоамперах на микросекунду.

В комплексе также предусмотрено решение следующих задач: документирование, архивирование и статистическая обработка полученной информации.

Радиус зоны ответственности комплекса более 1000 км. Относительная погрешность определения дальности не более 10%, пеленга не более 30 мин (значения параметров приведены для равнинной местности и могут уточняться с учетом рельефа); оперативность менее 1 с [24].

Таблица 4. Координаты грозопеленгаторов LS8000 ФГБУ «ВГИ»

Координаты грозопеленгаторов LS8000 ФГБУ ВГИ»			
	Широта	Долгота	Высота, м
Черкесск	44,2874°	42,2404°	901
Зеленокумск	44,4337°	43,9036°	172
Ставрополь	45,1136°	42,1012°	483
Кызбурун	43,6787°	43,4048°	747
Пуличев	48,1103°	41,1488°	108
Подгоренская	47,5595°	42,3670°	87
Комаров	47,2797°	41,2740°	58
Весёлый	47,7238°	40,0822°	145
Центральный пункт (ВГИ)	43,4694°	43,5861°	540

У каждого грозопеленгатора два датчика – низкочастотный (LF)- 3-30 кГц и высокочастотный (VHF)- 30-300 МГц.

Для молниевых разрядов облако-земля, радиус области составляет 625 км от центра сети, а разрядов облако-облако 325 км. По данным полученным с LF и VHF датчиков центральный расположенный в центре приёма и обработки информации процессор выдаёт 25 параметров по каждому молниевому разряду. Основными параметрами является следующие:

- Дата и время разряда с точностью до 100 наносекунд;
- Полярность и силу тока в канале разряда;
- Время роста до пикового значения;
- Время спада от пикового значения до нуля;
- Долгота и широта разряда;
- Классификация разрядов на положительные и отрицательные.

4. Данные комплексных натурных экспериментов и результаты их анализа.

В качестве исходных данных были выбраны результаты наблюдений за эволюцией облаков, которые зародились и перешли в грозовую стадию в период наблюдений. В выборку вошли данные о 100 таких облаках, наблюдавшихся на Северном Кавказе с 2010 по 2018 г. Критерием отбора из множества облачных процессов, служила возможность прослеживания всего цикла развития облака от зарождения до стадии диссипации через молниевую активность. Таким образом, для каждого облака можно выделить его предгрозовую стадию (отсутствие разрядов всех типов) и грозовую (появление разрядов любого типа).

На каждом радиолокационном обзоре 26 параметров развития облака, а именно:

- Максимальная радиолокационная отражаемость (Z_{max} , dBZ);
- Азимут максимальной отражаемости относительно МРЛ ($A[Z_{max}]$, °);
- Расстояния от МРЛ до максимальной отражаемости ($R[Z_{max}]$, км);
- Высота верхней границы облака по уровню отражаемости 5 dBZ (H_{top} , км);
- Высота Z_{max} ($H_{Z_{max}}$, км);
- Высота Z_{max} относительно изотермы 0 °C ($\Delta H_{Z_{max}}$, км);
- Y критерий грозоопасности (Степаненко, 1983). Находится как произведение максимальной высоты радиоэха на отражаемость на высоте на 2–2.5 км выше изотермы 0 °C (Y критерий);
- Максимальный диаметр града d_{max} , рассчитанный по значению отражаемости Z_{max} (HailSize, см);
- Высота облака с отражаемостью, превышающей порог $Z=15,25\dots75$ dBZ (H_{Zi} , км);
- Толщина облака выше изотермы 0 °C с отражаемостью, превышающей порог $Z = 15, 25, 35\dots75$ dBZ (ΔH_{Zi} , км);
- Объемы облака с отражаемостью, превышающей порог $Z = 15, 25\dots75$ dBZ (V_{Zi} , км³);

- Объемы облака выше изотермы 0 °С с отражаемостью, превышающей порог $Z = 15, 25, 35 \dots 75$ dBZ (ΔV_{Zi} , км³);
- Водосодержание вертикального столба всего облачного слоя (VIL, кг/м²);
- VIL облачного слоя выше изотермы 0 °С (ΔVIL_0 , кг/м²);
- VIL облачного слоя выше изотермы -6 °С (ΔVIL_{-6} , кг/м²);
- Отношение ΔVIL_{-6up} к ΔVIL_{-6down} при $Z > 15$ dBZ ($\Delta VIL_{-6up} / \Delta VIL_{-6down}$);
- Интегральное водосодержание объемов облака с отражаемостью, превышающей порог $Z = 15, 25, 35 \dots 65$ dBZ (M_{Zi} , КТ);
- Интегральное водосодержание объемов облака выше изотермы 0 °С при $Z = 15, 25, 35 \dots 65$ dBZ (ΔM_{Zi} , КТ);
- Отношение $\Delta M_{-6^\circ up}$ к $\Delta M_{-6^\circ down}$ при $Z > 15$ dBZ ($\Delta M_{-6^\circ up} / \Delta M_{-6^\circ down}$);
- Площадь радиоэха облака при $Z > 2$ dBZ (S_{refl} , км²);
- Площадь градовых осадков ($S_{град}$, км²);
- Площадь дождя при $Z > 15$ dBZ ($S_{дождь}$, км²);
- Интенсивность осадков при $Z > 15$ dBZ (S_{RI} , км²);
- Кинетическая энергия града (K , Дж/м²).

Кроме вышеперечисленного в каждом цикле обзора по данным грозопеленгационной сети LS8000 определялось частота и тип электрических разрядов (облако-облака и облако-земля положительной и отрицательной полярности), их местоположение в исследуемых облаках и измерялись токи. Для определения радиолокационных критериев перехода облака в грозовую стадию для каждого из 100 случаев были выделены 2 скана: «до первых разрядов» и «в момент первых разрядов». Рассматривались разряды всех типов (VHF, LF+ и LF-), структура зарядов молний формируется из отрицательных, положительных, внутриоблачных молний и их сочетаний (рисунок 4.1).

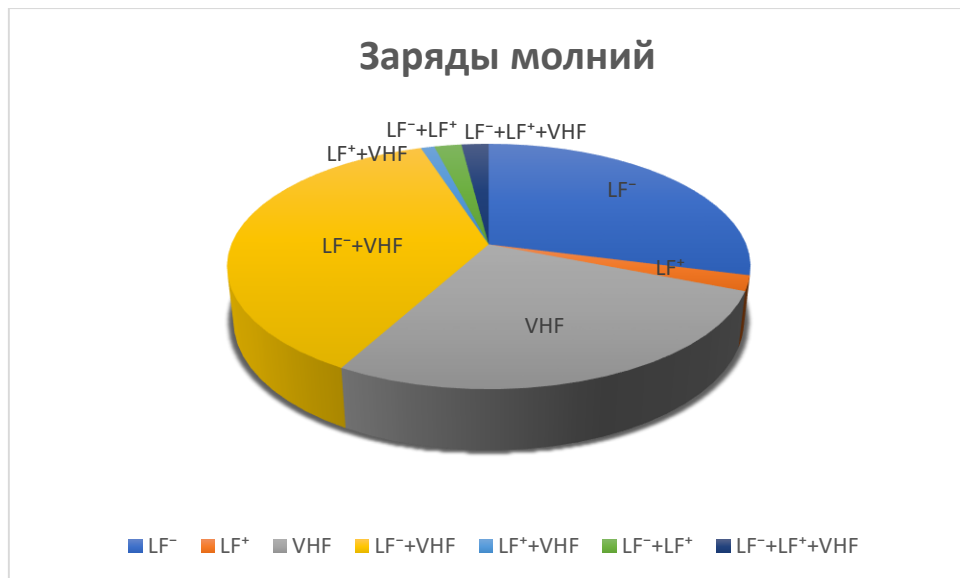


Рисунок 4.1 Распределение молниевой активности.

Анализ структуры зарядов молний показывает, что наибольшая доля приходится на сочетание отрицательных и внутриоблачных молний (37%). При этом доля только отрицательных молний составляет 29%, а внутриоблачных 27% от общего числа зарядов. Наименьшая доля (1%) приходится на сочетание положительных и внутриоблачных зарядов.

Распределение облаков по сезонам (месяцам) и времени суток представлено на (рисунок 4.2). Из него следует, что в рассмотренной выборке облаков в 85% случаев грозы наблюдались в период с мая по июль. Большинство случаев (примерно 60%) гроза начиналась в период с 17 до 20 часов.

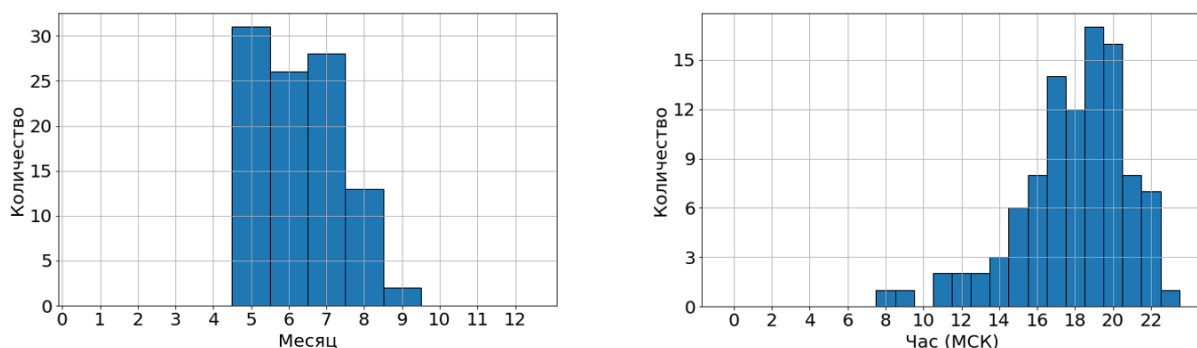


Рисунок 4.2. Сезонное и суточное распределение начала гроз в анализируемой выборке облаков.

По результатам расчетов исходя из диаграммы можно сделать вывод, что наибольшую часть зарядов молний занимает молнии с отрицательным зарядом и внутриоблачные молнии.

Для примера подробно рассмотрим один из 100 случаев перехода облака в грозовую стадию. Данное облако наблюдалось 4 июля 2017 года. В 16:14 ВСВ в облаке появился первый разряд LF-. Карты максимальной отражаемости данного облака в момент начала грозовой активности и за 4 минуты до этого представлены на рисунке 4.2.

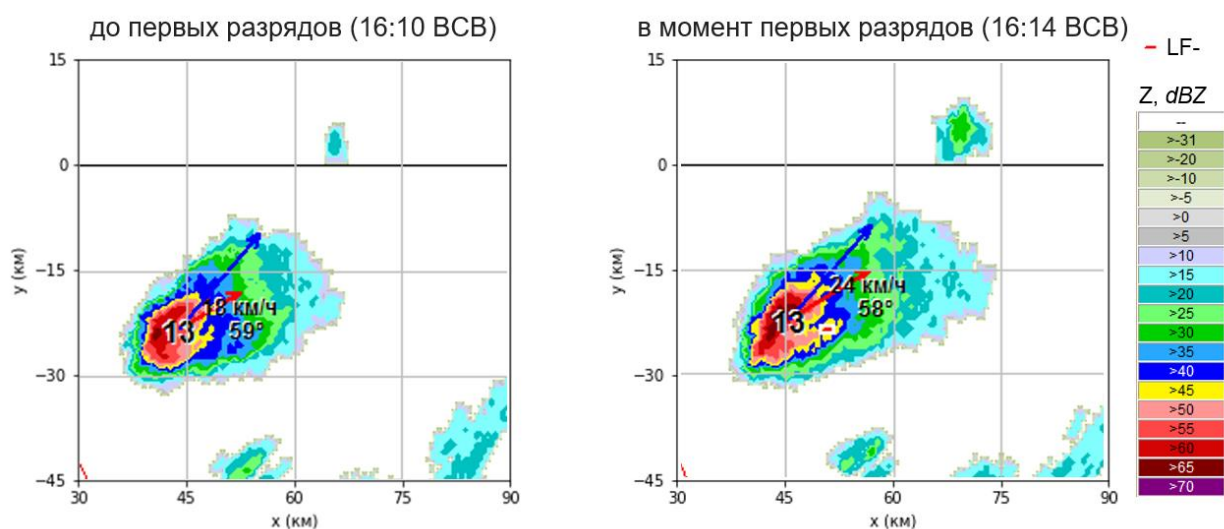


Рисунок 4.3. Карта максимальной отражаемости конвективного облака перед (слева) и после обнаружения (справа) первого электрического разряда LF-.

Из рисунке 4.3 следует, что в стадии перехода облака в грозовую стадию отмечается увеличение площади повышенного радиоэха (области $Z_{\max} > 45$ dBZ), где находятся наиболее крупные гидрометеоры. Максимальная отражаемость во всем облаке увеличилась с 69 до 70 dBZ, ΔV_{35} от 743 до 866 км², ΔM_{35} от 1470 до 2090 ктон, VIL от 75 до 121 кг/м², S_{refl} от 189 до 223 км², S_{RI} от 125 до 172 мм/ч, H_{top} не изменилась и составила 16 км, $H_{Z_{\max}}$ уменьшилась от 8 до 7 км. Таким образом, переход данного облака в грозовую стадию происходит при заметном увеличении геометрических размеров облака, количества и размера облачных частиц, а также выпадения наиболее крупных гидрометеоров. В данном случае наблюдается особенно заметное увеличение

(примерно в 1,5 раза) в значениях интегрального водосодержания переохлажденной части облака ΔM_{35} и вертикально интегрированной водности VIL .

Для анализа различий в значениях радиолокационных параметров до и в момент первых разрядов в исследованных выборках использовалась проверка статистических гипотез. С помощью критерия Шапиро-Уилка была проверена гипотеза о нормальности каждого исследуемого параметра. Эта гипотеза была отклонена для всех параметров с уровнем значимости 0.05, т.е. рассматриваемые выборки не подчинялись нормальному закону распределения. В этой связи анализ различия выборок для всех параметров выполнен с использованием непараметрического метода – критерия знаковых рангов Уилкоксона [25]

Также были построены 26 распределений различных параметров, исходя из анализа их внешнего вида и литературных источников были отобраны 8 характеристик: максимальная радиолокационная отражаемость (Z_{max} (dBZ)) (рисунок 4.4), Y критерий грозоопасности (Y criteria) (рисунок 4.5), объемы облака с отражаемостью 35dBZ (dV_{35} (km³)) (рисунок 4.6), интенсивность осадков (SRI (mm/h)) (рисунок 4.7), масса переохлажденной части облака 35dBZ (dM_{35} (ton)) (рисунок 4.8), высота переохлажденной части облака 35dBZ (dH_{35} (km)) (рисунок 4.9), поток осадков (VIL , кг/м²) (рисунок 4.10) и поток града (VIN , кг/м²) (рисунок 4.11)

Таблица 5. Параметры облаков.

№ п/п	Zmax (dBZ)		Y criteria		dV35 (km^3)		SRI (mm/h)		dM35 (ton)		dH35 (km)		VIL, кг/м2		VIH, кг/м ²	
	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд
1	50	57	27,5	43,2	256	398	7,5	11,6	221000	541000	2,9	4,6	13,0	29,4	0,0108	0,0339
2	51	60	34,0	37,4	106	231	2,8	42,2	86400	278000	5,2	5,5	10,2	25,9	0,0088	0,0307
3	48	55	25,4	34,5	171	338	27,4	75,0	104000	287000	3,8	5,2	7,6	13,4	0,0040	0,0129
4	35	51	13,0	32,5	0	26	0,5	36,6	49	23600	2,6	3,5	0,7	10,9	0,0000	0,0110
5	64	66	73,6	75,2	732	888	7,5	23,8	1300000	1560000	5,2	6,5	58,4	71,1	0,0798	0,0975
6	44	52	22,5	29,6	90	157	1,6	10,0	52400	145000	3,4	3,6	5,7	15,0	0,000	0,014
7	54	57	30,6	30,3	207	257	86,6	125,0	156000	184000	4,8	4,9	16,9	19,5	0,018	0,019
8	55	61	42,9	54,8	138	251	65,0	100,0	138000	365000	4,4	7,5	14,6	48,0	0,016	0,061
9	53	47	30,4	24,2	270	381	20,6	13,4	216000	228000	3,9	3,7	16,9	7,6	0,018	0,003
10	61	62	39,9	45,9	117	123	172,0	213,0	163000	157000	4,7	4,8	37,7	45,7	0,051	0,061
11	51	49	29,5	34,0	127	174	8,7	20,6	99200	117000	4,2	4,9	10,7	11,3	0,009	0,010
12	57	60	44,8	42,4	123	276	65,0	172,0	154000	335000	4,4	7	21,8	30,0	0,025	0,037
13	69	64	75,2	68,8	743	1 720	125,0	261,0	1470000	2680000	8,4	10	74,6	64,3	0,106	0,083
14	59	57	58,5	58,7	1 700	1 790	65,0	48,8	2500000	2650000	9,2	8,3	45,0	41,2	0,055	0,050
15	36	44	18,2	27,7	5	552	0,0	7,5	2080	332000	2,6	4,9	2,7	8,1	0,000	0,000
16	57	56	36,4	30,7	345	418	17,8	17,8	355000	375000	3,8	3,6	23,1	22,3	0,028	0,026
17	49	51	19,3	26,4	54	123	42,2	75,0	42600	99400	3,1	4,3	6,8	11,0	0,005	0,010
18	47	44	23,6	27,1	208	270	31,7	20,6	127000	137000	3,7	3,6	7,5	5,7	0,003	0,000
19	41	42	18,3	20,7	23	83	13,4	17,8	9710	43300	2,9	3,1	3,3	4,2	0,000	0,000
20	63	65	52,8	54,6	1 430	1 870	236,0	288,0	2190000	2610000	6,6	8,3	56,7	60,8	0,075	0,081
21	47	49	27,1	29,0	524	654	31,7	36,6	330000	465000	2,9	2,8	8,2	10,6	0,006	0,009
22	45	44	28,8	25,6	126	163	7,5	6,5	76500	78400	5,4	3,3	8,4	6,6	0,000	0,000
23	25	35	2,2	13,3	0	0	0,0	0,0	0	0	0	2,2	0,2	1,3	0,000	0,000
24	33	37	5,6	11,4	0	2	0,0	1,3	0	735	0	0,4	1,1	1,8	0,000	0,000
25	39	46	9,1	27,0	20	490	0,0	10,0	8220	324000	5,1	5	2,3	9,3	0,000	0,003
26	50	48	37,2	36,0	787	681	11,6	7,5	526000	432000	5,5	4,8	11,8	9,3	0,010	0,007
27	42	47	20,4	23,6	123	304	3,7	8,7	59700	184000	1,4	3	4,5	8,5	0,000	0,004

№ п/п	Zmax (dBZ)		Y criteria		dV35 (km^3)		SRI (mm/h)		dM35 (ton)		dH35 (km)		VIL, кг/м2		VIH, кг/м ²	
	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд
28	49	54	33,7	43,5	420	932	8,7	31,7	279000	787000	3,6	4,2	10,0	24,3	0,008	0,027
29	38	52	18,1	36,3	5	271	6,5	56,3	2 170	189 000	5	7,1	2,6	12,1	0,000	0,012
30	35	45	15,0	25,3	0	120	1,3	7,5	0	76000	0,4	4,9	1,8	8,2	0,000	0,000
31	56	62	52,8	43,3	65	61	27,4	213,0	84600	56900	6,4	6,6	21,0	20,0	0,024	0,019
32	32	47	9,5	29,6	0	118	0,4	2,4	0	77300	0	6,4	0,6	6,6	0,000	0,002
33	51	51	17,0	15,1	92	84	48,8	48,8	68900	66400	1,9	1,8	9,5	11,6	0,009	0,012
34	48	52	28,5	26,3	230	261	8,7	17,8	151000	168000	3	2,3	10,7	11,5	0,009	0,012
35	52	49	26,9	27,0	283	527	65,0	42,2	169000	314000	2,2	4,6	12,4	10,2	0,013	0,010
36	43	63	34,8	62,4	25	600	4,9	112,0	12800	978000	5,3	10,1	3,6	40,9	0,000	0,053
37	44	49	18,8	29,1	193	206	7,5	11,6	108000	153000	1,8	4,1	6,6	12,4	0,000	0,009
38	51	46	26,7	30,5	227	251	23,8	15,4	184000	163000	2,8	3,8	15,5	9,9	0,015	0,004
39	48	51	32,7	39,9	305	550	6,5	17,8	205000	468000	5,5	5,8	10,8	16,4	0,007	0,016
40	49	52	30,5	42,0	431	468	8,7	8,7	254000	313000	3,7	4,5	11,7	18,9	0,009	0,020
41	41	45	28,2	30,9	33	69	2,4	23,8	15800	36400	3	3,9	3,1	7,5	0,000	0,002
42	43	42	20,8	19,7	191	95	5,7	4,9	96500	43700	3,4	3,1	6,0	4,8	0,000	0,000
43	41	42	22,2	26,8	74	133	0,9	3,7	33600	66900	3,8	5	4,0	5,6	0,000	0,000
44	47	47	37,4	33,8	377	514	13,4	11,6	251000	311000	5,4	6,2	12,0	9,1	0,008	0,004
45	48	49	26,8	28,8	20	178	11,6	8,7	11800	119000	1,7	4,3	9,6	8,7	0,009	0,006
46	32	34	11,0	16,6	0	0	0,0	0,0	0	0	0	0	1,6	2,0	0,000	0,000
47	43	48	14,2	19,3	26	62	15,4	42,2	13400	44000	1,3	2,2	4,2	7,6	0,000	0,005
48	51	51	36,5	43,5	374	399	6,5	7,5	337000	355000	5,2	7,5	18,8	21,2	0,020	0,021
49	47	46	25,0	26,0	66	178	11,6	5,7	35900	93900	3,4	4,9	5,5	5,9	0,002	0,001
50	57	56	28,2	29,0	126	161	86,6	112,0	96200	134000	3,7	3,9	18,0	16,2	0,021	0,018
51	49	59	31,0	57,2	111	384	2,8	75,0	75200	562000	4,2	7	7,5	42,0	0,0061	0,0526
52	53	57	37,8	50,8	202	324	5,7	11,6	174000	353000	6,6	7,1	12,0	22,1	0,0101	0,0248
53	49	61	34,3	55,5	237	372	7,5	36,6	179000	598000	5,3	6,4	9,9	41,3	0,0066	0,0515
54	58	60	48,8	60,9	546	680	20,6	23,8	708000	1150000	7	8,3	40,6	52,5	0,0510	0,0654
55	57	54	35,9	32,1	139	155	2,4	4,9	159000	138000	3,5	3,6	24,2	18,7	0,0280	0,0195
56	51	52	35,5	36,8	130	198	4,9	8,7	130000	177000	4,4	4	12,9	15,1	0,0130	0,0152

№ п/п	Zmax (dBZ)		Y criteria		dV35 (km^3)		SRI (mm/h)		dM35 (ton)		dH35 (km)		VIL, кг/м2		VIH, кг/м ²	
	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд
57	47	54	26,1	42,1	44	279	13,4	23,8	27100	229000	1,3	6,9	7,6	20,9	0,0034	0,0202
58	36	40	16,1	22,7	1	43	0,0	0,0	471	19100	1,5	3,5	1,5	2,9	0,0000	0,0000
59	44	57	19,5	36,9	11	69	5,7	139,0	6510	66400	2,5	4,1	2,9	12,8	0,0000	0,0129
60	45	52	23,2	30,7	123	440	23,8	65,0	72800	358 000	2,6	3,5	6,2	14,6	0,0000	0,0144
61	33	42	9,4	22,8	0	50	4,9	4,2	0	27000	0	3,4	1,4	5,7	0,0000	0,0000
62	34	38	11,1	15,9	0	39	0,0	1,8	0	16200	0	2,5	1,6	3,5	0,0000	0,0000
63	61	58	54,2	51,6	602	812	56,3	42,2	1000000	1280000	7,6	7,8	51,9	46,6	0,0659	0,0584
64	38	50	7,3	12,8	0	16	3,7	48,8	120	11000	1	1,2	1,3	7,1	0,0000	0,0058
65	45	54	23,5	37,3	144	359	20,6	86,6	91100	330000	3,6	4,7	7,1	16,5	0,0000	0,0168
66	51	53	40,0	43,3	528	778	0,0	8,7	470000	808000	5,9	6,4	17,1	24,6	0,0170	0,0272
67	42	49	12,0	31,4	0	23	15,4	42,2	49	13500	0	5,2	2,1	7,0	0,0000	0,0016
68	43	56	22,7	44,5	43	379	2,1	7,5	21300	414000	3,9	6,4	5,6	29,9	0,0000	0,0352
69	38	50	15,1	27,7	13	198	10,0	36,6	5240	153000	2,2	4,7	2,3	9,1	0,0000	0,0063
70	47	51	26,8	40,1	224	520	0,0	0,0	124000	465000	2,9	5,8	9,7	20,2	0,0050	0,0213
71	60	62	60,1	60,0	1 230	1 380	56,3	56,3	1780000	2390000	8,2	8,4	47,0	50,7	0,0589	0,0645
72	55	52	22,7	36,3	41	80	86,6	42,2	29000	73100	2,9	5,7	10,6	16,1	0,0118	0,0168
73	31	40	6,6	16,3	0	5	2,1	8,7	0	2380	0	2,4	0,8	2,9	0,0000	0,0000
74	45	58	23,5	40,1	93	341	1,8	8,7	57400	315000	3,7	4,1	6,4	25,2	0,0007	0,0293
75	59	62	39,8	43,8	141	182	5,7	10,0	209000	319000	3,5	4,3	27,6	40,8	0,0330	0,0526
76	48	49	16,2	20,5	75	131	31,7	48,8	43100	85700	1,9	2,1	5,3	6,7	0,0037	0,0055
77	55	52	52,5	40,9	727	1 200	48,8	65,0	700000	940000	8,1	6,2	23,4	18,5	0,0227	0,0188
78	38	48	17,5	27,6	2	57	0,0	13,4	873	44900	3,4	4,8	1,9	9,2	0,0000	0,0062
79	50	49	17,6	21,7	62	136	48,8	27,4	40100	86200	2,4	3,5	9,1	7,6	0,0074	0,0073
80	38	43	19,9	29,0	37	188	6,5	5,7	15400	89200	2,6	5,1	3,3	6,0	0,0000	0,0000
81	52	50	29,7	30,7	75	110	48,8	42,2	55900	82700	3,8	4,9	11,8	9,0	0,0109	0,0080
82	42	53	20,1	29,6	42	180	5,7	27,4	20000	163000	2,4	2,9	4,5	14,0	0,0000	0,0146
83	47	48	30,1	30,0	321	460	5,7	6,5	204000	321000	2,7	3,8	8,9	10,5	0,0054	0,0067
84	40	45	25,4	31,1	48	212	1,3	2,1	23500	120000	3,1	3,7	4,4	7,2	0,0000	0,0015
85	40	47	22,8	29,2	53	173	2,4	11,6	24100	104000	2,9	3,6	4,3	7,7	0,0000	0,0034

№ п/п	Zmax (dBZ)		Y criteria		dV35 (km^3)		SRI (mm/h)		dM35 (ton)		dH35 (km)		VIL, кг/м2		VIH, кг/м ²	
	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд	До разряда	1 разряд
86	47	53	37,7	53,1	315	486	1,8	5,7	249000	474000	6,7	6,9	14,4	23,7	0,0104	0,0242
87	38	49	18,4	30,6	11	187	1,3	1,6	4 270	130000	1,1	4,5	2,7	10,8	0,0000	0,0078
88	54	56	52,6	57,6	188	243	1,6	2,8	194000	259000	5,5	5,9	20,0	22,4	0,0217	0,0259
89	40	48	28,1	37,0	68	147	3,2	5,7	31100	90700	3,5	4,8	4,7	11,3	0,0000	0,0082
90	39	41	15,1	14,8	2	2	3,2	4,9	1020	1090	0	0	3,0	3,4	0,0000	0,0000
91	33	42	15,9	19,4	0	31	0,4	3,2	0	13400	0	1,3	1,4	4,3	0,0000	0,0000
92	41	47	9,1	15,8	3	35	0,9	0,0	1450	18700	0	1,3	2,4	5,6	0,0000	0,0026
93	51	51	26,4	26,8	105	108	17,8	15,4	72700	67200	3,1	2,2	11,6	11,0	0,0108	0,0106
94	38	37	21,7	19,2	52	15	3,2	2,1	22000	5820	3,2	2,2	3,9	2,8	0,0000	0,0000
95	45	54	27,5	32,2	75	99	2,1	27,4	45900	93600	3,8	3,9	7,2	19,1	0,0000	0,0203
96	46	47	28,3	30,9	116	144	7,5	10,0	59300	84400	1,9	2,1	6,9	8,3	0,0032	0,0050
97	41	46	6,9	23,8	2	84	11,6	13,4	695	52100	0,1	2,2	2,6	5,4	0,0000	0,0024
98	53	54	36,3	36,9	548	666	42,2	56,3	493000	554000	3,8	4,4	18,6	18,7	0,0201	0,0188
99	43	48	18,4	24,9	6	126	2,1	2,1	3770	96800	1,1	2,8	3,8	7,7	0,0000	0,0054
100	43	48	25,1	35,3	61	246	5,7	20,6	30700	146000	3	4,4	4,4	8,1	0,0000	0,0054

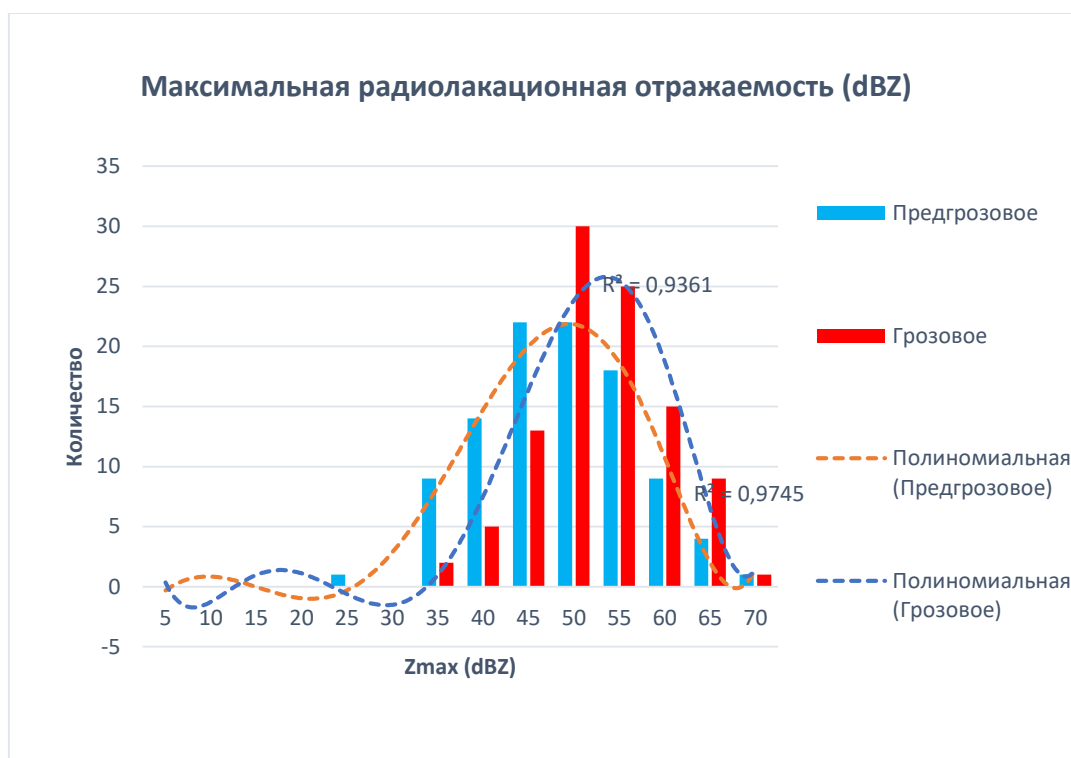


Рисунок 4.4. Распределение максимальной радиолокационной отражаемости.

Визуальный анализ показывает, что распределение показателей максимальной радиолокационной отражаемости в предгрозовом и грозовом периодах близко к нормальному.

Максимальные количества наблюдений соответствуют значению максимальной радиолокационной отражаемости, равному 45 и 50 в предгрозовой и грозовой периоды соответственно.

Распределение, характеризующее предгрозовую период по показателю максимальной радиолокационной отражаемости содержит одно наблюдение, отклоняющееся от остальных (выброс) со значением показателя, равным 25. При этом в предгрозовом и грозовом периодах остальные наблюдения распределены в диапазоне 35-70 dBZ.

Полиномиальные линии тренда адекватно отражают распределения наблюдений по исследуемому показателю, о чем свидетельствуют показатели коэффициентов детерминации (97,4 и 93,6% соответственно в предгрозовом и грозовом периодах).

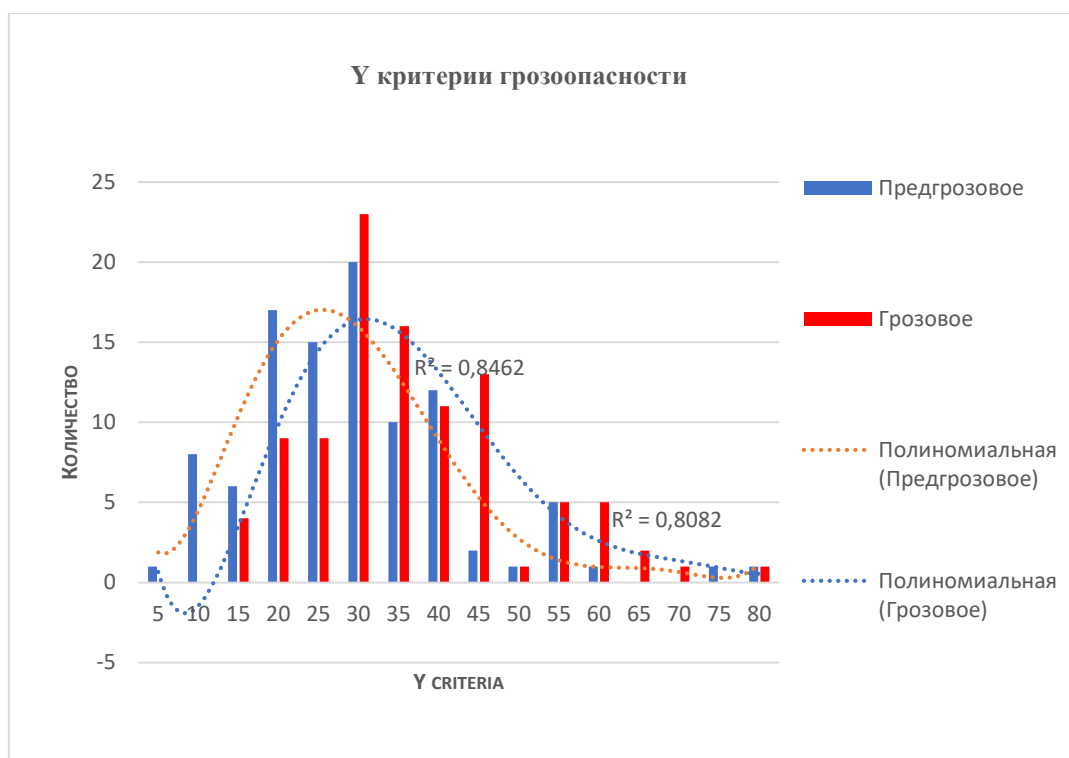


Рисунок 4.5. Распределение Y критерия грозоопасности..

Распределение показателей Y критерия грозоопасности отличается от нормального, о чем свидетельствует длинный правый хвост гистограммы (асимметричность распределения). Максимальные количества наблюдений соответствуют значению Y критерия, равному 30 в предгрозовой и грозовой период.

В грозовом периоде наблюдения распределены в диапазоне 15-80, в предгрозовом – в диапазоне 5-80.

Полиномы шестой степени значимо отражают тенденцию распределения наблюдений, о чем свидетельствуют показатели коэффициентов детерминации (84,6 и 80,8% соответственно в предгрозовом и грозовом периодах).

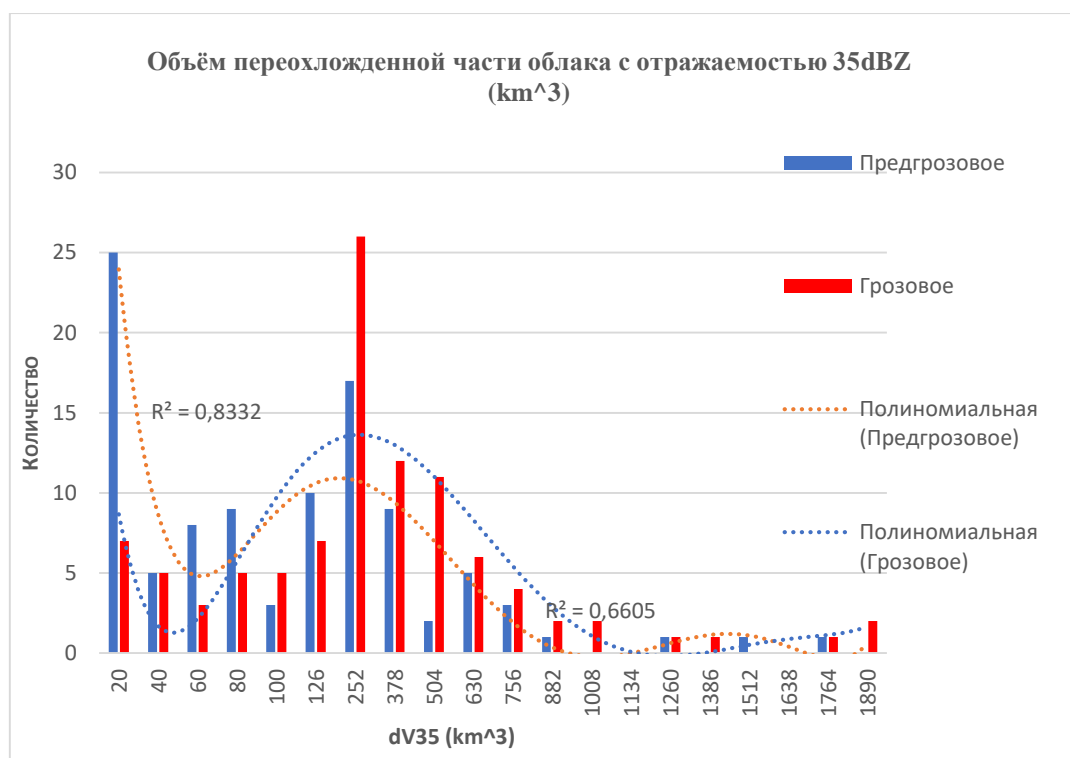


Рисунок 4.6. Распределение объема переохлажденной части облака с отражаемостью 35 dBZ.

Визуальный анализ показывает, что распределение показателей высоты переохлажденной части с отражаемостью 35 dBZ в предгрозовом и грозовом периодах отличается от нормального, о чем свидетельствует длинный правый хвост гистограммы (асимметричность распределения).

Максимальные количества наблюдений соответствуют значению показателей высоты переохлажденной части с отражаемостью 35 dBZ в точках 20 и 252 в предгрозовой и грозовой периоды соответственно.

Полиномиальная линия тренда шестого порядка хорошо отражает распределение наблюдений по исследуемому показателю в грозовом периоде и умеренно – в предгрозовом периоде. Для построения прогноза для предгрозового периода данный полином использовать не целесообразно.

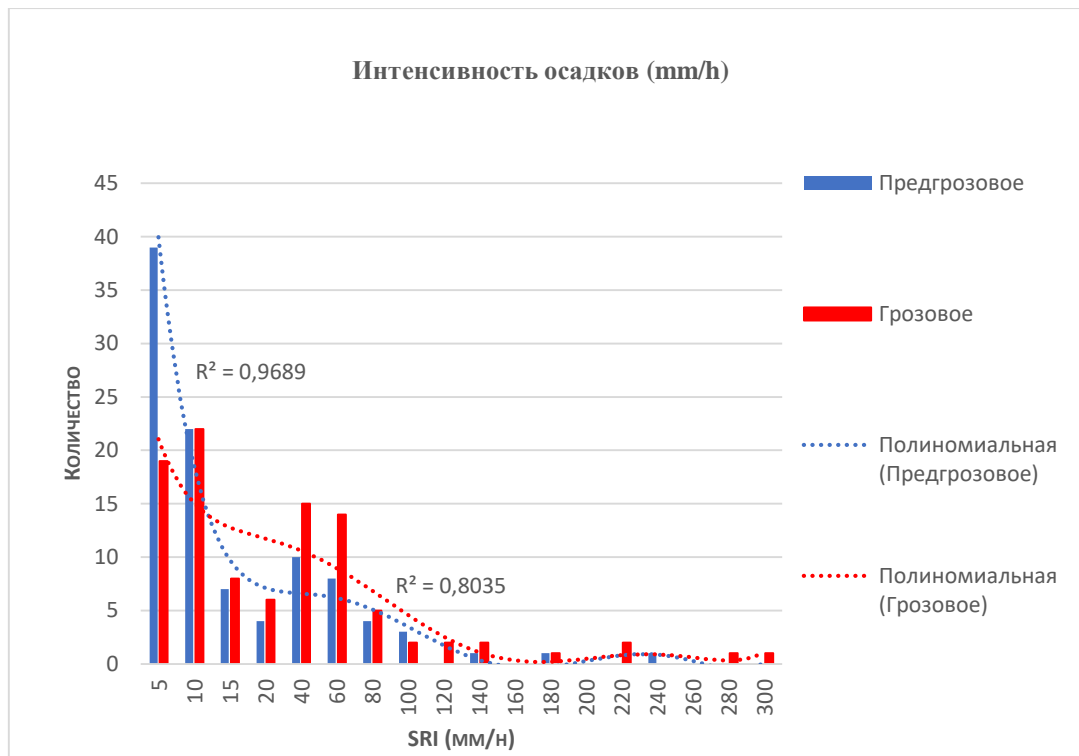


Рисунок 4.7. Распределение интенсивности осадков.

Распределение показателей интенсивности осадков в предгрозовом и грозовом периодах отличается от нормального и характеризуется длинным правым хвостом (положительная асимметрия распределения).

Максимальные количества наблюдений в предгрозовом периоде сосредоточены в диапазоне 5-15 мм/ч, в грозовом периоде – 15 мм/ч и более.

Полиномиальная линия тренда шестого порядка адекватно отражает распределение наблюдений по исследуемому показателю в грозовом и предгрозовом периодах, о чем свидетельствуют показатели коэффициентов детерминации (80,3 и 96,9% соответственно).

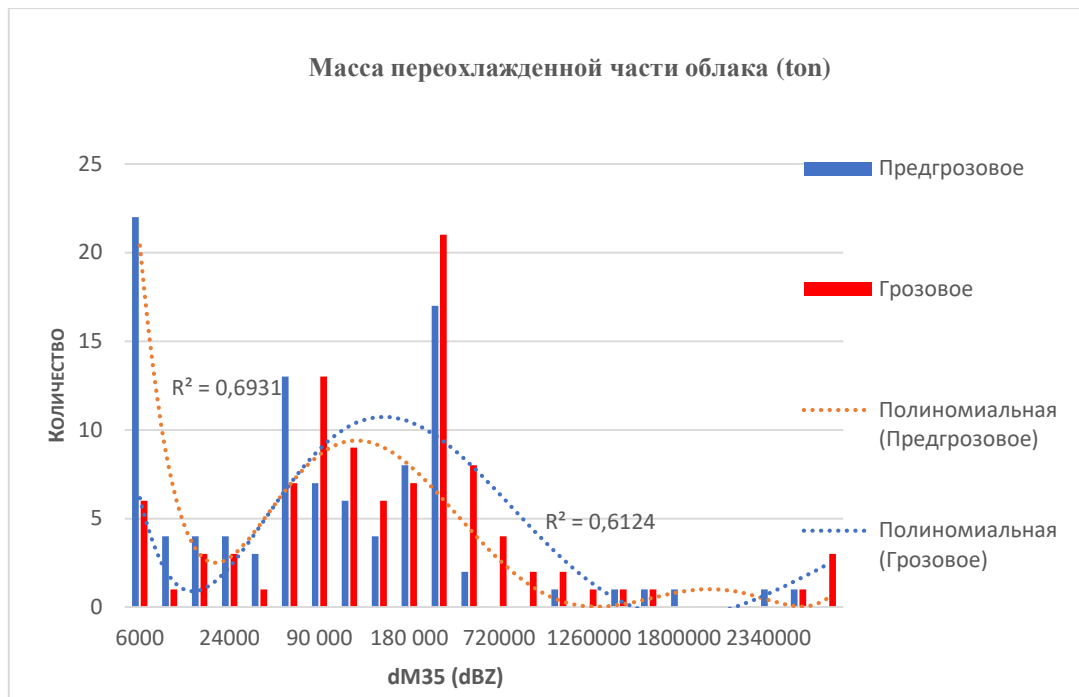


Рисунок 4.8. Распределение массы переохлажденной части облака с отражаемостью 35 dBZ.

Визуальный анализ показывает, что распределение показателей массы переохлажденной части облака в предгрозовом и грозовом периодах отличается от нормального.

Максимальные количества наблюдений в предгрозовом периоде сосредоточены в значении 6000 ton, а основная часть из них в диапазоне 6000-720000 ton. Для грозового периода смещение максимума происходит в точку 360000 ton. При этом основная часть из них также сосредоточена в диапазоне 6000-720000 ton.

Полиномиальные линии тренда шестого порядка умеренно отражают распределение наблюдений по исследуемому показателю в грозовом и предгрозовом периодах. Показатели коэффициентов детерминации не превышают 70%. Для построения прогноза данный полином использовать не целесообразно.

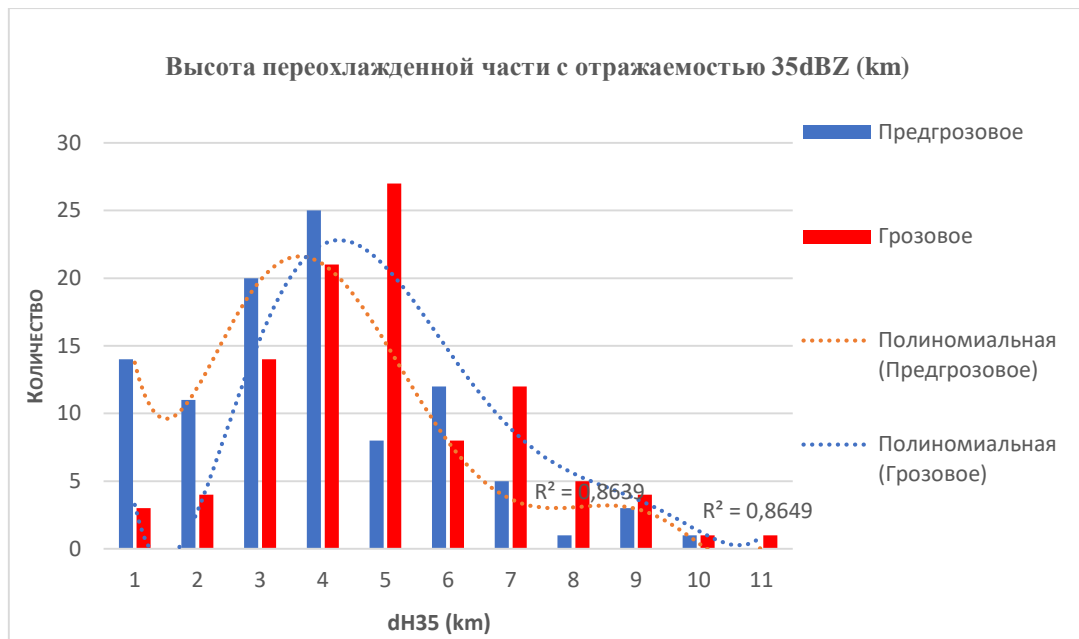


Рисунок 4.9. Распределение высоты облака с отражаемостью 35 dBZ.

Распределение показателей высоты переохлажденной части облака с отражаемостью 35 dBZ в предгрозовом и грозовом периодах отличается от нормального, хотя для грозового периода и близко к нему.

Максимальные количества наблюдений соответствуют значению показателей высоты облака с отражаемостью 35 dBZ в точках 4 и 5 км в предгрозовой и грозовой периоды соответственно.

В предгрозовом периоде высота облаков в основной части наблюдений сосредоточена в диапазоне 1-7 км, для грозового периода наблюдается сдвиг в диапазоне от 3 до 11.

Полиномиальная линия тренда шестого порядка хорошо отражает распределение наблюдений по исследуемому показателю в грозовом и предгрозовом периодах.

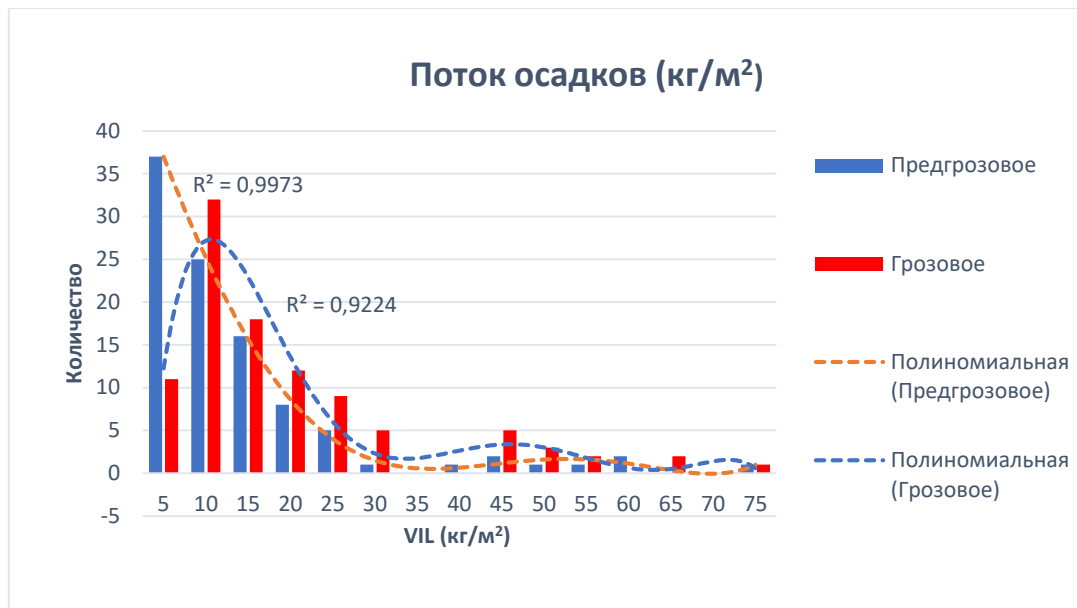


Рисунок 4.10. Распределение потока осадков.

Визуальный анализ показывает, что распределение показателей потока осадков в предгрозовом и грозовом периодах отличается от нормального.

Максимальные количества наблюдений в предгрозовом периоде сосредоточены в значении 5 кг/м.кв, а основная часть из них в диапазоне 5-25 кг/м.кв. Для грозового периода смещение максимума происходит в точку 10 кг/м.кв. При этом основная часть из них также сосредоточена в диапазоне 5-25 кг/м.кв.

Полиномиальные линии тренда шестого порядка адекватно отражают распределение наблюдений по исследуемому показателю в грозовом и предгрозовом периодах. Показатели коэффициентов детерминации превышают 90%.

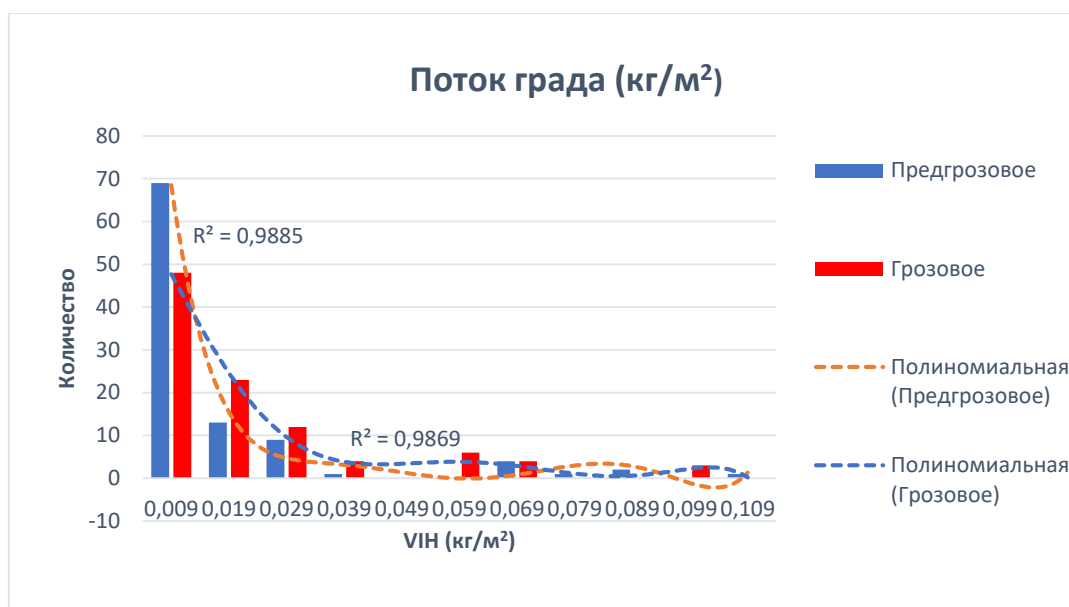


Рисунок 4.11. Распределение потока града.

Распределение показателей потока града в предгрозовом и грозовом периодах отличается от нормального.

Максимальные количества наблюдений в предгрозовом и грозовом периодах сосредоточены в значении 0,009 кг/м.кв, а основная часть из них в диапазоне 0,009-0,029 кг/м.кв.

Полиномиальные линии тренда шестого порядка адекватно отражают распределение наблюдений по исследуемому показателю в грозовом и предгрозовом периодах. Показатели коэффициентов детерминации близки к 1.

Таблица 6. Статистические характеристики выборок.

Параметры	Критерий Уилкоксона	Состояние	Средняя	Дисперсия	Медиана
Zmax (dBZ)	3E-11	Предгрозовое	46	67,95	47
		Грозовое	51	46,67	51
Y criteria	6E-12	Предгрозовое	27,4	193,03	26,3
		Грозовое	33,9	167,41	30,7
SRI (mm/h)	4E-08	Предгрозовое	20,8	1269,42	7,0
		Грозовое	36,7	2877,72	15,4
dM35 (ton)	6E-15	Предгрозовое	204517	1,79397E+11	64300
		Грозовое	340361	2,87723E+11	153000
dV35 (km ³)	2E-15	Предгрозовое	196	84578,27	99
		Грозовое	324	132398,67	198
dH35 (km)	2E-12	Предгрозовое	3,4	4,38	3,4

Параметры	Критерий Уилкоксона	Состояние	Средняя	Дисперсия	Медиана
		Грозовое	4,5	4,03	4,4
VII (кг/м ²)	6E-10	Предгрозовое	11,7	184,23	7,5
		Грозовое	16,9	215,78	11,2
VIII (кг/м ²)	2E-07	Предгрозовое	0,011	0,00037	0,004
		Грозовое	0,017	0,00043	0,010

В рамках исследования проверяется нулевая гипотеза о значимости различий в характеристиках в предгрозовом и грозовом состоянии.

В виду того, что показатели p-value для всех исследуемых характеристик не превышают уровень значимости $\alpha = 0,05$, то можно сделать вывод о наличии статистически значимых различий в характеристиках в предгрозовом и грозовом состоянии.

Значимость различий подтверждаются и показателями средних и медианных значений, которые для исследуемых характеристик не совпадают.

Кроме того, для всех параметров при переходе облака в грозовую стадию, среднее и медиана увеличиваются. Увеличение этих характеристик говорит о том, что грозовая активность в облаке начинается при больших геометрических размерах облака, при большем количестве и при больших размерах твердых гидрометеорах в облаке.

Заключение.

Подводя итог моей работы, можно сделать следующие выводы:

- Территория Северного Кавказа имеет своеобразное географическое расположение, сложную орографию и перенос воздушных масс с тропическим воздухом и воздухом умеренных широт;
- Исследование молний особенно условие их начала и связи с радиолокационными параметрами на Северном Кавказе является актуальной и научной задачей пеленгатора гроз, у которого имеется синхронизированная программа топографической местности контролирующего прибора;
- Проанализировав выборку 100 облаков предгрозового и грозового состояния, показали значимые различия в значениях контролируемых характеристик облаков. Наиболее перспективными оказались: Критерия грозоопасности, объём переохлажденной части облака и её водосодержание. Что подтверждает гипотезу об определяющей роли крупных ледяных частиц в электризации облаков.

Список используемой литературы.

1. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе [Текст]/ Под ред. Г.Г. Сванидзе, Я.А. Цуцкиридзе.–Л.: Гидрометеиздат, 1980.–290 с.
2. Нижнее Поволжье и Северный Кавказ СССР. Физическая карта [Электронный ресурс] – Режим доступа http://100dic.ru/geograficheskiy_atlas/page/nijnee_povolje_i_severnyiy_kavkaz_sssr_fizicheskaya_karta.120.
3. Spravochnik.ru
4. Аджиев, А.Х. Атмосферно-электрические явления на Северном Кавказе [Текст] / А.Х. Аджиев, Г.В. Куповых.–Таганрог: Изд. ТРТУ, 2004.–122 с.
5. <https://ral.ucar.edu/sites/default/files/public/events/2015/friends-and-partners-in-aviation-weather/docs/demetriades.pdf>
6. US Midwestern Regional Climate Center, Living With Weather – https://mrcc.illinois.edu/living_wx/thunderstorms/index.html
7. US National Oceanic and Atmospheric, The National Severe Storms Laboratory – <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms>
8. Зимин Б. И. (1978). Регулирование развития грозовой активности конвективных облаков при воздействии льдообразующими аэрозолями // Труды ЦАО. Вып. 136. С. 104.
9. US NOAA Photo Library, National Severe Storms Laboratory – <https://photolib.noaa.gov>
10. US Midwestern Regional Climate Center, Living With Weather – https://mrcc.illinois.edu/living_wx/thunderstorms/index.html
11. US National Oceanic and Atmospheric, The National Severe Storms Laboratory – <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/thunderstorms>
12. Матвеев, Л.Т. Физика атмосферы [Текст].–СПб.: Гидрометеиздат, 2000.–780 с.
13. Кужекин, И.П. Молния и молниезащита [Текст] / И.П. Кужекин, В.П. Ларионов, Е.Н. Прохоров.–М.: Знак, 2003.–330 с.

14. Кашлева, Л.В. Атмосферное электричество [Текст]: учебное пособие.– СПб.: Изд. РГГМУ, 2008.–116 с.
15. Метеорологический интернет-журнал MeteoWeb.ru – <http://meteoweb.ru/phen035.php>
16. kipmu.ru/molnia
17. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды СПб.: БХВ – Петербург. 2010 с. 203-204.
18. US National Oceanic and Atmospheric, The National Severe Storms Laboratory – <https://www.nssl.noaa.gov/education/svrwx101/lightning/types>
19. Базелян, Э.М. Физика молнии и молниезащиты [Текст] / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер.–М.: Физматлит, 2001.–310 с.
20. Абшаев и др., 2010,2011.
21. Аджиев А.Х., Варлей Ю., Стасенко В.Н., Тапасханов В.О. Способы гроззащиты на Северном Кавказе.
22. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5 [Текст]: РД 52.04.320-91: утв. Федер. службой России по гидрометеорологии и мониторингу окруж. среды: введ в действие 1.10.93.– СПб.: Гидрометеоиздат, 1993.–350 с.
23. Киселев, В.Н. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы) [Текст]: учебник / В.Н. Киселев, А.Д. Кузнецов.–СПб.: Изд. РГГМУ, 2004.–429 с.
24. Изучение взаимосвязи процессов облако- и осадкообразования с электрическими явлениями в конвективных облаках активно-пассивными радиотехническими средствами [Текст]: Науч.-техн. отчет /Кабардино-Балкарский гос. ун-т им. Х.М. Бербекова; рук. Аджиев А.Х.– Нальчик, 2010.–73 с.
25. Shapiro and Wilk 1965 - An Analysis of Variance Test for Normality.pdf (scribd.com).