



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

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Прогноз и диагноз опасных явлений погоды (грозы)».

Исполнитель Моисеева Елена Витальевна
(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, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

«16» 06 2020г.

Санкт-Петербург
2020

Оглавление

Сокращения.....	4
Введение.....	5
Глава 1. Физико-географическое и климатическое описание Северного Кавказа. Грозовая активность в регионе.....	8
1.1. Географическое положение.....	8
1.2 Климат и поверхностные воды	9
1.3. Многолетние климатические данные Северного Кавказа	11
Глава 2. Гроза как опасное явление для авиации	15
2.1. Стадии развития грозового облака и степень их опасности для авиации	15
2.2. Виды гроз	17
2.4. Молнии	21
2.4.1. Типы линейных молний	22
2.4.2. Стадии развития линейной молнии.....	23
2.4.3. Компоненты молнии	24
2.5. Особенности выполнения полетов в зоне грозовой деятельности	25
2.6. Случаи поражения атмосферным электричеством воздушных судов за 2018-2020 г.	27
3.1. Основные методы прогноза гроз	33
3.1.1. Методы прогноза гроз, основанные на адиабатической модели (метод частицы)	33
3.1.2. Метод Н.В. Лебедевой	33
3.1.3. Метод Бейли	36
3.1.4 Метод Г. Д. Решетова	37

3.1.5 Метод Вайтинга.....	38
3.2 Методика определения зон грозовой активности с помощью МРЛ.....	39
3.2.1. Глобальная большебазовая гронопеленгационная система WWLLN....	40
3.2.2 АПК ГПС «Алвес 9.07»	43
3.2.3 Большебазовая гронопеленгационная система «Верея- МР»	45
3.3. Используемые средства контроля облаков (МРЛ-5 и ГПС ЛС8000)	45
3.3.1. МРЛ-5	45
3.3.2 Гронопеленгатор LS8000	48
Глава 4. Анализ эффективности существующих радиолокационных методов прогноза и диагноза гроз.	50
4.1 Анализ данных радиолокационных наблюдений	50
4.2. Прогнозирование гроз на основе радиолокационных данных	56
Заключение	63

Сокращения

- МРЛ – метеорологический радиолокатор;
- РЛС – радиолокационная станция;
- СВЧ – сверхвысокочастотный;
- ЭМИ – электромагнитное излучение;
- ИКО – индикатор кругового обзора;
- ИДВ – индикатор дальность-высота;
- ИА – амплитудные индикаторы;
- GPS – Global Positioning System;
- LF – низкочастотный (low frequency);
- VHF – высокочастотный (very high frequency);
- ВПП – взлётно-посадочная полоса

Введение

Исследование грозовой активности в атмосфере является одним из важнейших направлений в метеорологии. Гроза – атмосферное явление, негативно влияющее на многие отрасли жизнедеятельности человека. Одной из ведущих отраслей в современном мире, для которой грозовая активность особенно опасна и важна - это авиация. Атмосферное электричество способно поражать не только воздушные суда при выполнении полёта, но и системы, обеспечивающие работу аэродромов. Нередки случаи, когда во время грозы молния попадает в метеорологическое оборудование на полосе и приборы выходят из строя.

Именно поэтому вопрос заблаговременного предупреждения о возникновении грозовых очагов и их мощности, до момента фиксирования первых молниевых разрядов в облаке, является актуальным и требует изучения.

В настоящее время, для радиолокационного наблюдения за атмосферой активно используются метеорологические радиолокаторы и грозопеленгационные системы. При обработке данных, полученных с МРЛ и ГПС, для составления прогноза о грозах и выявления грозовых очагов, обращают особое внимание на критерии грозоопасности. Активно проводятся исследования о выявлении новых параметров, указывающих на вероятность возникновения гроз.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование критериев грозоопасности, анализ поведения различных критериев в догрозовых и грозовых условиях и проведение сравнительных характеристик целесообразности использования данных критериев в практической работе. Работа состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка использованных источников. В первой главе рассмотрены региональные особенности Северного Кавказа, приведены многолетние климатические данные и общая информация о грозовой активности в регионе. Вторая глава

посвящена грозе как опасному явлению для авиации, природе возникновения и стадиях её развития. Выявлены особенности выполнения полётов в зоне грозовой деятельности и рассмотрены последствия поражения атмосферным электричеством в полёте воздушных судов за 2018-2020 г. В третьей главе рассмотрены существующие методы прогноза, как термодинамические так и радиолокационные, а также методы диагноза и контроля гроз. В четвёртой главе внимание акцентируется на синоптической ситуации, развивающейся с 25 мая по 5 июня 2012 г. в районе городов Пятигорск – Минеральные Воды. Проанализированы электрические характеристики грозового облака, зафиксированные с помощью МРЛ-5 и ГПС 8000, построены гистограммы распределения частот молниевых разрядов. В главе проводится сравнение критериев грозоопасности, исследуются их корреляционные характеристики с электрическими параметрами в облаке и выявляется результативность их применения.

Глава 1. Физико-географическое и климатическое описание Северного Кавказа. Грозовая активность в регионе.

Кавказский регион отличается большой повторяемостью грозовых явлений. Вопрос своевременного обнаружения гроз и определение их интенсивности в данном регионе является весьма актуальным.

1.1. Географическое положение

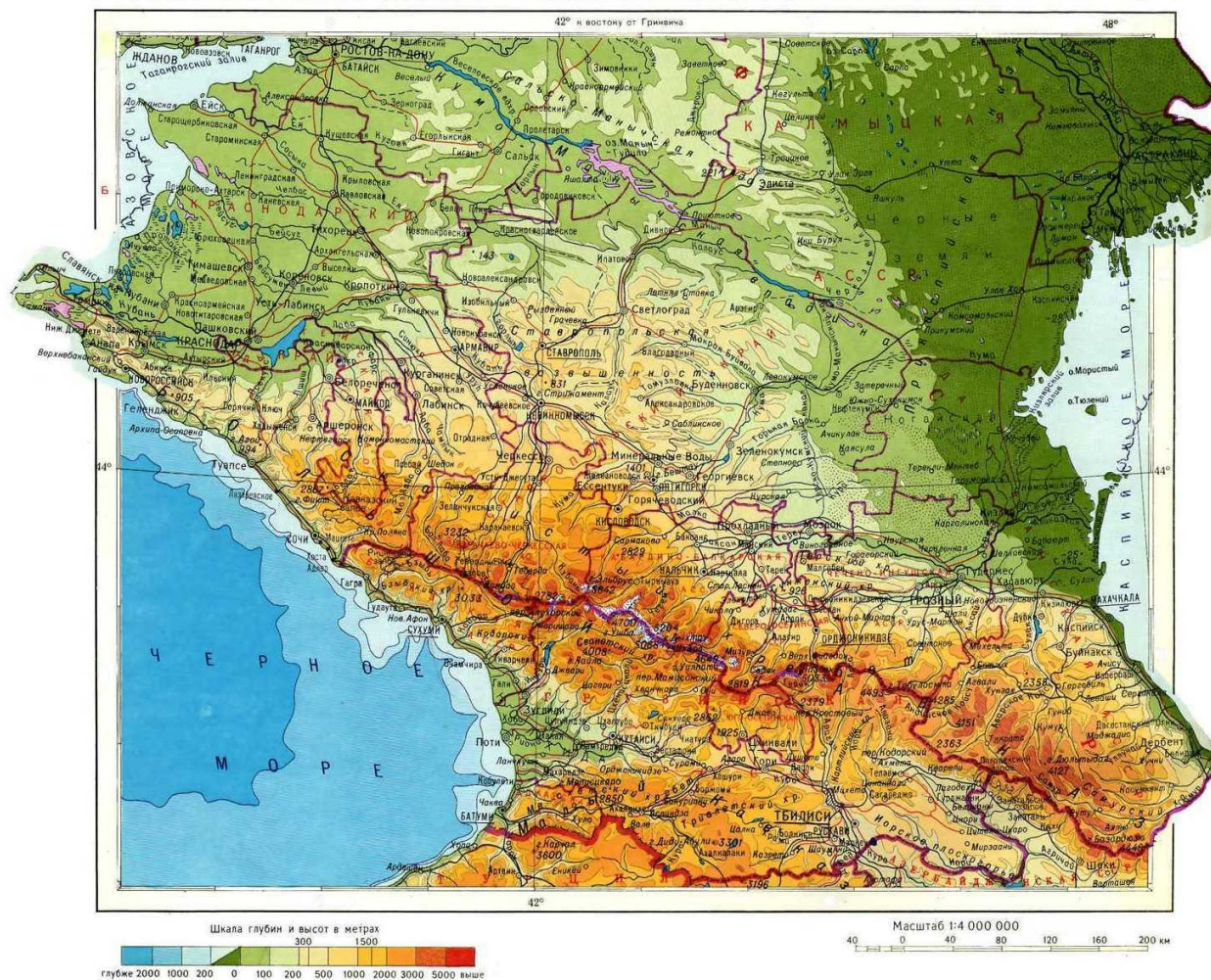


Рисунок 1.1 – Физическая карта Северного Кавказа

Кавказ входит в Крымско-Кавказскую горную страну, лежащую к югу от Русской равнины. Кавказский регион расположен между Каспийским морем на востоке и Черным и Азовским морями на западе. Сюда выходят горные системы Большого и Малого Кавказа и предгорные низменности и возвышенные равнины. От Русской равнины Кавказ отделен Кумо-Манычской впадиной. России принадлежит лишь часть этой физико-

географической страны: равнины Предкавказья и северный склон Большого Кавказа (до реки Самур); государственная граница проходит по водораздельному гребню. Только на северо-западе нам принадлежит Черноморское побережье Кавказа (до реки Псоу). Данный регион именуется Северным Кавказом, его площадь около 300 тыс. км², протяженность с северо-запада на юго-восток свыше 1000 км, в перпендикулярном направлении только 400 км. Северный Кавказ лежит между 41° с.ш. и 47° с.ш., на стыке умеренного и субтропического поясов. По особенностям природы выделяют здесь три региона: Большой Кавказ (горная область); Западное и Среднее Предкавказье (предгорная степная область); Терско-Кумская низменность (Восточное Предкавказье).

1.2 Климат и поверхностные воды

На климат Кавказа влияет его географическое положение на юго-западе России, на перешейке между морями, а так же горный рельеф. Кавказ получает большое количество солнечной радиации за год. Страна лежит на стыке двух климатических поясов – умеренного и субтропического. К субтропическому поясу в России относится лишь Черноморское побережье. Зимой на Предкавказье распространяется континентальный воздух умеренных широт, преобладают северные и восточные ветры. Холодный воздух застаивается у северного склона Большого Кавказа. Над Черным морем давление понижается и поэтому холодный воздух с гор устремляется в сторону моря (так иногда возникает новороссийская бора, при температуре до -15°С). На высоте 1.5-2 км господствует западный перенос. Зимой со Средиземного моря на Кавказ часто обрушиваются циклоны, что ведет к оттепелям и сходу снежных лавин в горах. Когда возникает ветер фен, то температура может подниматься у подножия гор до +15°С (на Эльбрусе до -5°С). Средние температуры января от +2°С в Новороссийске до +6°С в Сочи, в горах с высотой температура падает до отрицательных значений (на высокогорьях до -15°С). В Предкавказье зимой средние температуры тоже

отрицательные -2°C - 4°C . Абсолютный минимум в Предкавказье -35°C , а в Сочи -15°C . Зимой на Черноморском побережье выпадает максимум осадков (средиземноморский тип), а на остальной территории максимум приходится на лето. Зимой на равнинах и тем более в горах устанавливается снежный покров. На равнинах он появляется к концу декабря, при этом снег зимой часто сходит. На склонах гор мощность снежного покрова доходит до 3 м. Летом средние температуры воздуха от $+22^{\circ}\text{C}$ на Черноморском побережье до $+25^{\circ}\text{C}$ на востоке Предкавказья. В горах температура понижается и на высоте 2500 м составляет $+10^{\circ}\text{C}$ (на станции Эльбрус, высота 4250 м, температура $+1.5^{\circ}\text{C}$). В начале лета усиливается циклональная деятельность, и максимум осадков приходится на июль. Во 2-й половине лета возникают засухи. Годовая сумма осадков уменьшается с запада на восток и возрастает от предгорий к горам. В Предкавказье количество осадков изменяется от 700 мм на Ставрополье до 350 мм на востоке. На Черноморском побережье осадки быстро нарастают от 700 мм в Новороссийске до 1600 мм в районе Сочи. В высокогорьях западного Кавказа в год выпадает до 2000-3000 мм осадков (максимум для России - станция Ачишхо на юго-западном склоне Большого Кавказа – свыше 3700 мм), на восточном Кавказе выпадает 1000-1500 мм.

Речная сеть хорошо развита. Почти все реки берут начало в горах. Крупнейшие реки: Кубань (длина 900 км) и Терек (590 км). Бассейну Каспия принадлежат: Терек, Кума, Самур; Черному морю – Мзымта, Сочи; Азовскому – Кубань. Эти реки имеют горный характер, зимой не замерзают и несут много взвешенного материала (мутные). В Предкавказье есть равнинные реки: Калаус, Маныч, Ея, Бейсуг и др. Почти на всех реках региона половодье летом. Питание ледниковое, снеговое и дождевое. Озер не много. Близ побережья Каспийского и Азовского морей – лагунные и лиманные озера. В горах есть каровые озера; в известняках куэстовых гряд – карстовые озера. На Кавказе насчитывается почти 1500 ледников. Снеговая граница лежит на западном Кавказе на высоте около 3000 м, а на восточном

3500-4000 м. Наибольшее оледенение в Центральном Кавказе – ледниковый комплекс Эльбруса. Двуглавый Эльбрус покрыт снежно-ледниковой шапкой диаметром около 10 км. Крупнейший длинный ледник Кавказа – ледник Безенги (длина более 17 км). На восточном Кавказе из-за сухости климата оледенение развито слабее.

1.3. Многолетние климатические данные Северного Кавказа

Сложный рельеф и географическое расположение территории Северного Кавказа обуславливают достаточно высокую грозовую активность в регионе. Территориальное распределение грозовых процессов и их интенсивность обуславливаются характером термобарического поля средней тропосферы и направление перемещения воздушных масс в приземном слое атмосферы. Основные климатические характеристики Северного Кавказа можно рассмотреть на основе климатических данных трёх действующих метеостанций региона (Пятигорск, Нальчик, Ставрополь), представленных в таблице 1.

Метеостанция	Значения климатических показателей												
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
<i>Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С</i>													
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

Метеостанция	Значения климатических показателей												
	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
<i>Ср. месячная и годовая скорость ветра, м/с</i>													
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
<i>Ср. месячное и годовое парциальное давление водяного пара (гПа)</i>													
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
<i>Ср. месячная и годовая отн. влажность воздуха (%)</i>													
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
<i>Ср. месячное и годовое количество осадков (мм)</i>													
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
<i>Ср. месячное и количество общей (о) и нижней (н) обл-ти (баллы)</i>													
Пятигорск	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
	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
Нальчик	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
	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	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
	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

В процентном соотношении грозы на Северном Кавказе отмечаются при переносе воздушных масс с северо-запада на юго-восток в 50 процентах случаев, при северном вторжении воздушных масс – в 30 процентах случаев, и минимальное количество случаев в условиях малоградиентного барического поля в средней атмосфере, когда над центральной частью Кавказа располагается ложбина или очаг холода.

Обычно грозовая активность на территории Северного Кавказа характерна для тёплого времени года. В зимние месяцы грозы могут наблюдаться на Черноморском побережье, но редко. В среднем 1-2 дня в месяц. При удалении от моря число зимних гроз уменьшается.

В таблице 2 представлены данные количества дней, когда регистрировалась гроза, по декадам четырёх месяцев, полученные по результатам многолетних наблюдений.

Характеристики грозы	Значения характеристик 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	3	4	4	5	3	4	-	2	1
Продолжительность грозы, ч	2.5	3.4	3.3	4,8	3,4	3.5	4	2	2,2	2.5	1.7	1.2

Таблица 2 – Число дней с грозой и продолжительность гроз на СК

Наибольшая повторяемость гроз отмечается в 1-й декаде июля.

Среднегодовое значение количества дней с грозой составляет 41 день со средним квадратичным отклонением 7. Максимальное значение продолжительности грозовой активности зафиксировано в первой декаде июня (4.8 часа), минимальное значение – в третьей декаде августа (1.2 часа).

Число дней с грозой на разных метеостанциях Кавказского региона может различаться. Неоднородность грозовой активности над районами может зависеть от таких факторов, как:

а) сложная орография (наличие гор, впадин), которая усиливает или ослабляет развитие грозы; существенное влияние оказывает направленность основных составляющих рельефа к ведущему потоку: Кавказский хребет обуславливает преимущественный перенос воздушных масс с северо-запада на юго-восток;

б) концентрация промышленности в городах и, как следствие, повышенный выброс в атмосферу пыли, являющейся ядрами конденсации и кристаллизации, способствует развитию процессов облако- и осадкообразования над этими районами и, следовательно, грозовой активности; также влияет повышенный теплообмен с атмосферой над городами;

в) различия в значениях средних многолетних температурно-влажностных характеристик подстилающей поверхности и значениях температуры и влажности у поверхности земли обеспечивают неоднородность распределения грозовой активности

Глава 2. Гроза как опасное явление для авиации

Гроза - комплексное атмосферное явление с многократными электрическими разрядами в виде молний, сопровождающихся громом. Гроза связана с развитием мощных кучево-дождевых облаков. При грозах наблюдаются интенсивные ливневые осадки в виде дождя, града, а иногда и снега. Сухие грозы без осадков у земной поверхности наблюдаются сравнительно редко.

Гроза является одним из наиболее опасных для авиации явлением погоды.

Опасность гроз обуславливается:

- интенсивной турбулентностью в облаках, способной вызвать сильную болтанку и перегрузки, превышающие предельно допустимые значения;
- сильным обледенением на высотах, где температура воздуха опускается ниже 0 °С;
- вероятностью поражения самолета молниями;
- сильными ливневыми осадками.

2.1. Стадии развития грозового облака и степень их опасности для авиации

Электрическая структура грозового облака определяется его гидродинамической и микрофизической структурой.

Начиная с классической работы Байерса и Брейама известно, что Сб может состоять из одной или нескольких (до 5-10) конвективных ячеек, каждая из которых на протяжении жизни облака проходит через три стадии эволюции.

1. Начальная стадия развития

Эта стадия начинается от зарождения облака и заканчивается выпадением первых капель дождя. Сначала это обычное кучевое облако, которое постепенно трансформируется в мощное кучевое. Нижняя граница таких облаков колеблется в пределах 800 - 1500 м, а верхняя - 3-5 км. Восходящие

вертикальные токи в облаках могут достигать 15-20 м/с, а нисходящие токи очень слабые.

Эта стадия развития кучево-дождевого облака наименее опасна для полетов. В зоне облака может наблюдаться слабая или умеренная турбулентность и слабое или умеренное обледенение в зоне отрицательных температур.

2. Стадия зрелого облака

Стадия зрелого облака начинается с момента выпадения первых капель дождя, что свидетельствует о появлении кристаллов в облаке, и заканчивается началом его разрушения. На этой стадии нижняя граница облака понижается до 300-500 м, верхняя граница может достигать высоты 8-15 км, иногда достигает тропопаузы. Внешне облако приобретает вид наковальни, так как верхняя часть облака горизонтально более развита, чем нижняя часть. У земли наблюдаются сильные ливневые осадки, электрические разряды, не исключено выпадение града. В облаке всегда сильная и очень сильная турбулентность и сильное обледенение. Восходящие токи в облаке могут достигать 50 м/с, а нисходящие по краям облака - 30 м/с. В передней части кучево-дождевого облака (по ходу его движения) у земли образуется «крутящийся вал», шквал или смерч. Из этого делаем вывод, что в этой стадии грозовое облако наиболее опасно для полетов, и полеты в таких облаках запрещены.

3. Стадия рассеяния

Эта стадия развития облака продолжается от начала его разрушения до момента трансформации в облака других форм. При этом, как правило, образуются облака различных ярусов, небольшие по своей вертикальной мощности и не очень опасные для полетов. Вертикальные токи в таких облаках направлены как вверх, так и вниз, но их скорость не превышает 5 м/с. В такой облачности может наблюдаться слабая турбулентность и слабое обледенение.

В среднем, продолжительность жизни грозового облака составляет приблизительно 5 ч. Подчёркиваю, что это именно средняя величина. Все три стадии развития облака могут «уложиться» как в один час, а то и меньше, так и могут протекать до 10 ч и более.

В период образования облака происходит его электризация. После накопления больших объемных электрических зарядов и достижения между облаками или между облаком и землей напряженности электрического поля, превышающей пробивную напряженность, возникают молнии, опасность которых для авиации чрезвычайно велика.

2.2. Виды гроз

Рассмотренные выше стадии грозового облака могут развиваться по-разному, в зависимости от влагосодержания воздушной массы, контраста температур в зоне атмосферного фронта и рельефа местности, над которой проходят кучево-дождевые облака. Обычно грозы делят на внутримассовые и фронтальные.

Внутримассовые грозы бывают конвективные (тепловые), адвективные и орографические.

Тепловые грозы чаще всего возникают в размытом барическом поле во второй половине дня. Эти грозы имеют небольшие размеры и смещаются с незначительной скоростью (10-15 км/ч). Однако внутримассовые кучево-дождевые облака «приносят» много молний, града и сильных ливней. Ветер при тепловых грозах слабый, только перед самой грозой наблюдается кратковременное его усиление. Температуры воздуха у земли при таких грозах обычно высокие (выше 22—25 °С). Тепловые грозы во время полета легко обойти из-за их небольших размеров.

Адвективные грозы возникают после прохождения холодных фронтов в массах морского умеренного воздуха. Эти грозы могут развиваться при низких температурах и имеют большую скорость смещения. Очаги адвективных гроз обычно изолированы.

Орографические грозы возникают не только в горах, но даже и в холмистой местности, когда рельеф и направление движения воздушных масс способствует увеличению вертикальных токов. Фронтальные грозы подразделяются на грозы холодного фронта, теплого фронта и фронтов окклюзии.

Грозы на холодном фронте возникают над поверхностью холодного фронта. Эти грозы обычно растянуты вдоль линии фронта и имеют ширину 50-70 км. Средняя скорость смещения грозовых зон составляет 30-40 км/ч, однако иногда они могут смещаться и со скоростью 100 км/ч. Разрывы между отдельными кучево-дождевыми облаками достигают 10-20 км, поэтому обойти такие грозы сбоку от облака, не нарушая установленных норм безопасности, достаточно сложно. Грозы на холодных фронтах усиливаются во второй половине дня и ослабевают ночью.

Грозы на теплом фронте наблюдаются сравнительно редко. Они возникают при подъеме теплого и влажного воздуха. Такие условия чаще всего возникают при выходе на ЕЧР циклонов с Черного или Средиземного морей. Кучево-дождевые облака на теплом фронте почти всегда маскированы, а следовательно, самолет попадает в такую облачность внезапно. Для определения местоположения кучево-дождевых облаков в полете следует использовать бортовые РЛС, а обходить такие грозы нужно только сверху, выполняя полет выше верхней границы облачности.

Грозы на теплом фронте усиливаются ночью и ослабевают в дневное время. Это обусловлено тем, что в ночное время (после захода солнца) верхняя граница облачности перестает «нагреваться» и начинает излучать тепло. В результате температура верхней границы облачности понижается, что приводит к увеличению вертикального градиента температуры в облаке, появлению неустойчивой стратификации и возникновению кучево-дождевой облачности вместо слоисто-дождевой.

Грозы на фронтах окклюзии могут наблюдаться в любое время суток, однако чаще они бывают на холодных фронтах окклюзии, а следовательно,

во второй половине дня. Эти грозы практически никогда не бывают сплошными, и в полете их можно достаточно спокойно обойти.

2.3 Электрическая структура грозового облака

Молнии и другие электрические явления в грозовой облачности указывают на присутствие в облаках больших электрических зарядов. Было доказано, что заряды в облаке располагаются определённым образом, и заряды одного знака концентрируются над зарядами другого знака. Такое облако считается «биполярным», так как оно имеет положительную полярность, если наверху находится положительный заряд, и отрицательную полярность в противоположном случае

Было установлено, что, как правило, структура распределения электрических зарядов зрелых грозовых облаков представляет собой триполь.

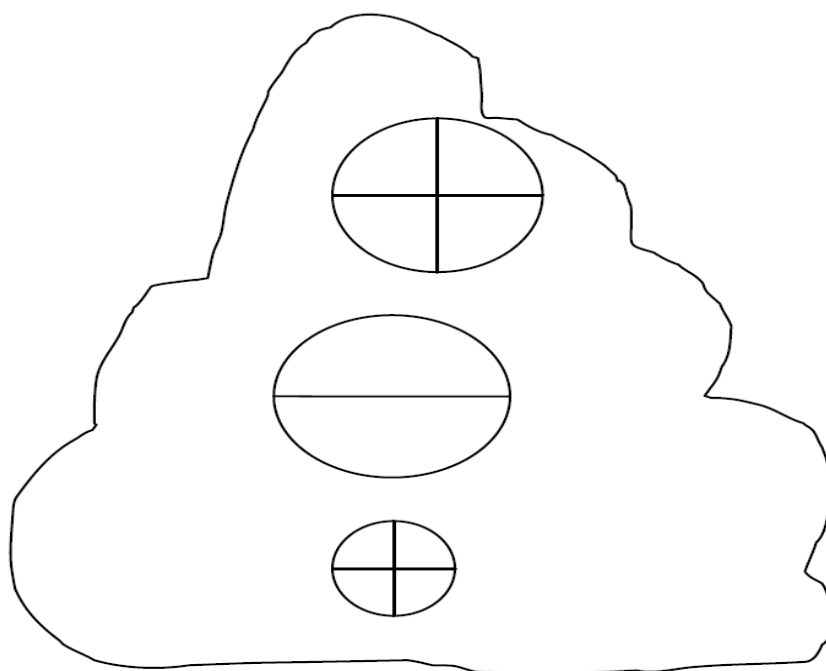


Рис. 1. Схематическое изображение триполя.

Триполь состоит из определяющих области избыточного заряда (т.е. в этой области присутствуют частицы с отрицательными и положительными зарядами, но преобладают отрицательно заряженные частицы),

расположенного в центральной части облака между изотермами $-5 \text{ } ^\circ\text{C}$ и $-25 \text{ } ^\circ\text{C}$. Область избыточного положительного заряда располагается в верхней части облака. Кроме того, в нижней части облака располагается вторая, более локализованная область избыточного положительного заряда. Область избыточного положительного заряда располагается в верхней части облака. Кроме того, в нижней части облака располагается вторая, более локализованная область избыточного положительного заряда.

Наглядное распределение заряда в грозовом облаке представлено на рис. 2

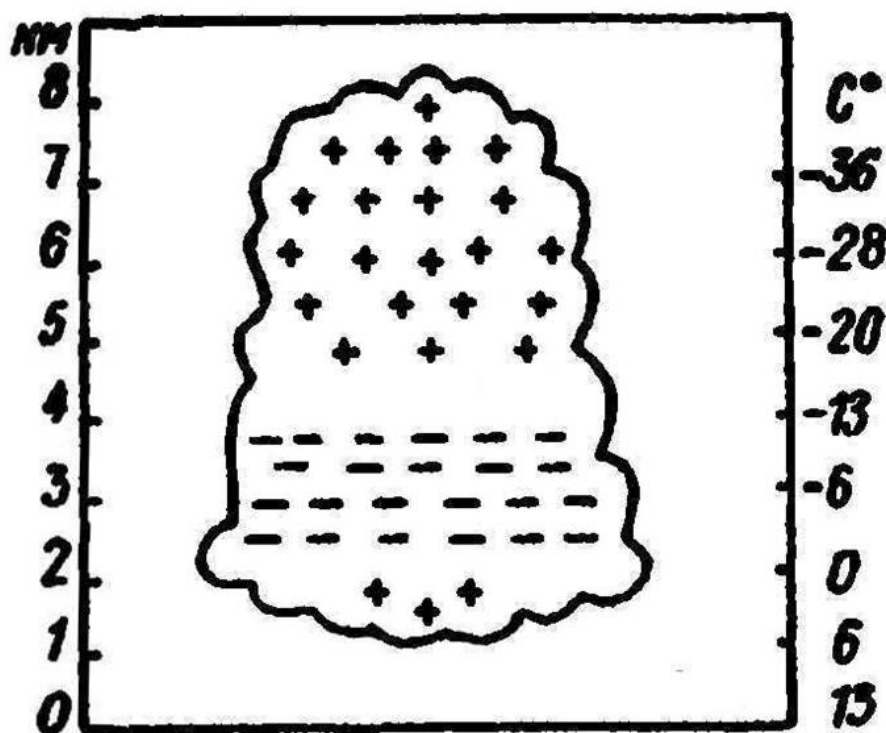


Рис. 2 – Схема распределения электрических зарядов в грозовом облаке

Кроме описанного положительно поляризованного грозового облака в редких случаях наблюдаются отрицательно поляризованные облака, верхняя часть которых несет избыточный отрицательный заряд, центральная – положительный. Основные заряженные области облака имеют размеры порядка километров. Значения зарядов в основных областях облака (положительной и отрицательной) приблизительно одинаковы, среднее значение в умеренных широтах составляет около 25 Кл.

По современным представлениям заряд облака локализован на отдельных гидрометеорах (градинах, каплях, снежинках). Существует несколько механизмов возникновения зарядов в облаках:

1) Электризация капель при захвате ими ионов (элементарно заряженных частиц приблизительно молекулярных размеров, появляющимися в атмосфере под действием излучения радиоактивных веществ и космических лучей).

2) Электризация при фазовых переходах. Существенный вклад в образовании электрических зарядов вносит процесс замерзания переохлажденных капель воды. Кристаллизация капли начинается с её поверхности. Затем фронт кристаллизации распространяется внутрь капли. В жидкой и твердой фазах воды происходит диссоциация (расщепление) молекул H_2O на положительный ион водорода H^+ и отрицательный ион гидроксида OH^- . Так как концентрация ионов H^+ и OH^- в твердой фазе меньше, чем в жидкой, то возникает поток ионов H^+ и OH^- через фронт кристаллизации из жидкой фазы в твердую. Более подвижные ионы H^+ быстрее проникают в твердую фазу, создавая во льду избыточный положительный заряд. Когда замерзает сердцевина капли, то вследствие ее расширения ранее замерзший поверхностный слой лопается и его положительно заряженные осколки поднимаются потоком воздуха в верхние части облака.

3) Электризация, возникающая в результате взаимодействия облачных гидрометеоров. Столкновение различных гидрометеоров приводит к их взаимной электризации, разделению зарядов, при слиянии частица-коллектор приобретает заряд объединяющихся частиц.

2.4. Молнии

Молния – видимый электрический разряд между облаками, отдельными частями одного облака или между облаком и земной поверхностью. Разряд молнии происходит при напряженности

электрического поля атмосферы, достигающей 25 – 50 кВ/м и выше. Разность потенциалов на пути молнии может достигать сотен миллионов вольт. Сила тока в молнии порядка десятков тысяч ампер; количество электричества, переносимое одной молнией, порядка 20 – 50 Кл и более.

Молнии, которые представляются наблюдателю в виде ярко светящихся зигзагообразных линий с многочисленными разветвлениями, называются линейными. Такие молнии наиболее изучены, они сопровождаются электромагнитными, тепловыми и электродинамическими воздействиями на поражаемые или находящиеся в зоне их влияния объекты. Это частый и типичный вид молнии. Заряды, переносимые линейными молниями из атмосферы в Землю, в значительной мере определяют действие глобальной электрической цепи Земля–атмосфера.

2.4.1. Типы линейных молний

По направлению развития линейные молнии определяются как нисходящие и восходящие. Нисходящие молнии возникают в грозовых облаках и развиваются по направлению к Земле. Восходящие молнии возбуждаются у вершин заземленных сооружений и развиваются по направлению к облаку.

В зависимости от знака заряда облака молнии могут быть отрицательные (переносятся отрицательные заряды) или положительные. Из структуры грозового облака следует, что в некоторых случаях они могут быть биполярными, например, сначала на землю проходит отрицательный ток, а потом его полярность меняется на положительную.

Наряду с завершенными разрядами, образующими канал облако–земля, могут быть и незавершенные разряды. В последнем случае канал прекращает свое развитие, не доходя до противоположного электрода – земли или облака.

Это может происходить из-за быстро меняющихся условий в недостаточно зрелом грозовом облаке.

2.4.2. Стадии развития линейной молнии

У нисходящей отрицательной молнии обычно можно выделить три основные стадии развития: лидерную, главную и финальную .

1) Лидерная стадия.

Искровой разряд начинается с объединения нескольких стриммеров – отдельных разрядов, «сети проводящих нитей» .Стриммерные процессы обеспечивают необходимую плотность энергии для термоионизации воздуха . При достижении пробойных значений напряженности от облака к поверхности Земли развивается поток электронов, вызывающих ударную (лавинообразную) ионизацию воздуха. Такой поток называется лидером . Объемный заряд, сконцентрированный в области головки лидера, создает поле, инициирующее интенсивную ионизацию. В результате ионизации нейтральный воздух превращается в плазму, характеризующуюся высокой проводимостью при температуре 5000 – 6000 К. Лидерный процесс развивается со средней скоростью 105 –205 м/с и продолжается (в видимой с земли части) 10 – 30 мс.

Ток в лидерной стадии молнии имеет порядок десятков и сотен ампер.

2) Главная стадия.

Начинается с момента контакта лидера с поверхностью Земли или заземленным объектом. Чаще всего, это не непосредственный контакт. От вершины объекта может возникнуть и двигаться навстречу лидеру молнии собственный лидерный канал, называемый встречным лидером. После контакта заряд лидера стекает в Землю. При этом возникает обратная волна тока и напряжения. Она движется вверх по плазменному каналу, вызывая частичную нейтрализацию и перераспределение заряда, накопленного во время развития лидера. Движение сопровождается усилением яркости свечения канала, особенно на фронте волны .Сила тока в среднем равна 30 кА, а в наиболее мощных молниях достигает 200–250 кА. Перенос столь

сильного тока сопровождается интенсивным выделением энергии. В результате этого газ в канале быстро нагревается и расширяется; возникает ударная волна, воспринимаемая как гром. Длительность главной стадии может составлять сотни микросекунды .

3) Финальная стадия

В финальной стадии продолжается перенос заряда к земле по каналу молнии, в основном за счет разрядных явлений в облаках. Процесс идет менее интенсивно сопровождается током $10 - 10^3$ А, который протекает по каналу в течение миллисекунд .

2.4.3. Компоненты молнии

Лидерная, главная и финальная стадии образуют первую компоненту нисходящей отрицательной молнии. Как правило, за первой компонентой следует несколько так называемых последующих. Каждая последующая компонента состоит из лидерной стадии, вновь заряжающей канал молнии, и главной стадии, его разряжающей. Как и у первой компоненты, возможна финальная стадия. Каждая из компонент, вероятно, возникает в результате вовлечения в процесс разряда новых скоплений зарядов в грозовом облаке – заряженных грозовых ячеек.

Первая компонента восходящей отрицательной молнии состоит из лидерной и финальной стадий и не содержит главной стадии, так как ее лидер по завершении своего развития соприкасается не с поверхностью земли, а с малопроводящим облаком. Лидер последующих компонент восходящих молний всегда продвигается по направлению к земле, таким образом структура этих компонент не отличается от структуры последующих компонент нисходящей молнии.

Полная длительность разряда молнии в зависимости от числа компонент и времени пауз между ними может варьировать от миллисекунд до секунд.

2.5. Особенности выполнения полетов в зоне грозовой деятельности

Гроза, безусловно, одно из самых опасных для авиации явлений погоды. Поэтому работникам гражданской авиации и сотрудникам АМСГ необходимо осуществлять все меры, предусмотренные для выполнения полетов без авиационных происшествий и предпосылок к ним. Какие-либо нарушения и упущения при организации, обеспечении и выполнении полетов и управлении воздушным движением недопустимы.

Практика выполнения полетов показывает, что в ряде районов страны грозовая деятельность является основной причиной нарушения регулярности воздушного движения и предпосылок к летным происшествиям. Установлено также, что все самолеты могут подвергаться атмосферным электрическим разрядам, причем с увеличением размеров и скорости полета самолетов вероятность этого увеличивается. Данное обстоятельство требует от пилотов и работников службы движения тщательной оценки метеорологических условий полетов, что и предусматривается основными руководящими документами, регламентирующими летную работу.

Экипаж в полете должен внимательно следить за состоянием атмосферы и условиями полета. Если предстоит подход к зоне грозовой деятельности или сильных ливневых осадков, командир воздушного судна должен оценить возможность продолжения полета и принять соответствующее решение на обход зоны, непременно согласовав свои действия с органами управления воздушным движением.

В случае визуального обнаружения в полете мощных кучевых и (или) кучево-дождевых облаков, примыкающих к грозовым очагам, разрешается обходить их на удалении не менее 10 км. Если нет возможности обойти указанные облака на заданной высоте, разрешается визуальный полет под облаками или выше их. Под облаками полет разрешается только днем, вне зоны осадков, причем высота полета над рельефом местности и искусственными препятствиями должна быть не менее безопасной высоты

полета (200 м над равнинной и холмистой местностью и 600 м в горной местности). Расстояние от высоты полета до нижней границы облака не должно быть при этом менее 200 м. В случае полета над облаками расстояние от верхней границы облака и высотой полета не должно быть менее 500 м.

Если на самолете есть бортовая РЛС, то экипажу разрешается обходить мощные кучевые и кучево-дождевые облака на удалении не менее 15 км от ближней границы засветки. Пересекать фронтальную облачность с отдельными грозowymi очагами можно в том месте, где расстояние между границами засветок на экране бортовой РЛС не менее 50 км.

В тех случаях, когда предстоит взлет или посадка в условиях сильного ливня, экипаж должен хорошо представлять степень ухудшения летных и аэродинамических характеристик ВС.

Если в полете экипаж обнаруживает вертикальные вихри, то такие вихри самолет должен обходить стороной, а вихри, связанные с кучево-дождевой облачностью, должен обходить на расстоянии не менее 30 км от их видимых боковых границ.

При полете в зоне грозовой деятельности также должны осуществляться меры безопасности полета на случай встречи с сильным сдвигом ветра, электрическими разрядами, обледенением и другими явлениями. Полный перечень всех явлений и меры безопасности, которые должен принять экипаж, предусмотрены и описаны в Наставлении по производству полетов и в Руководстве по летной эксплуатации воздушного судна данного типа.

2.6. Случаи поражения атмосферным электричеством воздушных судов за 2018-2020 г.

1. 15 марта 2018 г.

В 11.05 UTC (14.05 МСК) самолет А-321 № VQBQJ, принадлежащий авиакомпании «S7» и выполнявший рейс № SBI1046 по маршруту: Сочи-Москва (Домодедово), после взлёта из аэродрома Сочи при наборе высоты в условиях грозовой деятельности на эшелоне FL060 (1800 м), был поражен разрядом атмосферным электрическим разрядом. Сбоев в работе силовых установок, аэронавигационного и электрооборудования не зафиксировано. Экипаж продолжил полёт на аэродром назначения. Пострадавших нет.

На послеполетном осмотре обнаружены следы воздействия атмосферного электричества на носовом обтекателе.

2. 2 марта 2019

В 02.24 UTC (05.24 МСК) самолет В-737 № VPBLD, принадлежащий авиакомпании «Глобус» и выполнявший рейс № ГЛП 1022 по маршруту: Сочи (Адлер)-Москва (Домодедово), был поражен разрядом атмосферного электричества. При взлёте с аэродрома Сочи в условиях кучево-дождевой деятельности в 02.24 UTC на эшелоне FL020 (600 м) экипаж доложил о попадании электрического разряда в воздушное судно, сбоев в работе силовых установок, аэронавигационного и электрооборудования не зафиксировано, экипаж продолжил полёт на аэродром назначения. Посадка на аэродроме Москва (Домодедово) в 04.21 UTC произведена благополучно. Пострадавших нет. ВС не повреждено.

3. 23 марта 2019

В 03.25 UTC (06.25 МСК) самолет В-737-800 № VP-BPL, принадлежащий авиакомпании «Победа» и выполнявший рейс № DP-338 по маршруту: Казань-Сочи (Адлер), был поражен разрядом атмосферного электричества. Со слов экипажа: при заходе на посадку в аэропорту Сочи

на удалении 26-30 км от аэродрома на высоте FL030 (900 м), при подлете к четвертому развороту, произошло поражение ВС разрядом атмосферного электричества. Сбоев в работе силовых установок, аэронавигационного и электрооборудования не зафиксировано. Посадка на аэродроме Сочи (Адлер) в 03.31 UTC произведена благополучно. Пострадавших нет. На послеполетном осмотре обнаружены многочисленные точечные повреждения лакокрасочного покрытия ВС и заклепок. Следы попадания заряда были обнаружены в левой части ВС рядом с кабиной пилотов и следы выхода заряда из ВС - выше линии иллюминаторов в районе левого и правого крыла.

4. 28 марта 2019

В 07.31 UTC (10.31 МСК) самолет А-320 № VQBSJ, принадлежащий авиакомпании «Аэрофлот» и выполнявший рейс № AFL1758 по маршруту: Москва (Шереметьево)-Волгоград, был поражен разрядом атмосферного электричества. При выполнении захода на посадку на высоте 4400 футов произошло поражение ВС разрядом атмосферного электричества. Экипаж продолжил полёт на аэродром назначения. Посадка на аэродроме Волгоград в 07.38 UTC произведена благополучно. Пострадавших нет. В ходе послеполетного осмотра обнаружены следы от поражения разрядом атмосферного электричества на обтекателе РЛС.

5. 5 мая 2019

В 15.31 UTC (18.31 МСК) самолет RRJ-95 № RA-89098, принадлежащий авиакомпании «Аэрофлот» и выполнявший рейс № SU-1492 по маршруту: Москва (Шереметьево)-Мурманск (Мурмаши), потерпел катастрофу в ходе выполнения посадки на аэродроме Москва (Шереметьево). В ходе посадки при возврате на аэродром вылета из-за технических проблем, возникших в результате поражения ВС электрическим разрядом (после взлета, на высоте 2700 м экипаж доложил

о попадании молнии в ВС и возникшей после этого неисправности и принял решение вернуться в аэропорт вылета), при касании ИВПП ВС грубо приземлилось, в результате чего загорелось. На борту находилось 78 человек (5 членов экипажа и 73 пассажира, погиб 41 человек - 1 член cabinного экипажа (стюард) и 40 пассажиров), ВС частично сгорело.



6. 29 мая 2019

В 12.10 UTC (15.10 МСК) самолет А-319 № VQ-BOX, принадлежащий АО «Авиакомпания «Россия» и выполнявший рейс № СДМ 6564 по маршруту: Сочи (Адлер) - Санкт-Петербург (Пулково), был поражен разрядом атмосферного электричества. На этапе снижения для захода на посадку в аэропорту Санкт-Петербург (Пулково), на высоте около 6000 футов (1820 м) КВС доложил в ОрВД о попадании молнии в ВС. Согласно рапорту КВС разряд атмосферного электричества зафиксирован с правой стороны ВС. Отказов в работе систем не произошло. Заход продолжен. Посадка в аэропорту Санкт-Петербург (Пулково) произведена благополучно в 12.26 UTC. Пострадавших нет. В ходе послеполетного осмотра обнаружены следы воздействия атмосферного электричества в

районе зоны приемников статического давления и на вертикальном стабилизаторе.

7. 7 июля 2019

В 19.06 UTC (00.06 местного времени 08.07.2019, 22.06 МСК) самолет А-321 № VP-BRB, принадлежащий ЗАО Авиакомпания «RED WINGS» и выполнявший рейс № RWZ-4010 по маршруту: Анталия (Турция) - Челябинск (Баландино), был поражен разрядом атмосферного электричества. В ходе выполнения посадки в аэропорту Челябинск (Баландино) - удаление от КТА и высота полета не установлены, произошло поражение ВС разрядом атмосферного электричества. Сбоев в работе силовых установок, аэронавигационного и электрооборудования не зафиксировано. Посадка на аэродроме Челябинск (Баландино) в 00.06 UTC произведена благополучно, пострадавших нет. На послеполетном осмотре выявлено оплавление трубки «Пито», ослабление заклепок на обшивке слева по борту.

8. 29 июля 2019

В 23.19 UTC (09.19 местного времени 30.08.2019, 02.19 МСК) самолет Boeing 773 № EIXLP, принадлежащий авиакомпании «Россия» и выполнявший рейс № 6281 по маршруту: Москва(Шереметьево) - Владивосток (Кневичи), был дважды поражен разрядом атмосферного статического электричества. В ходе выполнения посадки в аэропорту Владивосток (Кневичи) по докладу экипажа на эшелонах FL 170 в 23.19 UTC и FL 120 в 23.23 UTC, на снижении, в правую часть ВС дважды попал разряд атмосферного статического электричества. Сбоев в работе силовых установок, аэронавигационного и электрооборудования не зафиксировано. В 23.37 UTC посадка на аэродроме Владивосток (Кневичи) произведена благополучно. Пассажиров на борту было 371 человек, пострадавших нет.

9. 23 января 2020

В 08.45 UTC (11.45 МСК) самолет А-321 № VQ-BQH, принадлежащий авиакомпании «S7 Airlines» и выполнявший рейс № СБИ 2043 по маршруту: Москва (Домодедово) - Сочи (Адлер), был поражен разрядом атмосферного электричества. В процессе снижения при заходе на посадку в аэропорту Сочи (Адлер), в районе четвертого разворота произошло поражение ВС электрическим разрядом в носовую часть ВС. Силовые установки, электрооборудование и навигационное оборудование работали в штатном режиме. Экипаж продолжил заход на посадку. В 08:49 UTC посадка ВС благополучно. Пострадавших нет. На послеполётном осмотре обнаружены следы оплавления и повреждения (три входных и два выходных оплавленных отверстия) электрическим разрядом носового обтекателя РЛС, а также следы копоти. Обратный рейс отменён по технической причине.



Глава 3. Существующие методы прогноза, диагноза и контроля гроз.

В 2020 году существует довольно большое количество методов прогноза грозовой облачности, основанных на параметрах неустойчивости атмосферы, при анализе которых определяют вероятность появления опасных грозовых облаков. Широко используются методы активно-пассивной радиолокации радиометрических измерений. На основании получаемых радиолокационных и радиационных данных были установлены корреляционные связи, в том числе «критерии грозоопасности», которые активно используются в практической работе для прогноза и диагноза электрических явлений. Критерии, в свою очередь, носят вероятностно-статистический характер, представляющие собой дискриминантные функции, разделяющие конвективные облака с разрядами и без разрядов. Одной из проблем является то, что самолёты, ракеты и т.п. могут спровоцировать разряды молний в негрозоопасных облаках как вертикального развития, так и в слоистой облачности. Залогом достоверного прогноза является качественный анализ параметров неустойчивости атмосферы.

Основными неблагоприятными условиями для возникновения кучево-дождевой облачности, и связанных с ней гроз являются:

- высокое влагосодержание воздуха у поверхности земли и на высотах;
- значительная неустойчивость воздушной массы (большие вертикальные градиенты температуры);
- относительно низкое положение изотермы -10°C , около которой располагается уровень интенсивной кристаллизации;
- большая вертикальная протяженность кучево-дождевых облаков;
- неоднородная подстилающая поверхность.

3.1. Основные методы прогноза гроз

3.1.1. Методы прогноза гроз, основанные на адиабатической модели (метод частицы)

Самым простым и доступным методом прогнозирования гроз считается метод частицы. Синоптик обрабатывает аэрологическую диаграмму, основываясь на данных температурно-ветрового зондирования атмосферы. На полученной диаграмме строится кривая состояния, которая показывает как изолированный объём воздуха (другими словами - частица) будет изменять свою температуру на разных высотах.

Подъёмная сила, действующая на частицу, пропорциональна разности плотностей окружающей среды и данной частицы. Эта сила сообщает частице ускорение , пропорциональное на каждом уровне разности температур частицы и окружающего воздуха. Если частица на каждом уровне внутри одного из слоёв оказывается теплее окружающего воздуха, то она будет подниматься с ускорением в слое и на его верхней границе будет обладать кинетической энергией, называемой энергией неустойчивости. Энергия неустойчивости положительна, когда кривая состояния ограничивает эту площадь справа, и , наоборот, отрицательна , когда кривая состояния лежит левее кривой стратификации. На высоте пересечения кривой состояния с кривой стратификации, где $T_2=T$, ускорение частицы стремится к нулю. При этом её скорость на этом уровне должна быть максимальной. Частица по инерции продолжает подниматься в вышележащем устойчивом слое, замедляясь под действием силы плавучести, направленной вниз. Скорость частицы должна обратиться в ноль на том уровне, где её кинетическая энергия будет потрачена на работу против силы плавучести.

3.1.2. Метод Н.В. Лебедевой

Применение метода частицы к прогнозу ливневых осадков в СССР наиболее успешно осуществила Н.В.Лебедева. Она предложила по данным

утреннего температурно-ветрового зондирования рассчитывать определенные параметры конвекции, по которым и определяется возможность возникновения конвективных явлений. К этим параметрам относятся:

- Суммарный дефицит точки росы (ΣD , °C) на изобарических уровнях АТ850, АТ700, АТ500. Эта сумма учитывает влияние вовлечения и характеризует возможность образования облачности в слое АТ850-АТ500. Если суммарный дефицит точки росы больше 25 °C, то дальнейшие расчеты не имеют смысла, так как в нижней половине тропосферы при большой сухости воздуха конвекция не приводит к образованию облаков вертикального развития. Если же этот суммарный дефицит точки росы меньше либо равен 25 °C, переходят к расчету следующего параметра;

- Дефицит температуры точки росы у земли или на верхней границе приземной инверсии на момент максимального развития конвекции (D_0 , °C). Если этот параметр больше 20 °C, то дальнейшие расчеты не производятся. Это связано с тем, что уровень конденсации расположен на высоте более 2,5 км. Следовательно, при такой высоте нижней границы облачности (уровня конденсации) осадки не будут достигать поверхности земли, так как они попросту будут испаряться по пути к земле. Если же уровень конденсации расположен ниже 2 км и для возникновения конвекции существуют благоприятные условия, то в этом случае следует определять все остальные параметры;

- Толщина Конвективно-Неустойчивого Слоя (КНС) ($\Delta H_{кнс}$, гПа). Каждая частица этого слоя будет участвовать в конвекции до больших высот. Чем больше толщина КНС, тем больше вероятность образования кучево-дождевой облачности, и тем больше вероятность развития грозовой деятельности;

- Уровень конденсации ($H_{конд.}$, км). Уровень конденсации указывает среднее положение высоты нижней границы кучево-дождевой облачности. Определение его высоты также производится по аэрологической диаграмме;

- Уровень конвекции ($H_{\text{конв.}}$, км). Уровень конвекции позволяет определить среднее положение вершин кучево-дождевых облаков. Нетрудно догадаться, что чем выше этот уровень, тем более мощной должна быть грозовая облачность;
- Температура воздуха на уровне конвекции ($T_{\text{конв.}}$, °C). Замечено, что чем ниже эта температура, тем более вероятны ливни и грозы;
- Средняя величина отклонения температуры на кривой состояния (T_2) от температуры на кривой стратификации (T). Это отклонение обозначается ΔT и определяется по формуле:

$$\Delta T = \sum_{i=1}^n \frac{(T_2 - T)}{n}$$

где: T_2 и T - температуры на кривой состояния и кривой стратификации, соответственно на уровнях, кратных 100 гПа, n - число целых слоев толщиной по 100 гПа, начиная от уровня конденсации и заканчивая уровнем конвекции. Чем больше ΔT , тем больше неустойчивость воздуха, и, как следствие, тем интенсивнее может развиваться конвекция;

- Средняя вертикальная мощность конвективных облаков ($\Delta H_{\text{к.о.}}$, км). Этот параметр определяется, как разность высот уровня конвекции и уровня конденсации. Чем больше эта величина, тем более вероятнее возникновение конвективных явлений и тем больше их интенсивность. Оценивается возможность возникновения конвективных явлений и их интенсивности по следующей таблице 2.1:

ΣD	D_0	$\Delta H_{\text{кнс}}$	$H_{\text{кнс}}$	$H_{\text{конд}}$	$T_{\text{конв}}$	ΔT	$\Delta H_{\text{к.о.}}$	Конвективные явления
> 25	> 20	-	-	-	-	-	-	Не ожидаются
<=25	<=16	>10	~1.5	> 6	<=23	>4	~4.5	Слаб.ливн.дождь
<=20	<=14	>20	~1.5	> 5	-23,-1	>=3	>3.5	Лив.дождь без гроз
<=20	<=14	>30	~1.5	> 8	<=23	>=3	>6.5	Лив.дождь без гроз
ΣD	D_0	$\Delta H_{\text{кнс}}$	$H_{\text{кнс}}$	$H_{\text{конд}}$	$T_{\text{конв}}$	ΔT	$\Delta H_{\text{к.о.}}$	Конвективные явления
<=16	~10	>60-100	1.5 -1.0	> 8	<=23	>=3	>7.5	Сильн.ливн.дождь с грозами
~16	~10	-	1.5 -1.0	> 8	<=23	>=3	>7.5	Град

Таблица 2.1 – Метод Лебедевой

3.1.3. Метод Бейли

В этом методе установлены признаки отсутствия гроз. Именно поэтому его часто используют в сочетании с другими методами в качестве проверки основного метода. Если в определенном районе по данным температурно-ветрового зондирования выполняется хотя бы одно из пяти условий, то гроз в этом районе ждать не стоит. Условия выглядят следующим образом:

- На любом уровне в слое между изобарическими поверхностями АТ850 и АТ700 гПа дефицит температуры точки росы $D \geq 13^\circ\text{C}$;
 - Сумма дефицитов температуры точки росы ΣD на уровнях АТ700 и АТ600 гПа $\geq 28^\circ\text{C}$;
 - Наблюдается адвекция сухого воздуха на уровнях АТ850 и АТ700 гПа;
 - Вертикальный градиент температуры в слое АТ850 - АТ500 гПа $\leq 0,5^\circ\text{C}/100 \text{ м}$;
 - Если уровень заморозания ($T = -12^\circ\text{C}$) располагается ниже высоты 3600 м, то из развивающихся облаков могут выпадать только слабые ливневые осадки.
- Если же ни одного условия не выполняется, то в прогнозе следует указывать грозу согласно графику:

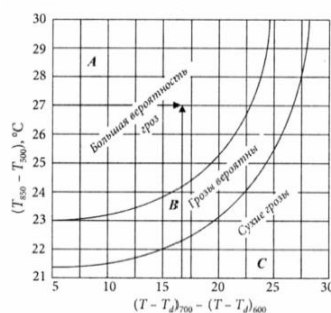


Рис. 3.1 - График для прогноза гроз по методу Бейли.

По горизонтали на этом графике откладывается сумма дефицитов точки росы на уровнях АТ700 и АТ600 гПа.

По вертикали – разность температур на уровнях АТ850 и АТ500 гПа.

3.1.4 Метод Г. Д. Решетова

Прежде чем делать расчёты, Решетов предложил первым делом оценить характер ожидаемой синоптической ситуации. Дальнейшие расчеты будут являться целесообразными, если пункт прогноза находится в зоне быстродвижущегося холодного фронта (или по-другому холодного фронта второго рода), малоподвижного фронта с волнами, фронта окклюзии, в зоне неглубокой барической ложбины, в теплом секторе циклона или на периферии антициклона, в передней или центральной части ложбины или замкнутого очага холода на картах ОТ 500/1000 и ОТ 300/1000. Для развития ночных гроз благоприятно прохождение теплых фронтов и фронтов окклюзии .

Если одна из этих синоптических ситуаций имеет место быть, то для определения возможности возникновения гроз необходимо рассчитать три параметра:

- высота вершин кучево-дождевой облачности (H_v);
- температура воздуха на их вершине (T_v);
- толщина облачного слоя, в котором наблюдаются отрицательные температуры (ΔH).

Затем прогноз возникновения гроз осуществляется по графику, построенному по результатам дискриминантного анализа. По вертикали откладывается величина ΔH , а по горизонтали величина T_v :

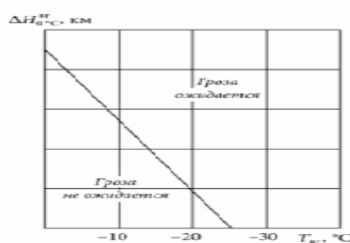


Рис. 3.2 - График для прогноза гроз по методу Г.Д. Решетова.

3.1.5 Метод Вайтинга

Метод основан на расчете параметра К по данным утреннего температурно-ветрового зондирования. Замечено, что этот метод дает довольно неплохие результаты при прогнозировании гроз не по пункту, а по некой территории. Формула для расчета параметра К имеет следующий вид:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - D_{700}$$

Где T_{850} – значение температуры на уровне AT_{850} ;

T_{500} – значение температуры на уровне AT_{500} ;

Td_{850} – значение температуры точки росы на уровне AT_{850} ;

D_{700} – значение дефицита температуры точки росы на уровне AT_{700} .

После расчета определяется вероятность гроз по прогнозируемой территории:

Таблица 2.2 - Определение вероятности гроз по методу Вайтинга.

Значение параметра К	Прогноз гроз
$K < 20$	Не ожидаются
$20 < K < 25$	Изолированные грозы
$25 < K < 30$	Отдельные грозы
$K > 30$	Грозы повсеместно

Однако иногда, уже в рассчитанные значения параметра К, вводится поправка на кривизну приземных изобар:

R, км	< 250	250 - 500	500 - 1000	> 1000
Zn	2	1.4	1	0
Azn	- 2	- 1.4	- 1	0

где Zn – величина поправки на кривизну изобар в циклоне;

Azn – величина поправки на кривизну изобар в антициклоне.

3.2 Методика определения зон грозовой активности с помощью МРЛ

Методика распознавания зон грозовой активности с помощью МРЛ основана на критериях грозоопасности, полученных в результате экспериментов и методике прогноза гроз, согласно которым, одним из основных условий возникновения грозы считается достижение кучево-дождевым облаков уровня, где температура будет $-20\dots-25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для распознавания опасного явления (грозы) выделяют однозначные и комплексные критерии.

К однозначным критериям относят следующие параметры:

- максимальная высота радиоэха явления (H_{max});
- значения радиолокационной отражаемости Z на двух уровнях: высоте изотерм 0 и $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\lg Z_2$ и $\lg Z_3$ соответственно), определяющие связь отражаемости облака с количеством осадков, а также с восходящими потоками облака;

В ходе своего развития конвективное облако достигает стадии, при которой начинается оледенение его вершины. В этот момент в облаке создаются условия для начала интенсивного разделения электрических зарядов, при этом облако продолжает вертикально развиваться и превращается в мощное кучево-дождевое. Считается, что развитие облака по вертикали происходит до уровня тропопаузы $H_{\text{троп}}$. Однако в летние месяцы может наблюдаться случаи, когда восходящие потоки воздуха настолько интенсивны, что «пробивают» тропопаузу и выносят водяной пар за ее границы. Исходя из этого, можно допустить, что достижение и превышение облаком уровня тропопаузы также может служить критерием распознавания мощных кучево-дождевых облаков и говорить о наличии опасных явлений в облаке. Интенсивность явления напрямую зависит от мощности переохлажденной части облака ΔH .

$$\Delta H_{\text{троп}} = H_{max} - H_{\text{троп}}$$

Превышение установленных пороговых критериев значением $\lg Z$ свидетельствует о том, что отмечается явление, обладающее большей интенсивностью. Напротив, если значение $\lg Z$ не достигает установленного критерия, то отмечается ОЯ меньшей интенсивности.

Комплексные критерии рассчитываются на основе набора радиолокационных параметров облака. Критерий грозоопасности Y определяется следующим образом:

$$Y = H_{max} \times \lg Z_3$$

Если $Y > Y_{кр}$, то фиксируют грозу, если же $Y < Y_{кр}$ – ливень. Вероятность распознавания гроз зависит от величины превышения критерия Y над $Y_{кр}$. Для разных регионов вероятность распознавания грозы рассчитывается отдельно.

Для гроз различной интенсивности выполняются следующие соотношения:

- для гроз с вероятностью распознавания $B_p > 90\%$: $Y > Y_{кр} + 14$;
- для гроз с $B_p = 71 \div 90\%$: $Y > Y_{кр} + 6$;
- для гроз с $B_p = 30 \div 70\%$: $Y > Y_{кр}$.

$$Y_2 \approx H \lg Z_{max} / (\lg Z_{max} - \lg Z_i) \text{ или } Y_3 \approx H_{max} \lg H_{Z_{max}} \lg Z_{max} / H_0^2 ,$$

3.2.1. Глобальная большебазовая грозопеленгационная система WWLLN

Глобальная сеть WWLLN (World Wide Lightning Location Network) регистрации МР включают в себя около 60 пунктов регистрации атмосфериков. Расстояние между пунктами может достигать 2 – 3 тыс.км. Метод основан на измерении группового времени прихода волн в диапазоне частот от 3 до 30 кГц в различные пункты регистрации. Для определения времени прихода атмосферика рассчитываются его амплитудный и фазовый спектры и вычисляются производные фазы по частоте около амплитудного максимума. Таким образом, удаётся получить время привязки с точностью в 1 мкс. Расчёт расстояния осуществляется по измеренному времени прихода атмосферика и принятой групповой скорости на частоте вблизи максимума в

спектре сигнала. На следующем этапе уточняется трасса распространения для каждого пункта и вводится поправка в групповую скорость.

Ошибка определения местоположения МР составляет 4-5 км и зависит от направления прихода атмосферика. В нормальных геофизических условиях расчётная погрешность измерения координат МР составляет 2-3 км. При солнечных вспышках она может возрасти до 7-8 и более км.

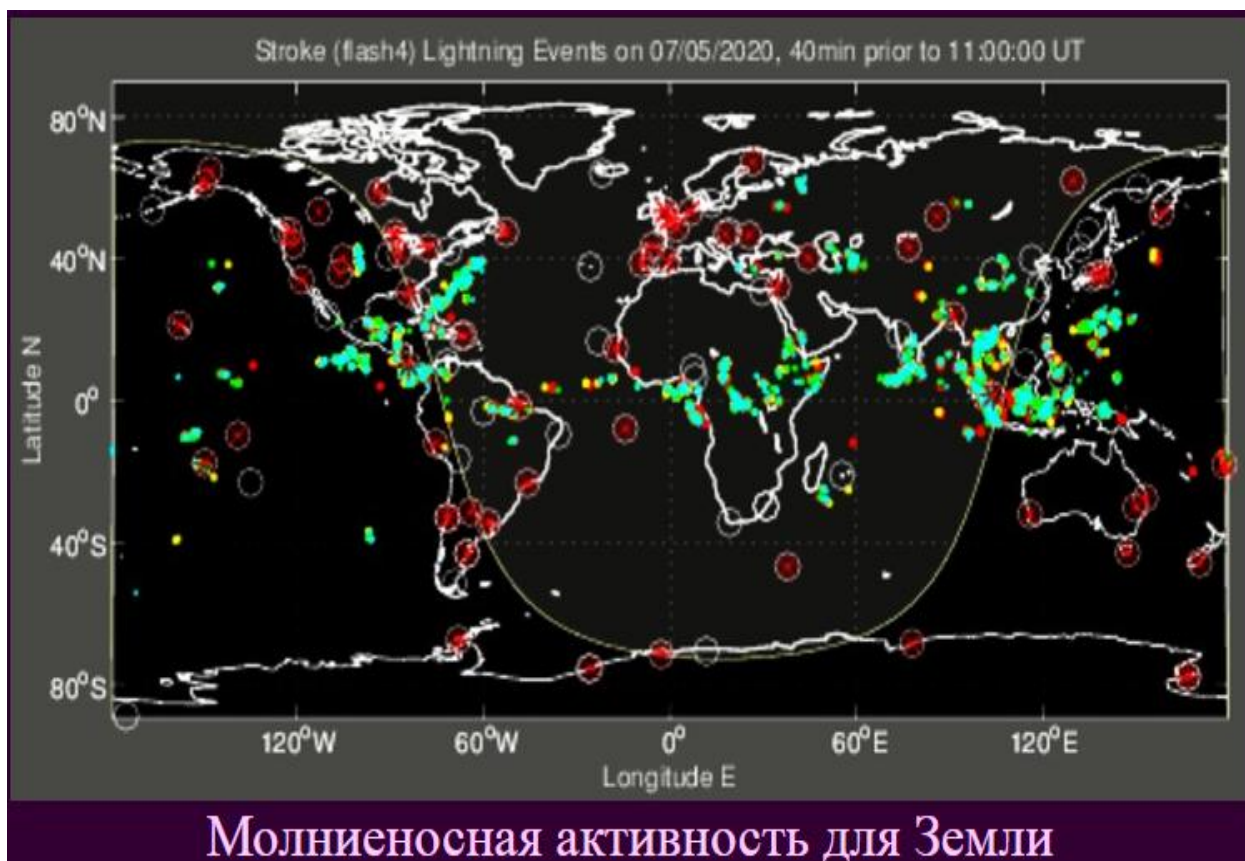


Рис.3.3. Молниевая активность по данным сети «WWLLN»

На рисунке цвет точек зависит от того, как давно были зафиксированы грозовые разряды: голубые – разряд зафиксирован в течение последних 10 минут, зелёные - чуть позднее от 10 до 20 минут, жёлтые – 20-30 минут назад, и красными – 40 минут назад.

Кластерный анализ данных

Особенностями, которые влияют на результат кластеризации являются: пространственный характер данных, наличие более плотных «сгустков» объектов и одиночных разрядов («шум»), отстоящих на некотором расстоянии от «сгустков». На определение близости объектов влияют не

только географические координаты разрядов, но и время их регистрации (два разряда попадают в один кластер, если расстояние и разница по времени регистрации разрядов меньше заданных порогов). Для анализа необходимы три характеристики грозовых разрядов: координаты разряда (X_1, X_2) и время регистрации разряда (X_3) . Таким образом, грозовой разряд o может быть описан с помощью набора трех вещественных переменных $x(o) = (X_1, X_2, X_3)$. Множество $O = \{o^{(1)}, o^{(2)}, \dots, o^{(N)}\}$, содержащее N грозовых разрядов, может быть представлено как множество N точек в трехмерном евклидовом пространстве E_3 .

Переменные, описывающие характеристики (географические координаты и время) атмосферика, имеют разные единицы измерения. Определить расстояния между объектами только по пространственным характеристикам можно, используя евклидово расстояние. Для вычисления расстояния между объектами по географическим координатам и времени регистрации грозовых разрядов можно выделить три подхода. Первый подход заключается в разбиении множества всех объектов на группы по равным временным интервалам, например, часовым (в одну группу попадают атмосферика, зарегистрированные в течение часа). Расстояние между объектами вычисляется только с учетом географических координат между объектами одной группы. При использовании этого подхода возникают трудности в определении расстояния между объектами, находящимися на «границах» групп. Такие случаи требуют уточнения. Вторым подходом является то, что для каждой пары объектов (атмосфериков) $o^{(i)}$ и $o^{(l)}$, где $i, l = 1, \dots, N$ и $i \neq l$, вычисляется расстояние

$$\rho_{E2}(o^{(i)}, o^{(l)}) = \sqrt{\sum_{j=1}^2 (x_j^{(i)} - x_j^{(l)})^2}$$

и разность во времени регистрации разрядов

$$\tau(o^{(i)}, o^{(l)}) = |x_3^{(i)} - x_3^{(l)}|$$

Здесь $(x_1^{(i)}, x_2^{(i)}), (x_1^{(l)}, x_2^{(l)})$ — географические координаты, а $x_3^{(i)}, x_3^{(l)}$ — время регистрации разрядов $o^{(i)}$ и $o^{(l)}$. При этом необходимо задать пороговые значения для ρE_2 и τ .

Третий подход основан на вычислении расстояния между двумя объектами по трем нормированным переменным. Расстояние между двумя объектами (атмосферами) $o^{(i)}$ и $o^{(l)}$ определим как

$$\rho E_3(o^{(i)}, o^{(l)}) = \sum_{j=1}^3 \left(\frac{x_j^{(i)} - x_j^{(l)}}{\text{norm } j} \right),$$

где $\text{norm } j$, $j = 1, 2, 3$, — параметры нормировки, которые задаются в соответствии с физическими параметрами конвективной грозой ячейки (прим. средняя площадь, время существования).

3.2.2 АПК ГПС «Алвес 9.07»

Грозопеленгационная система Росгидромета включает в себя 57 индикаторов грозовой опасности. Расстояние между индикаторами допускается до 400 км. Зона обнаружения источников ЭМИ и грозовых разрядов индикатором в составе ГПС более 1000 км. Вероятность обнаружения грозовых очагов внутри ГПС составляет не менее 90 %. Система работает непрерывно в автоматическом режиме. Программное обеспечение ГПС «Алвес» интегрирует в единое информационное поле данные о координатах МР с 57 индикаторов, восьми датчиков LS8000 (Vaisala), установленных в Московском и Северо-Кавказском регионах, снабжённых низкочастотными (LS_LF) и высокочастотными (LS_HF) приёмниками, и данные о метеоявлениях ДМРЛ. Данная система предназначена для мониторинга грозовой активности в режиме реального времени и измерения параметров ЭМИ МР (амплитуда поля, полярность, длительность переднего фронта и первой полуволны атмосфера и т.д.) и позволяет определить электрическое (грозовое) состояние конвективных

облаков, работая автономно и совместно с МРЛ , исследуя структуру и динамику развития конвективных облаков.

Подсистема предоставления информации пользователям и визуализации данных наблюдений формирует карты грозовой активности по ячейкам 4 x 4 км и 20 x 20 км. В зависимости от количества грозовых разрядов ячейки окрашиваются в разные цвета. Для определения местоположения разрядов молнии разных типов (внутриоблачных и типа облако- земля) применяются одновременно две методики: пеленгационная и разностно- дальномерная. В первой линии положения разряда молнии определяются значениями пеленгов на излучатель, во второй – величиной разности времени прихода ЭМИ разряда молнии.

Программное обеспечение ГПС Алвес позволяет вычислять и визуализировать карты распределения средних и средних квадратических отклонений погрешности измерения координат МР за заданные интервалы наблюдений.

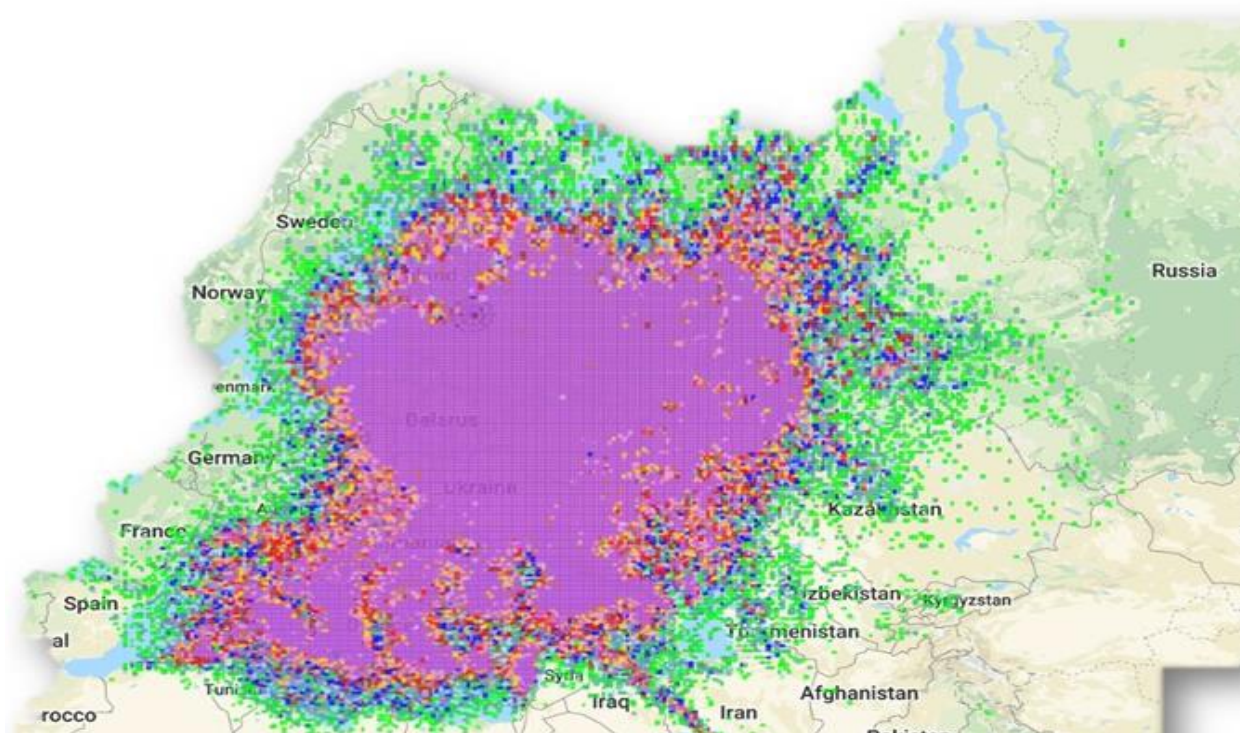


Рис. 3.4 Распределение ячеек 20 x 20 км по данным ГПС Алвес

3.2.3 Большебазовая грозопеленгационная система «Верея- МР»

Действующая в настоящее время отечественная система регистрации молниевых разрядов Верея-МР состоит из тридцати четырёх датчиков регистрации атмосфериков и обрабатывающего центра. Обмен данными в системе осуществляется с помощью электронной почты. Оперативность обновления данных в системе равна 30 минутам.

В ГПС «Верея-МР» используются разностно-дальномерный и пеленгационный методы определения координат МР. Первый позволяет определить координаты, второй исключает неоднозначность измерений координат первым. Расстояния между пунктами варьируются от 292 км до 1469 км.

Погрешность определения места грозы составляет 3 км.

3.3. Используемые средства контроля облаков (МРЛ-5 и ГПС ЛС8000)

3.3.1. МРЛ-5

МРЛ-5 – двухволновой высокопотенциальный метеорологический импульсный радиолокатор.

Радиолокатор состоит из антенной системы, включающей в себя облучатель и металлическое зеркало – отражатель, передатчика, приёмника, антенного переключателя, индикаторов, синхронизатора, волноводно-фидерного тракта, блоков управления антенной и энергетического питания.

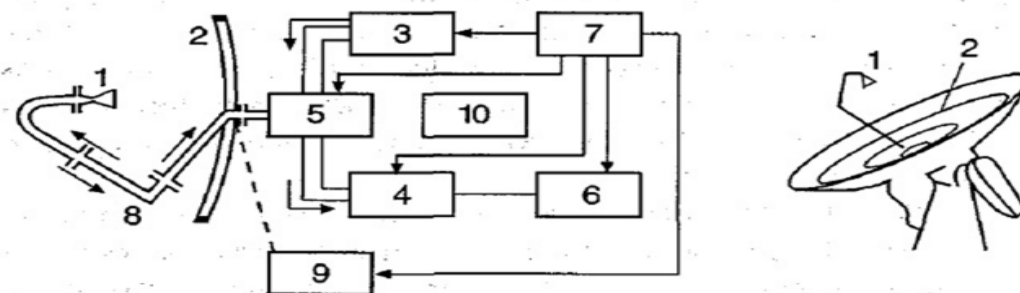


Рис.3.5 . Обобщённая схема импульсного метеорологического радиолокатора

Цифрами на рисунке обозначены:

- 1- Облучатель
- 2- 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

Принцип работы МРЛ-5 заключается в генерировании мощных электромагнитных сверхвысокочастотных колебаний импульсным передатчиком. Колебания представляют собой периодически повторяющиеся зондирующие импульсы, излучаемые МРЛ в сторону метеобъекта. Отражённые сигналы принимаются МРЛ и по волновому тракту и поступают на приёмник, в следствие чего сигнал усиливается и попадает на индикаторы РЛС для определения характеристик исследуемого объекта.

Волноводно - фидерный тракт служит для передачи высокочастотных импульсов от передатчика к антенне и от антенны к приёмнику. Антенный переключатель обеспечивает попеременное подключение антенны к передатчику и приёмнику, что позволяет использовать для передачи и приёма одну и ту же антенну. Во время работы передатчика переключатель через волноводно-фидерный тракт замыкает передатчик на антенную систему и отключает вход приёмника, защищая приёмник от мощного импульса передатчика, а в период между двумя зондирующими импульсами антенный переключатель закрывает вход передатчика, что позволяет весь вернувшийся от антенны сигнал направить на приёмник.

Для удобства работы оператора метеорологическая обстановка представляется с помощью индикатора кругового обзора (ИКО),

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

Положение метеобъектов на индикаторе кругового обзора дается в полярных координатах, то есть по азимуту и наклонной дальности. 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 на экране ИКО отображается текущая метеобстановка.

На индикаторе кругового обзора пространственное положение метеорологического объекта определяется в полярных координатах: наклонная дальность и азимут. В ИКО применяется радиально-круговая развертка, В результате этого на экране ИКО можно наблюдать конфигурацию, взаимное положение и размеры метеорологических объектов.

Вертикальный разрез метеобъекта наблюдается с помощью индикатора ИДВ, развертка электронного луча производится синхронно с поворотом антенны по углу местности.

Блок синхронизатора необходим для корректной, синхронной работы передатчика, приемника и индикаторов МРЛ, они синхронизируются за счет так называемого запускающего (тактового) импульса.

Специальные возможности МРЛ-5:

1) узкие диаграммы направленности формируются антенной системой с параболическим отражателем и двухдиапазонным облучателем, благодаря использованию такой системы улучшается точность данных по угловым координатам, увеличивается точность вертикальных и горизонтальных параметров радиоэха;

2) высокая чувствительность и широкий динамический диапазон входных сигналов, на приемном устройстве 1-го и 2-го каналов

3) совмещенные индикаторы ИКО/ИДВ (основной и для фоторегистрации) с широким набором масштабов разверток обеспечивают одновременное измерение, наблюдение и фоторегистрацию радиоэха как в

горизонтальной так и вертикальной плоскости; индикатор типа А позволяет наблюдать радиоэхо метеорообъектов в координатах амплитуда–дальность;

4) с помощью преобразования угловой информации обеспечивается высокая точность местонахождения метеороэлемента, его географические координаты и высота.

5) автоматическое выделение очагов града.

МРЛ-5 позволяет:

-обнаруживать и определять местоположение очагов гроз, града и ливневых осадков в радиусе до 300 км;

-определять горизонтальные и вертикальные размеры метеорообразований, а так же следить за направлением и скоростью их смещения;

-измерения мощности радиоэха метеорологических целей.

3.3.2 Грозопеленгатор LS8000

Грозорегистратор LS 8000 предназначен для автоматического обнаружения и регистрации координат грозовых разрядов и может использоваться как в автономном режиме, так и в составе региональной системы из нескольких аналогичных комплексов, объединяемых специальной системой связи или через Интернет. Автоматическое обнаружение и регистрация местонахождения грозовых зарядов осуществляется с помощью регистратора LS8000, особенностью его использования является то, что он может использоваться как самостоятельно так и быть объединен в, например, региональную сеть.

Приемниками являются два сенсора: низкочастотный – Low Frequency range (30–350 кГц) и высокочастотный – Very High Frequency range (110–118 МГц). При интерпретации результатов измерений считается, что в диапазоне LF регистрируются разряды облако–облако и разряды облако–земля, а в диапазоне VHF регистрируются только внутриоблачные разряды.

На центральном пункте сбора и обработки информации и на каждой из мачт с сенсорами находятся антенны системы глобального позиционирования (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. По этим данным процессор 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 LS 8000 предназначена для получения следующей информации о разрядах молнии:

- 1)Дата и время разряда с точностью 100 наносекунд;
- 2)Широта и долгота места разряда;
- 3)Сила и полярность сигнала (тока) в канале разряда, в кА;
- 4)Классификация разрядов: разряд «облако–земля» или внутриоблачный разряд;
- 5)Классификация разрядов по знаку;
- 6)Время поднятия сигнала до пикового значения, в мкс;
- 7)Время спада сигнала от пикового значения до нуля, в мкс;

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

В комплексе также предусмотрено решение следующих задач:

документирование, архивирование и статистическая обработка полученной информации. Для этого комплекс использует формат Universal ASCII Lightning Format (UALF).

Глава 4. Анализ эффективности существующих радиолокационных методов прогноза и диагноза гроз.

4.1 Анализ данных радиолокационных наблюдений

С 25 мая по 5 июня 2012 года в районе городов Пятигорск-Минеральные Воды синоптическая ситуация определялась малоподвижным антициклоном. Радиус антициклона составлял около 600 км с центром на территории Северо-Кавказского региона. 28 и 29 мая антициклон становится частью обширной области повышенного давления, радиус достигает 1000 км. Результаты радиозондирования 29 мая 2012 года в г. Минеральные воды указывали на вертикальную термическую неустойчивость в атмосфере. На основании термодинамических критериев и данных ночного и дневного зондирования прогнозировалась гроза. В районе городов Ессентуки-Пятигорск, южнее метеостанции в г. Минеральные воды наблюдалось кучево-дождевое облако. Электрические разряды в облаке регистрировались в течение 1 часа 40 минут. Близ метеостанции в г. Минеральные воды порывы ветра достигали 11 м/с. В г. Пятигорск прошёл град, диаметр градин достигал 3 см, толщина слоя около 20 см сохранялась в течение нескольких дней.



Рис. 4.1 – Съёмка выпавшего града 29 мая 2012 г. в г. Пятигорск

Наблюдения за кучево-дождевым облаком велись одновременно с грозопеленгационной системы LS8000 и радиолокатора МРЛ-5. Период обзора пространства радиолокатором равнялся 3.3 минуты.

При анализе учитывались данные радиометрических измерений, полученные с использованием аппаратуры SEVIRI (устанавливается на спутнике «Метеосат-8») и характеристики электрической активности облака (количество разрядов NVHF и NLF в соответствующих диапазонах длин волн, сила положительных и отрицательных токов в LF-диапазоне (ILF+ и ILF-), максимальные токи в LF-диапазоне (ILF+_{max} и ILF-_{max})), зарегистрированные LS8000, осредненные за 3.3 минуты. На основе результатов прошедших измерений принято считать, что в диапазоне LF регистрируется около 30 % разрядов типа облако-облако и облако-земля. В диапазоне VHF регистрируются все разряды, в том числе внутриоблачные.

Электрические характеристики грозового облака, развивавшегося в районе г. Пятигорск 29.05.2012 представлены в таблице 4.1.

Местное время	NVHF	NLF		ILF+, кА	ILF-, кА	ILF+ _{max} , кА	ILF- _{max} , кА
		+	-				
18:47	0	0	0	0	0	0	0
18:50	4	0	0	0	0	0	0
18:54	5	0	0	0	0	0	0
18:57	9	0	0	0	0	0	0
19:01	44	0	3	0	-15	0	-9
19:05	90	0	3	0	-13	0	-5
19:08	96	0	9	0	-49	0	-14
19:12	116	1	8	5	-43	6	-13
19:15	131	2	14	8	-63	5	-9
19:19	111	2	7	8	-34	7	-7
19:22	120	2	12	11	-59	9	-10
19:26	112	2	5	30	-19	47	-6
19:30	135	0	8	2	-41	5	-11
19:33	176	1	6	5	-27	6	-7

Местное время	NVHF	NLF		ILF+, кА	ILF-, кА	ILF+ _{max} , кА	ILF- _{max} , кА
		+	-				
19:37	158	1	13	2	-72	4	-22
19:40	228	2	8	42	-41	102	-10
19:44	324	1	11	2	-47	3	-9
19:48	384	1	12	6	-53	8	-10
19:51	387	2	17	9	-78	7	-10
19:55	421	1	19	4	-84	4	-10
19:58	448	3	20	36	-86	81	-18
20:02	417	3	18	12	-76	5	-14
20:06	408	3	18	10	-68	7	-13
20:09	443	2	14	7	-53	6	-16
20:13	398	2	11	6	-52	5	-20
20:16	373	2	11	6	-42	4	-19
20:20	367	2	6	5	-23	5	-8
20:24	195	1	5	3	-17	3	-7
20:27	160	1	3	2	-11	4	-6
20:31	43	0	3	0	-7	0	-4
20:34	0	0	0	0	0	0	0

Табл. 4.1 Электрические характеристики грозового облака

За период наблюдения за облаком было зафиксировано 993 молниевых разряда в диапазоне LF (871 – отрицательные, 122- положительные), а также 20 800 разрядов в диапазоне VHF.

Карты горизонтального сечения отражаемости, зафиксированные ФГБУ СТВС, Ставрополь в 18:50 (рис. 4.1) и в 19:58 (рис.4.2) представлены далее.

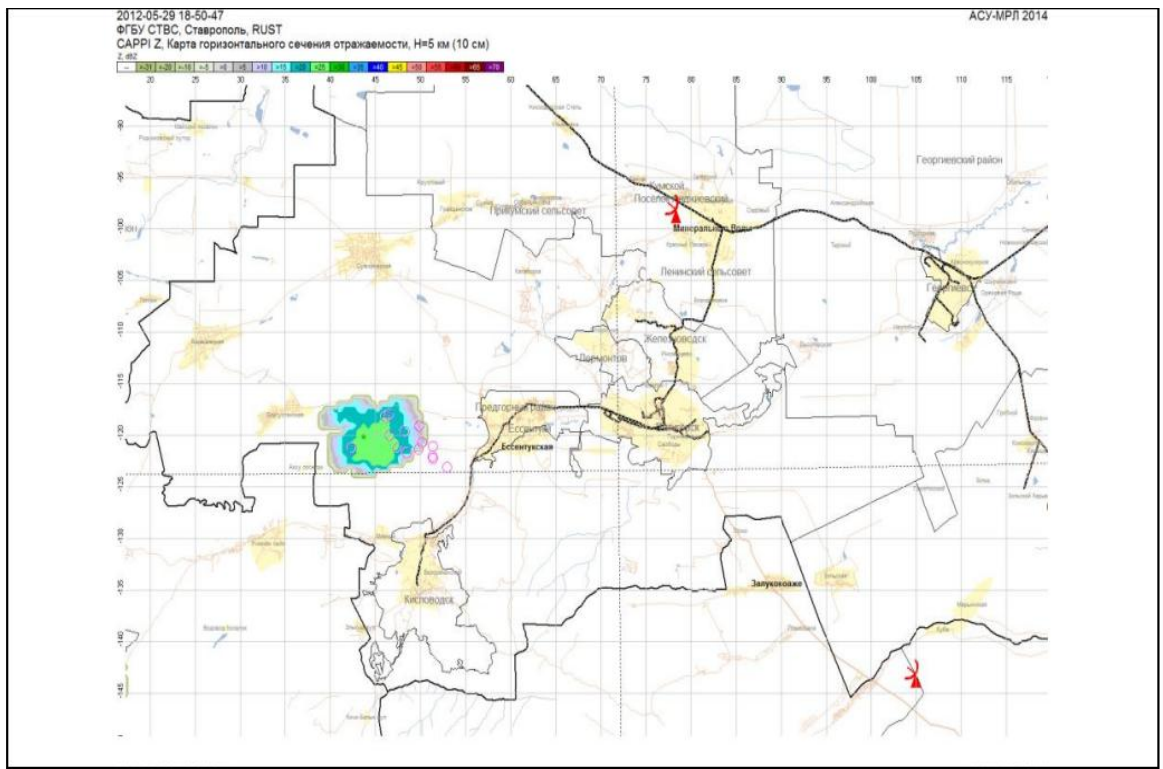


Рис.4.1 Радиолокационная отражаемость и первые молниевые разряды (18:50)

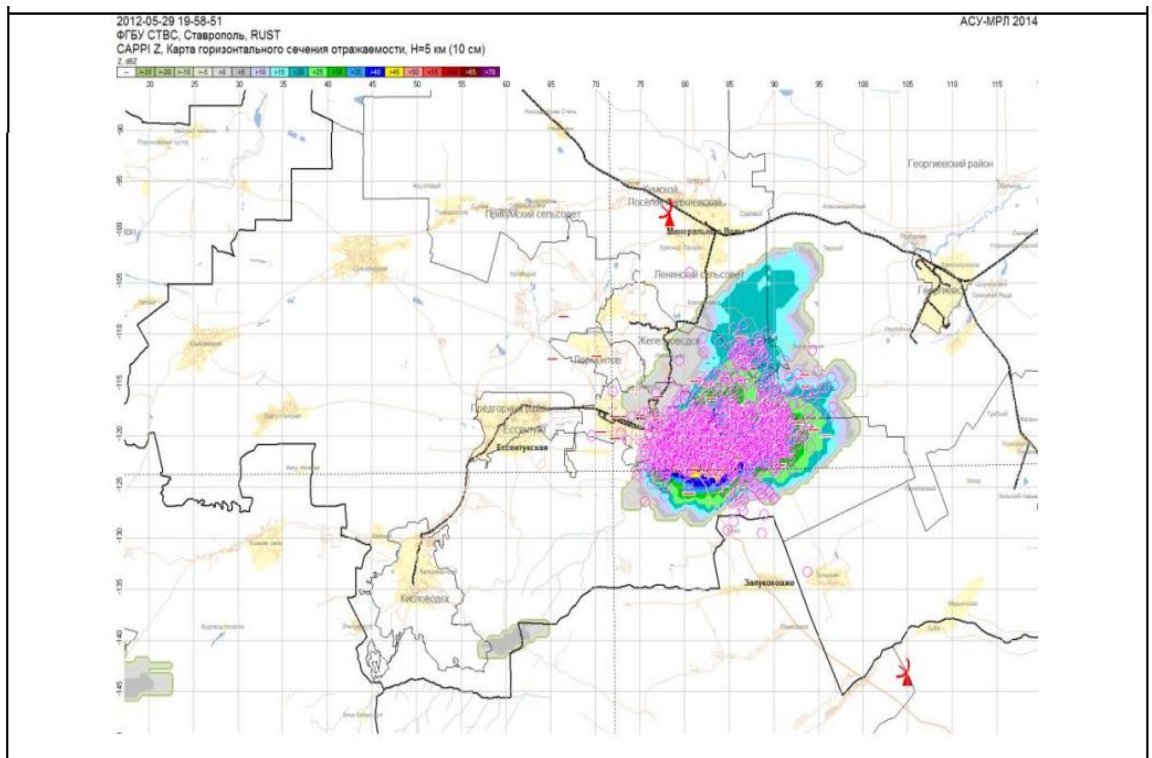


Рис. 4.2 Радиолокационная отражаемость и молниевые разряды на пике развития (19:58)

Основываясь на данных, полученных с помощью радиолокатора, построены гистограммы распределения частот молниевых разрядов в минуту.

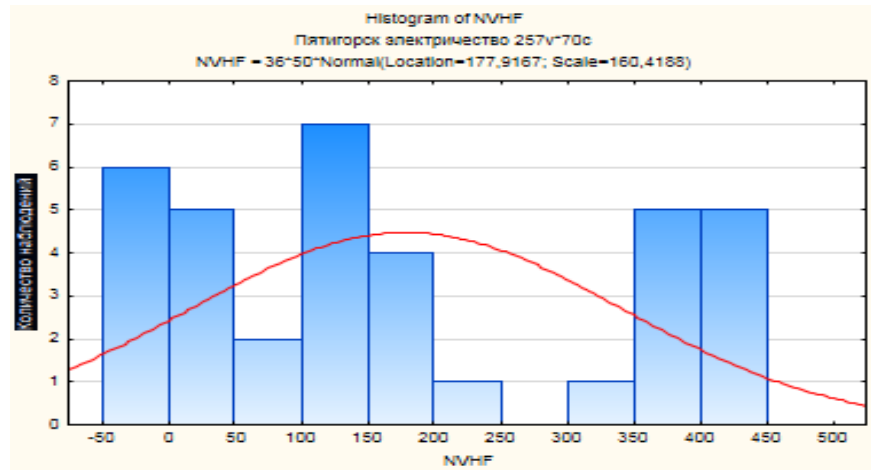


Рис. 4.3 – Гистограмма распределения частот молний (VHF-диапазон)

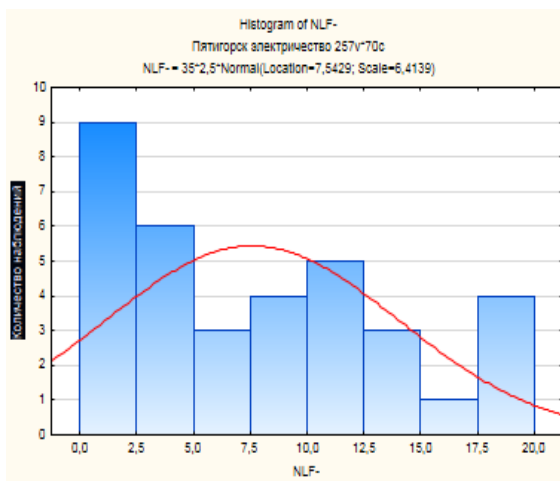


Рис. 4.4 – Гистограмма распределения частот отрицательных молний (LF-диапазон)

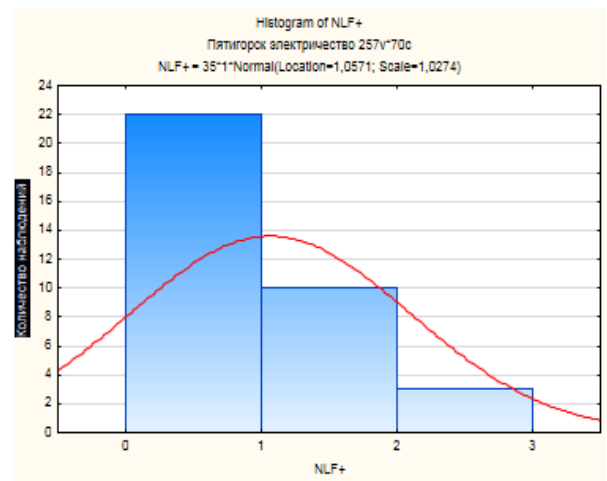


Рис. 4.5 – Гистограмма распределения частот положительных молний (LF-диапазон)

Амплитуды средних суммарных токов (LF- диапазон) положительных и отрицательных молний колебались в пределах от -78 до 42 кА. График амплитуд представлен ниже.

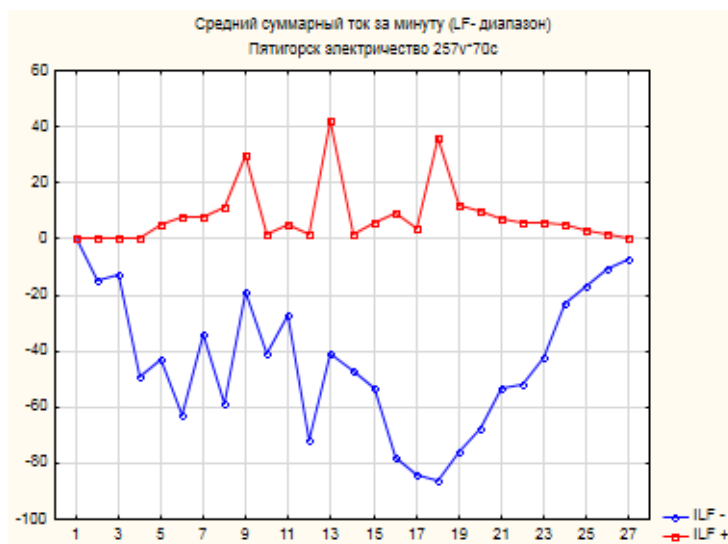


Рис. 4.6 – Средний суммарный ток молний за минуту (LF-диапазон)
 Гистограммы распределения частот отрицательных и положительных
 максимальных значений токов молний за минуту в LF- диапазоне
 представлены ниже

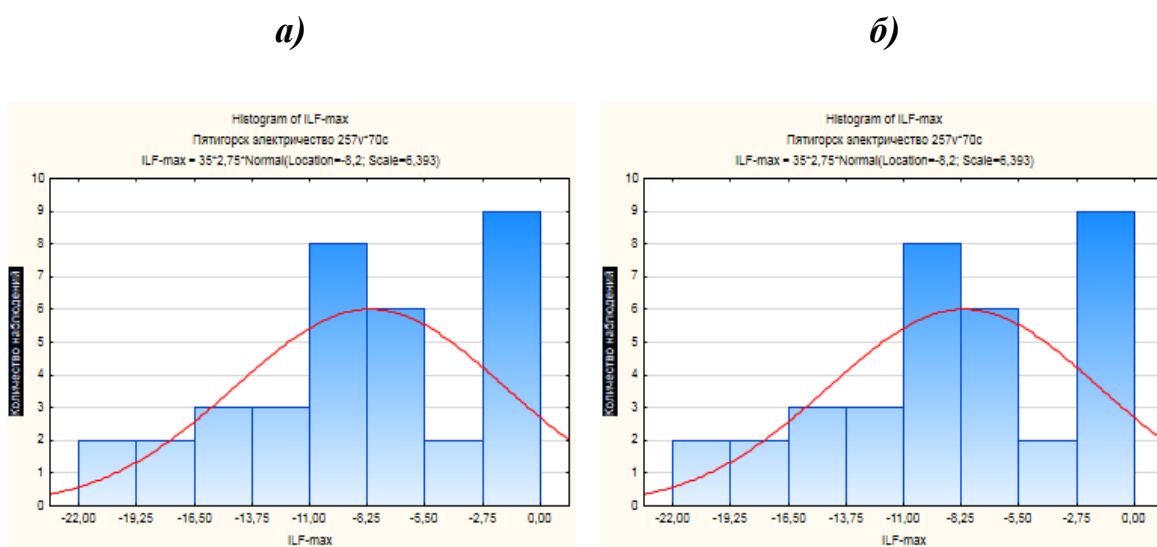


Рис. 4.7 – Распределения частот отрицательных (а) и положительных (б)
 максимальных значений токов молний за минуту в LF- диапазоне

Распределение частот отрицательных и положительных средних значений
 токов молний за минуту в диапазоне LF отображено на рис. 4.8.

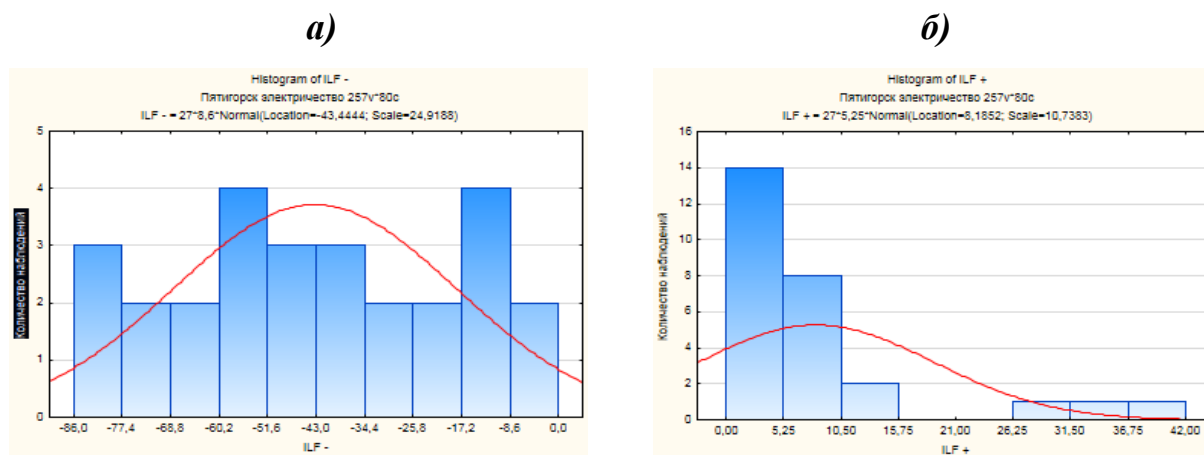


Рис. 4.8 – Распределение частот отрицательных (а) и положительных (б) средних значений токов молний за минуту в LF- диапазоне

На полученных гистограммах чётко выражены три сильноточных положительных разряда (47 кА, 102 кА, 81 кА). Вследствие полученных результатов можно предположить, что данные разряды являлись разрядами типа облако- облако.

4.2. Прогнозирование гроз на основе радиолокационных данных

В последние годы для контроля за электрическим состоянием облака всё чаще применяются косвенные критерии грозоопасности, основывающиеся на радиолокационных данных. Данные критерии применяются для составления краткосрочных прогнозов вероятности грозовых явлений.

Заблаговременным предупреждением о грозоопасности считается время между достижением выбранным критерием грозоопасности критического значения и реальным появлением молниевых разрядов.

Основываясь на радиолокационных данных, полученных с помощью радиолокатора МРЛ-5 и ГПС 8000, от 29 мая 2012 г. мы сравним значения критериев грозоопасности Y , Y Salman и Y Зимина и выявим наличие или отсутствие связи с параметрами F_{LF} и F_{VHF} для облака. (табл 4.1. и 4.2.)

Т, мин	Үг	Ү Зимина	Ү Salman	dV35
0	5,4	6,16609	5,4	0
3	20	12,04152	16,57143	0
7	19,75	12,77941	14,13684	0
10	24,6	9,930796	32,8	13
14	24,6	10,42734	49,2	72
18	47,25	26,70415	36,75	218
21	48,6	20,17993	64,8	265
25	55,5	31,68685	61,05	316
28	65	25,64014	105,8571	394
32	58,05	24,99654	65,67273	412
35	56,25	24,65398	59,375	400
39	57,15	24,609	64,65455	440
43	50,4	22,47751	49,96923	515
46	51,75	23,07958	51,30769	528
50	50,4	22,08997	53,2	501
53	59,4	40,8218	36,3	490
57	66,5	26,69204	96,425	523
61	63,8	27,99654	59,93333	563
64	75,35	28,44291	164,4	587
68	68,5	31,99827	54,8	549
71	59,5	37,47059	41,65	556
75	59,5	25,94118	60,58182	521
79	60	26,6263	40,23529	484
82	54,9	24,6955	52,86667	447
86	55,35	23,94031	123	347
89	45	21,79931	35	298
93	39,6	18,88365	34,65	250
97	35,35	18,87197	37,29231	181
100	45,9	31,76471	17,48571	193
104	40,8	21,17647	37,66154	114
107	30	16,73875	23,88889	43
111	18,25	4,294118	27,57778	0
115	14,2	7,738754	15,29231	0
118	0	4,282007	4,4	0
122	0	3,433391	4,2	0

Во время второго обзора пространства, спустя три минуты после появления облака на экране радиолокатора, были зарегистрированы 4 молниевых разряда в диапазоне VHF. Во время четвертого обзора пространства, через 14 минут было зафиксировано еще 3 разряда уже в диапазоне LF. В общей сложности, к четвертому обзору пространства число разрядов превысило 18. Критерий грозоопасности Y на 4 минуте наблюдения равнялся 20, превышая граничное значение 8, что означает, что гроза будет с 70-процентной вероятностью. На 10 минуте Y превышает граничное значение 24, что свидетельствует и грозе с вероятностью 90%. Значения критериев Y Salman и Y Зимина, во время второго обзора, на 4 минуте составляют 17 и 12, что свидетельствует о наличии грозы.

Таким образом, мы можем отметить, что для всех вышеперечисленных критериев отмечается малая (критерий Y) и отрицательная (Y Salman и Y Зимина) заблаговременность предупреждения о грозоопасности, в частности, для разрядов в диапазоне VHF, т.е. разряды фиксируются до момента превышения критериями грозоопасности критических значений.

На рис. 4.9. отображено как значения критериев грозоопасности вели себя в течение всего времени наблюдения за облаком, и как вместе с ними изменялась частота разрядов FLF.

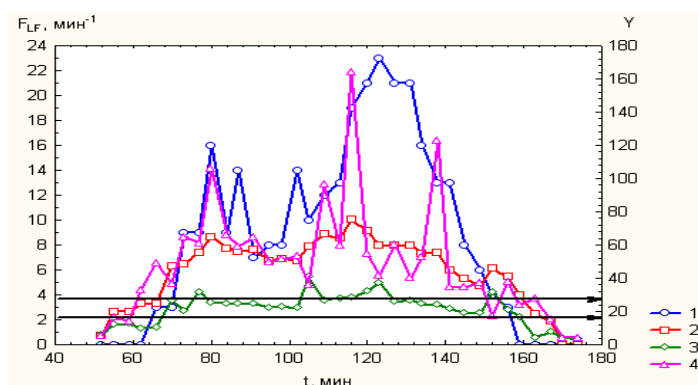


Рис. 4.9 — изменение во времени критериев грозоопасности: Y (2), Y Salman (3), Y Зимина (4) и наблюдаемой частоты разрядов FLF (1); черные стрелки означают уровни грозоопасности от 70% до 90%.

Из рис. 4.9. следует, что число разрядов в диапазоне LF имеет 2 ярко выраженных максимума – на 80 и 123 минутах развития облака. На 23 минуте наблюдения было зафиксировано 23 молниевых разряда. Максимум интенсивности разрядов в VHF диапазоне наблюдался в это же время. Значения рассчитанных критериев также неравномерно распределены во времени. Отмечается схожесть значений максимумов данных критериев и хода значений F_{LF} , но при этом присутствуют и значительные отличия, в частности, для критерия Y Salman они отмечаются в области максимума F_{LF} . Из результатов мы можем сделать вывод, что критерий Y , используемый на оперативной сети МРЛ, коррелирует лучше, в сравнении с Y Salman и Y Зимина, с наблюдающимися в реальном времени разрядами исследуемого облака.

Далее, мы рассмотрим графически зависимость критериев, каждого в частности, от частоты электрических разрядов в диапазонах LF и VHF.

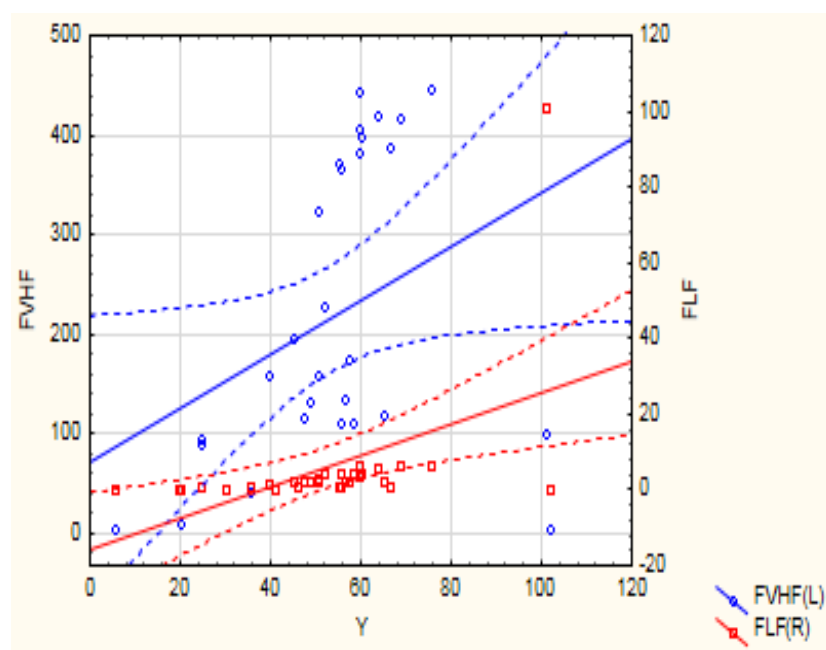


Рис. 4.10 - зависимость частоты электрических разрядов в LF (2) и VHF(1) диапазонах от критерия грозоопасности Y .

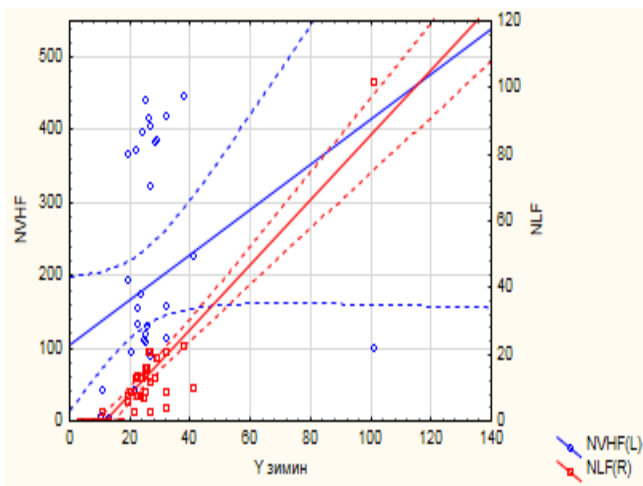


Рис.4.11. - зависимость частоты электрических разрядов в LF (2) и VHF(1) диапазонах от критерия грозоопасности Y Зимина.

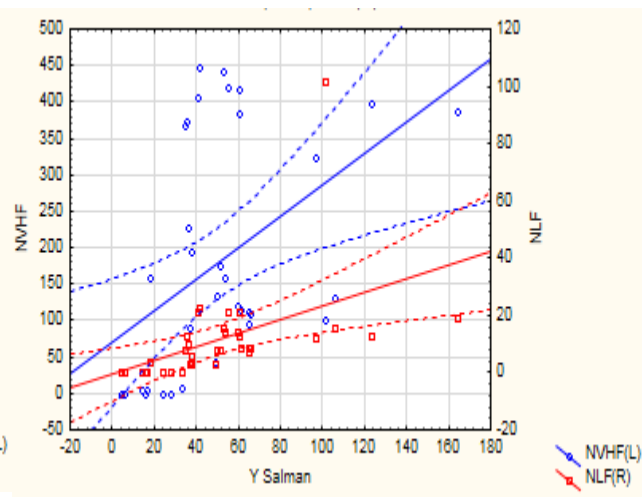


Рис.4.12. - зависимость частоты электрических разрядов в LF (2) и VHF(1) диапазонах от критерия грозоопасности Y Salman

Исходя из рис. 4.10 – 4.12 можно сделать вывод, что зависимости LFF и VHF F от критериев Y , Y Зимина и Y Salman имеют нелинейный характер. Вышеперечисленные критерии появились в период использования радиолокаторов с индикаторами кругового обзора. Критерий Y достаточно давно используется на оперативной сети МРЛ. Благодаря разработанным, к настоящему времени, средствам измерения и существующим методам обработки радиолокационной информации, представляется возможным применять гораздо более сложных критериев, учитывающих физику процессов электризации облаков. Ю.П. Михайловский и С.М. Гальперин в своих трудах, основываясь на результатах самолётных экспериментов с синхронным измерением радиолокационных характеристик и напряжённости электрического поля, для описания характеристик электрического состояния облака предлагали использовать интегральные радиолокационные параметры, характеризующие количество в облаке крупных ледяных частиц. В частности, к таким параметрам относится объём переохлаждённой части облака. Выбор этого критерия основывается на принятой в настоящее время

гипотезе об определяющей роли ледяных частиц в электризации облаков. Используя этот подход, ранее были определены статистические связи частоты разрядов в VHF и LF диапазоне с объёмом переохлаждённой части облака с отражаемостью более 35 дБZ ($dV_{35}, \text{км}^3$) за весь цикл жизни облака.

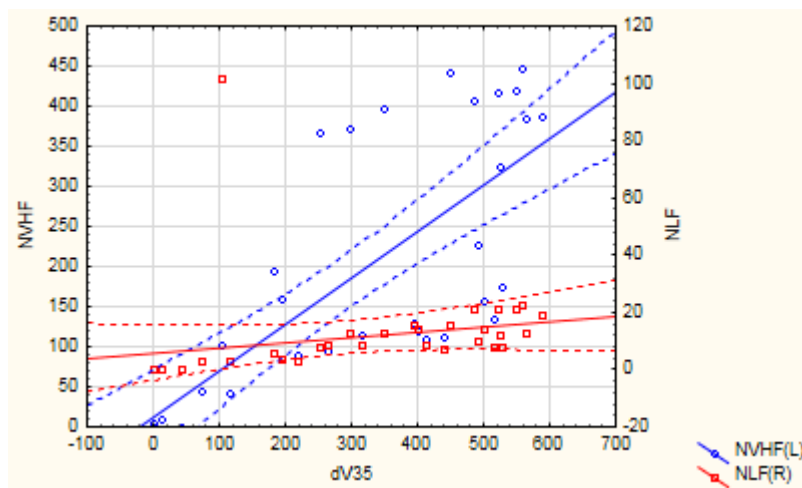


Рис. 4.13 – «Зависимость частоты электрических разрядов в LF (1) и VHF (2) диапазонах от объема переохлажденной части облака dV_{35}

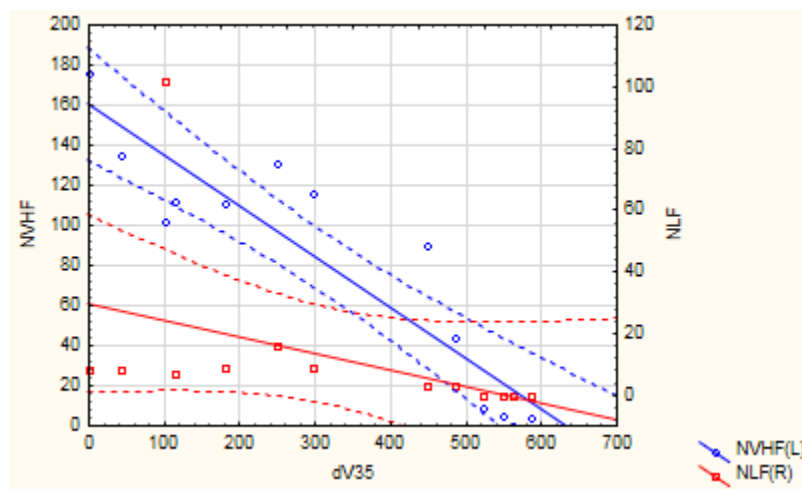


Рис. 4.14 – «Зависимость частоты электрических разрядов в LF (1) и VHF (2) диапазонах от объема переохлажденной части облака с отражаемостью более 35 дБZ на стадии развития (с 40 по 130 мин эксперимента)»

На рисунке 4.14 представлены связи интенсивности молниевых разрядов в LF и VHF диапазонах с объёмом переохлаждённой части облака с отражаемостью более 35 дБZ на стадии развития (40 - 130 минуты наблюдения). На графике мы можем увидеть, что на стадии развития облака

связь F_{LF} с $dV35$ близка к линейной, а связь F_{VHF} с $dV35$ хорошо описывается квадратичным полиномом.

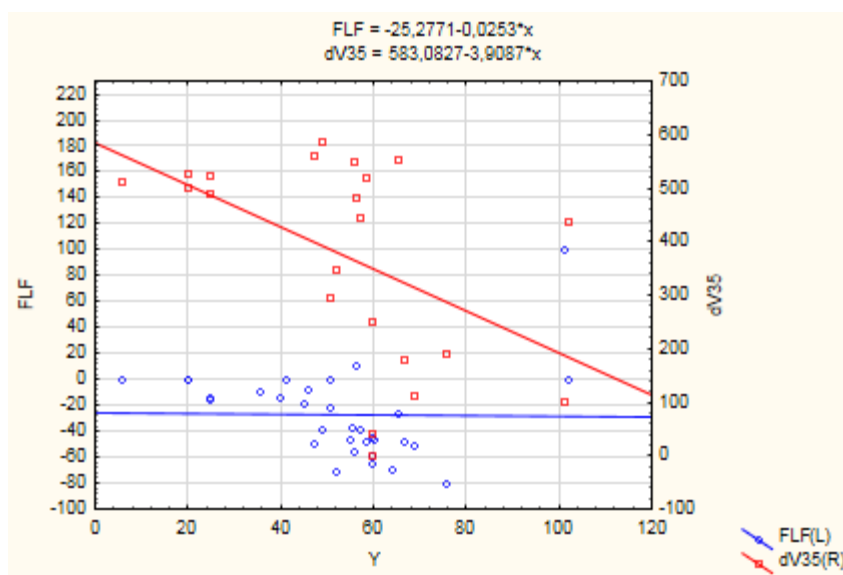


Рис. 4.15 – «Прогноз частоты электрических разрядов в LF диапазоне на основе данных об объеме переохлажденной части облака». Обобщённые данные для критериев Y , Y Salman, Y Зимина и $dV35$ представлены в табл. 4.3

Частота разрядов	r	p
Y		
$F_{LF}, \text{мин}^{-1}$	0,48	0,004
$F_{VHF}, \text{мин}^{-1}$	0,37	0,042
Y Salman		
$F_{LF}, \text{мин}^{-1}$	0,59	0,000
$F_{VHF}, \text{мин}^{-1}$	0,50	0,002
Y Зимина		
$F_{LF}, \text{мин}^{-1}$	0,79	0,000
$F_{VHF}, \text{мин}^{-1}$	0,67	0,000
$dV35$		
$F_{LF}, \text{мин}^{-1}$	0,81	0,000
$F_{VHF}, \text{мин}^{-1}$	0,82	0,000

Табл. 4.3. Корреляционные связи критериев грозоопасности

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе основной целью являлось изучение молниевой активности и анализ известных нам радиолокационных средств и методов прогнозирования гроз для применения в авиационной отрасли. Прогнозирование грозовой активности и выпуск штормовых прогнозов, а именно прогнозов формата «наукастинг» позволяет, во многих случаях, избежать или существенно уменьшить ущерб от воздействия атмосферного электричества на воздушные суда.

Проведенный анализ данных комплексного наблюдения за градовым облаком в процессе его развития в районе городов Ессентуки–Пятигорск 29 мая 2012 года позволил установить характеристики молниевой активности и их связи с некоторыми радиолокационными характеристиками, характеризующими грозовую активность облака. Изучены критерии грозоопасности, известные нам ранее, и проанализирована практическая целесообразность использования данных о объёме переохлаждённой части облака, т.е. $dV35$ как критерия грозоопасности.

На основе данных от 29 мая 2012 года не выявлена актуальность применения в практической работе критериев $Y_{\text{Зимина}}$ и Y_{Salman} , так как грозопеленгатор LS8000 фиксировал разряды молний до момента, когда данные критерии спрогнозировали грозу. Критерий Y показал себя лучше, но его надёжность не является достаточной для использования в работе. Регрессионная связь, выявленная с критерием $dV35$ является более надёжной и применимой к прогнозированию грозовой активности.

На основе исследований грозовой активности на Северном Кавказе с помощью грозопеленгаторов и радиолокаторов возможно совершенствование существующих и разработка новых эффективных методов контроля электрического состояния грозовых облаков, в том числе и для других районов России, с помощью существующей сети МРЛ.

Наша профессиональная забота – обеспечение безопасности Вашего полёта .

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Хромов, С.П. Метеорологический словарь [Текст] / С.П. Хромов, Л.И. Мамонтова.–Л.: Гидрометеиздат, 1974.
- 2 Атмосфера: справочник (справочные данные, модели) [Текст] / Под ред. О. В. Лапиной, О. Д. Рейнгеверц.–Л.: Гидрометеиздат, 1991.
- 3 Активно-пассивная радиолокация грозowych и грозоопасных очагов в облаках [Текст] / Под ред. Л.Г. Качурина, Л.И. Дивинского.–СПб.: Гидрометеиздат, 1992.
- 4 Кужекин, И.П. Молния и молниезащита [Текст] / И.П. Кужекин, В.П. Ларионов, Е.Н. Прохоров.–М.: Знак
- 5 Базелян, Э.М. Физика молнии и молниезащиты [Текст] / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер.–М.: Физматлит, 2001.
- 6 Аджиев, А.Х. Атмосферно-электрические явления на Северном Кавказе [Текст] / А.Х. Аджиев, Г.В. Куповых.–Таганрог: Изд. ТРТУ, 2004.
- 7 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: ввод в действие 1.10.93.– СПб.: Гидрометеиздат, 1993.
- 8 Аджиев, А.Х. Территориальные особенности грозовой активности на Северном Кавказе по метеорологическим и инструментальным данным [Текст] / А.Х. Аджиев, А.А. Аджиева, З.М. Князева, В.Н. Стасенко // Метеорология и гидрология.–2015.–№4.
- 9 Киселев, В.Н. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы) [Текст]: учебник / В.Н. Киселев, А.Д. Кузнецов.–СПб.: Изд. РГГМУ, 2004.
10. Богаткин О. Г. Основы авиационной метеорологии. - СПб.: РГГМУ. 2009.
11. Кашлева, Л.В. Атмосферное электричество [Текст]: учебное пособие.– СПб.: Изд. РГГМУ, 2008

12. Изучение взаимосвязи процессов облако- и осадкообразования с электрическими явлениями в конвективных облаках активно-пассивными радиотехническими средствами: Научно-технический отчет // Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова. – Нальчик, 2010.
13. 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: ввод в действие 1.10.93.– СПб.: Гидрометеоздат, 1993.
14. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе / Под ред. Г.Г. Сванидзе, Я.А. Цуцкиридзе. – Л.: Гидрометеоздат, 1980.
15. Аджиев А.Х., Аджиева А.А. Пространственные и временные вариации грозовой активности над Северным Кавказом. / А.Х. Аджиев, А.А. Аджиева // Метеорология и гидрология. – 2009.
16. Говорушко С.М. Риски для человеческой деятельности, связанные с грозами / С.М. Говорушко // Проблемы анализа риска. – 2011. – № 4.
17. Богаткин О. Г. Авиационные прогнозы погоды. – СПб.: изд. «БХВ-Петербург». – 2010.
18. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы / Л.Т. Матвеев. - СПб.: Гидрометеоздат, 2000.
19. Имянитов И. М. Шифрин К.С. Современное состояние исследований атмосферного электричества. – Т. 76; вып. 4, Апрель 1962.
20. Назаренко А. В. Опасные явления погоды конвективного происхождения / А.В. Назаренко Учебно-методическое пособие для ВУЗов. Часть 3. – г. Воронеж.-2000

