



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
(бакалаврская работа)

На тему «Исследование развития грозоградового облака Северо-Кавказского
региона дистанционными средствами»

Исполнитель Кузьменко Пётр Юрьевич
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Михайловский Юрий Павлович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич
(фамилия, имя, отчество)

17.06.2019.

Санкт-Петербург
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Сокращения.....	1
Введение	2
Глава 1. Электризация облаков, грозы и молнии.....	5
1.1 Развитие грозового облака.....	5
1.2 Электрическая структура грозового облака.....	7
1.3 Молнии.....	9
1.3.1 Типы линейной молнии.....	9
1.3.2 Стадии развития линейной молний.....	10
1.3.3 Компоненты молний.....	11
Глава 2. Технические средства измерений параметров грозового облака и молний и общая характеристика региона наблюдений.....	13
2.1 МРЛ-5.....	13
2.2 Грозорегистратор LS 8000.....	14
2.3 Общая характеристика региона наблюдений.....	18
Глава 3. Обработка данных.....	21
3.1 Исходные данные.....	21
3.2 Создание широтно-долготной сетки.....	24
3.3 Выборка молниевых разрядов.....	26
Глава 4. Анализ электрических характеристик грозового облака.....	29
Заключение.....	41
Список использованной литературы.....	42
Приложение А	
Приложение Б	

СОКРАЩЕНИЯ

МРЛ	–	Метеорологический радиолокатор
ЭМИ	–	Электромагнитное излучение
LF	–	Низкочастотный приёмник комплекса LS 8000
VHF	–	Высокочастотный приёмник комплекса LS 8000
GPS	–	Система глобального позиционирования
ВГИ	–	Высокогорный Геофизический институт

ВВЕДЕНИЕ

Облака – одно из интереснейших и сложнейших явлений природы. Несмотря на длительный и устойчивый интерес человечества к этому явлению очень многие вопросы физики облаков остаются нерешенными. Изменяя тепловой и радиационный режим атмосферы облака существенно влияют на многие стороны деятельности человека, а также на растительный и животный мир. Велика зависимость от облаков, туманов и осадков различных видов транспорта и в первую очередь авиации.

Грозовая облачность наиболее интересна для исследования в виду её ярко выраженных электрических характеристик и сопутствующего ей изменения метеорологических полей. Именно в данном типе облачности наблюдаются наиболее опасные и разрушительные явления природы: грозы, шквалы, ливневые осадки, смерчи, грады, турбулентность.

Наглядным примером опасности для грозовых облаков могут служить следующие данные: восходящие потоки в грозовом облаке могут иметь скорость до 50-60 м/с, а энергия облака размером 10 x 10 км и высотой 5 км примерно равна мощности атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму или Нагасаки. Также с грозой связан очень опасный град, размеры которого могут быть достаточно большими. На территории Российской Федерации самый крупный град наблюдался в Ростовской области. Здесь зафиксирована масса отдельных градин в 1800 г. Перед грозовым облаком у земли могут наблюдаться шквалы со скоростью ветра более 60 м/с (более 230 км/ч). [1]

Актуальность изучения электрических характеристик грозовых облаков существенна, так как современная теория облако– и осадкообразования должна учитывать электрические заряды на частицах, электрические поля в атмосфере и электрические разряды в облаках разных масштабов, от коронных до молний, поскольку эти процессы оказывают влияние на поля метеорологических

элементов. Перспективным представляется изучение возможности использования электрических характеристик, например, разрядов молний, для прогнозирования других опасных явлений природы.

Решению проблем, связанных с получением данных об электрических характеристиках облаков способствует применение современных средств дистанционного зондирования – МРЛ (метеорологических локаторов), грозопеленгаторов и ракетного зондирования облаков.

Научная новизна исследования электрических характеристик облака заключается в использовании данных современных средств грозопеленгации вместе с данными радиолокации для изучения связей контролируемых параметров и исследовании возможности использования этих связей для целей дистанционных методов диагноза и прогноза опасных явлений погоды.

В данной работе были использованы программные средства для решения поставленных задач и изучено распределение молниевых разрядов и их связь с радиолокационными параметрами облачности. Были детально рассмотрены молниевые характеристики выбранного грозового облака.

Цель данной работы – анализ электрических характеристик грозового облака и выявление регрессионных связей между электрическими характеристиками и радиолокационными параметрами облака.

Научная новизна проводимых исследований обусловлена использованием самой современной в стране системы местоопределения молний LS-8000, позволяющей получать характеристики как разрядов «облако – земля», так и разрядов «облако-облако», двухволнового метеолокатора МРЛ-5 с автоматической системой обработки и анализа получаемой информации, позволяющей оценивать различные микрофизические параметры исследуемых облаков, например, максимальный диаметр частиц града. Представленные материалы анализируются впервые.

Исходными данными служат данные грозопеленгации и радиолокации района города Нальчик за 07 июня 2012 года. Объектом исследования выступает кучево-дождевое облако, развитие которого зафиксировано МРЛ.

ГЛАВА 1. Электризация облаков, грозы и молнии

1.1. Развитие грозового облака

За время своей жизни грозовое облако проходит несколько стадий, которые различаются фазовой структурой и их электрическим состоянием. Кучево-дождевое облако является грозовым, если какая либо стадия его жизни сопровождается грозовыми явлениями. Такие облака состоят из одной или нескольких (до 5-10) конвективных ячеек. Общеизвестным является представление о развитии грозы в три стадии (рисунок 1.1 [3]):

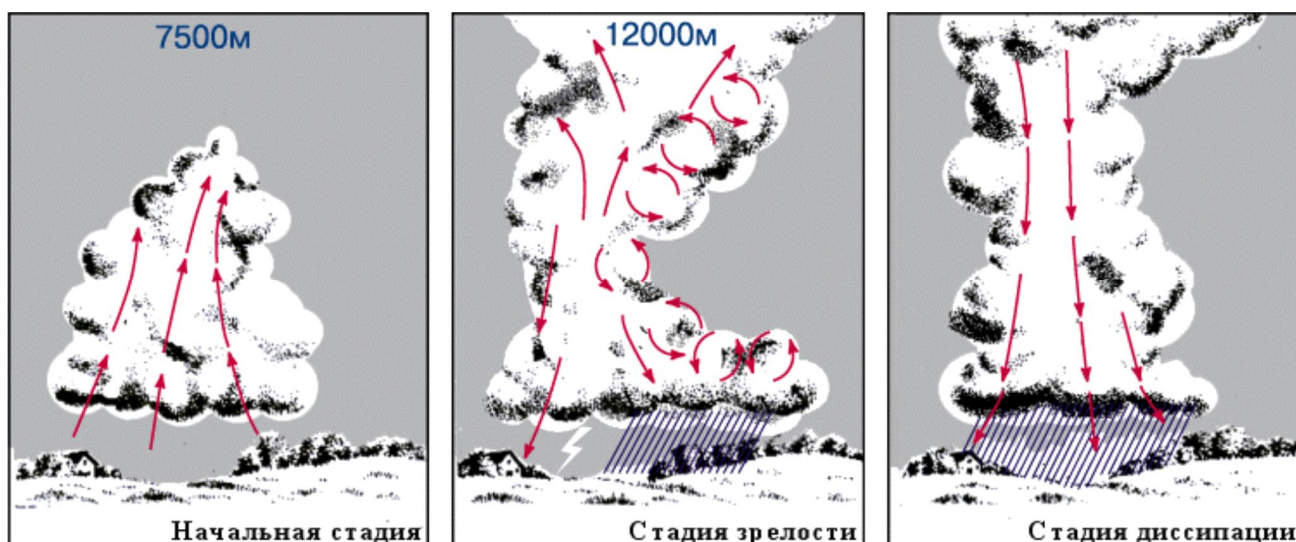


Рисунок 1.1 – Стадии эволюции грозового облака

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. Преобладают восходящие токи во всём объеме ячейки с циклоническим втеканием воздуха и

образованием частиц осадков. Токи в облаках могут достигать 15-20 м/с, а нисходящие токи очень слабые. Продолжительность стадии – 10-20 минут.

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 или тропопаузы, характерно образование в верхней части облака наковальни. В зрелых ячейках рядом с относительно теплым восходящим потоком при циклонической циркуляции воздуха подоблачного слоя возникает холодный нисходящий поток с антициклоническим вытеканием. 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. Облако в данной стадии характеризуется глубоким развитием, как по горизонтали, так и по вертикали, интенсивными ливневыми осадками, электрическими разрядами. Квазистационарность полей метеорологических величин сохраняется 30-40 минут.

3) Стадия рассеяния (диссипации)

Данная стадия продолжается от начала разрушения облака до момента его трансформации в облака других форм. При этом, как правило, образуются облака различных ярусов, небольшие по своей вертикальной мощности. Под диссипирующим облаком преобладает антициклоническая циркуляция воздуха (вытекание), вертикальные токи направлены как в верх, так и вниз, но их скорость не превышает 5 м/с.

Средняя продолжительность жизни грозового облака составляет примерно 5 ч. Однако, это именно средняя величина. Иногда все три стадии развития облака могут «уложиться» и в один час, а то и меньше, а иногда грозовое облако может сохраняться до 10 ч и более. [1]

1.2 Электрическая структура грозового облака

Молнии и другие электрические явления в грозовых облаках всегда указывают на присутствие в них больших электрических зарядов. Было установлено, что заряды в облаке располагаются определенным образом, причем заряды одного знака концентрируются над зарядами другого знака. Такое облако называется «биполярным» и считается, что оно имеет положительную полярность, если наверху находится положительный заряд, и отрицательную полярность в противоположном случае. [4]

Было установлено, что, как правило, структура распределения электрических зарядов зрелых грозовых облаков представляет собой триполь. Триполь состоит из определяющей области избыточного отрицательного заряда (т.е. в этой области присутствуют частицы с положительным и отрицательным зарядами, но преобладают отрицательно заряженные частицы), расположенного в центральной части облака между изотермами -5°C и -2°C . Область избыточного положительного заряда располагается в верхней части облака. Кроме того, в нижней части облака располагается вторая, более локализованная область избыточного положительного заряда. [4]

Наглядное распределение заряда в грозовом облаке представлено на рисунке 1.2. [5]

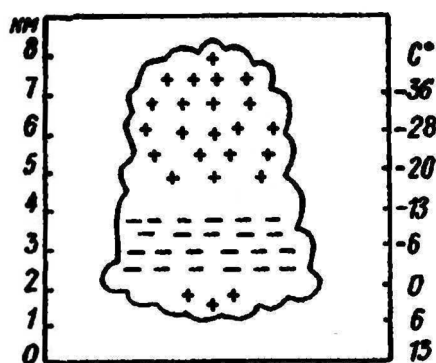


Рисунок 1.2. – Схема распределения электрических зарядов в грозовом облаке

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. [7]

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 ее поверхности. Затем фронт кристаллизации распространяется внутрь капли. В жидкой и твердой фазах воды происходит диссоциация (расщепление) молекул

H₂O 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. [8, 4, 7]

1.3. 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. [6]

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. [7] Это частый и типичный вид молнии. Заряды, переносимые линейными молниями из

атмосферы в Землю, в значительной мере определяют действие глобальной электрической цепи Земля–атмосфера.

1.3.1. 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. [4]

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.

1.3.2. Стадии развития линейной молнии

У нисходящей отрицательной молнии обычно можно выделить три основные стадии развития: лидерную, главную и финальную [4].

1) Лидерная стадия.

Искровой разряд начинается с объединения нескольких стриммеров – отдельных разрядов, «сети проводящих нитей» [8]. Стриммерные процессы обеспечивают необходимую плотность энергии для термоионизации воздуха

[4]. При достижении пробойных значений напряженности от облака к поверхности Земли развивается поток электронов, вызывающих ударную (лавинообразную) ионизацию воздуха. Такой поток называется лидером [8]. 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. [9] Лидерный процесс развивается со средней скоростью $10^5 - 20^5$ м/с и продолжается (в видимой с земли части) 10 – 30 мс. Ток в лидерной стадии молнии имеет порядок десятков и сотен ампер. [7]

2) Главная стадия.

Начинается с момента контакта лидера с поверхностью Земли или заземленным объектом. Чаще всего, это не непосредственный контакт. От вершины объекта может возникать 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 [7] 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. [7] Длительность главной стадии может составлять сотни микросекунды [5].

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 [4].

1.3.3. 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. [4]

ГЛАВА 2. Технические средства измерений параметров

грозового облака и молний и общая характеристика региона наблюдений

2.1. МРЛ-5

МРЛ-5 является двухволновым высокопотенциальным метеорологическим импульсным радиолокатором. Локатор М РЛ-5 может работать как в режиме штормоповещения, так и при обслуживании градозащиты. Далее приведена обобщенная схема импульсного метеорологического радиолокатора.

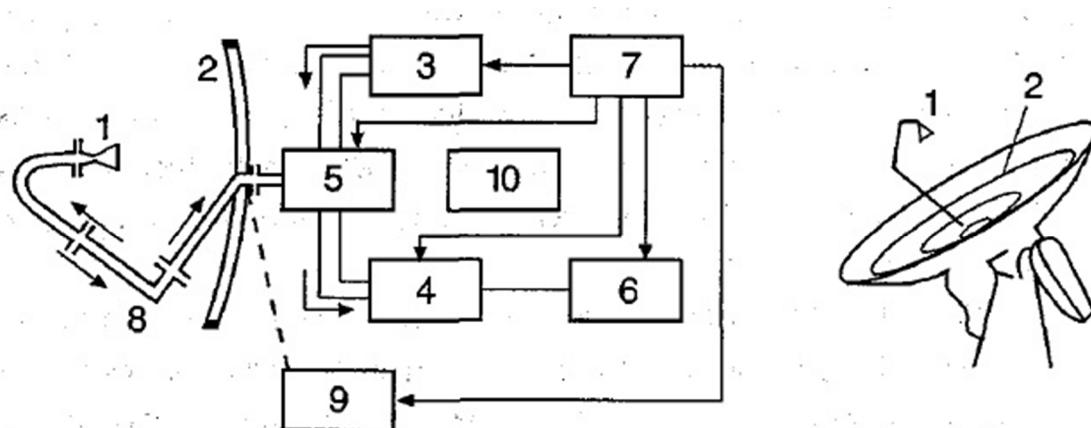


Рисунок 2.1. [10] – Обобщенная схема импульсного метеорологического радиолокатора

Цифрами на рисунке обозначены:

1 – облучатель; 2 – зеркало-отражатель; 3 – передатчик; 4 – приемник; 5 – антенный переключатель; 8 – волноводно-фидерный тракт; 9 – блоки управления антенной; 10 – блоки управления электропитанием.

Отметим следующие основные особенности МРЛ-5:

1) Применение антенной системы с параболическим отражателем и двухдиапазонным облучателем, формирующей узкие диаграммы направленности;

2)Использование двух отдельных каналов. Режим штормового оповещения может осуществляться на каждом из каналов, режим обслуживания градозащиты реализуется, в основном при совместной работе обоих каналов;

3)Высокая чувствительность приёмных устройств и широкий динамический диапазон;

4)Автовыделение грозовых очагов с помощью специальных устройств;

5)Аппаратура преобразования угловой информации обеспечивает выдачу азимута метеоцелей в географических и артиллерийских координатах с высокой точностью ($0,1^0$), вычисление высоты и географической дальности.

Таблица основных тактико-технических характеристик МРЛ-5 представлена в Приложение А [10]

2.2. Грозорегистратор LS 8000

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.

Грозорегистратор LS 8000 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 разрядов и его энергетические характеристики.

В состав комплекса LS 8000 входят: блок антенн и приёмников; блок

обработки сигналов на базе мощных компьютеров; приемник GPS с антенной; функциональное программное обеспечение; комплект кабелей; монтажный комплект; комплект эксплуатационной документации.

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. [11]

В комплексе также предусмотрено решение следующих задач: документирование, архивирование и статистическая обработка полученной информации. Для этого комплекс использует формат Universal ASCII Lightning Format (UALF). Структура данного формата приведена в таблице 2.1.

Таблица 2.1. – Структура формата Universal ASCII Lightning Format (UALF)

№ поля	Описание	Допустимые значения
1	Ноль или положительное целое число, обозначающее номер версии UALF.	0,1
2	Год, включая век	1970 to 2032
3	Месяц. Январь = 1, Декабрь = 12	1 to 12
4	День месяца	1 to 31
5	Час, по умолчанию в UTC	0 to 23
6	Минута	0 to 59
7	Секунда	0 to 59
8	Наносекунда	0 to 999999999
9	Широта расчетного местоположения в десятичных градусах, к 4 десятичным разрядам	–90.0000 to 90.0000
10	ДОЛГОТА расчетного местоположения в десятичных градусах, к 4 десятичным разрядам	–180.0000 to 180.0000
11	Расчётный максимальный ток в kiloamperes (kA)	–9999 to 9999
12	Разнообразие данных о молнии (количество разрядов). Данные о РАЗРЯДЕ= 0	0 to 99
13	Число датчиков, участвующих в решении	2 to 99
14	Градусы свободы оптимизации местоположения	0 to 99
15*	Угол эллипса рассеяния по часовой стрелке от 0 градусов на север	0 to 180.0
16*	Длина главной полуоси эллипса в километрах (км)	0 to 50.0
17*	Длина малой полуоси эллипса в километрах (км)	0 to 50.0
18	Значение Хи-квадрат оптимизации местоположения	0 to 999.99
19	Время нарастания формы волны в микросекундах	0 to 99.9
20	Время от пика до ноля формы волны в Микросекундах	0 to 999.9
21	Максимальный градиент повышения формы волны в kA/μsec	0 to 999.9
22	Облачный индикатор. Внутриоблачный разряд = 1, облако-земля = 0	0, 1
23	Угловой индикатор. данные углового датчика использовались при расчете положения. 1 = Да, 0 = Нет	0, 1
24	Индикатор сигнала. данные датчика сигнала использовались при расчете положения. 1 = Да, 0 = Нет	0, 1
25	. Данные датчика времени использовались при вычислении положение 1 = Yes, 0 = No	0, 1

2.3 Общая характеристика региона наблюдений

Территория наблюдений за облаками, находящаяся в радиусе обзора радиолокационной станции Высокогорного Геофизического института (ВГИ), расположена в южной климатической зоне умеренных широт. Условия атмосферной циркуляции здесь формируются под воздействием общепланетарных процессов и местных факторов, обусловленных орографическими особенностями данного региона.

Расположение района в сложных физико-географических условиях, близость бассейна Черного моря, лежащего на пути западных вторжений, определяют пониженную температуру и повышенное увлажнение, которые способствуют активизации конвективных процессов в теплый период года. В это время отмечается повышенная повторяемость западных вторжений по периферии отрога азорского максимума. К числу региональных особенностей следует отнести: частный орографический циклогенез в районе Теберды и Северной Осетии, выход южных циклонов со Средиземного моря. Повышенная градоопасность территории объясняется в том числе близостью Главного Кавказского хребта, задерживающего продвижение атмосферных фронтов и способствующего их стационарированию, волнообразованию, окклюдированию. Для наиболее полного понимания физической географии региона обратимся к рисунку 2.2.

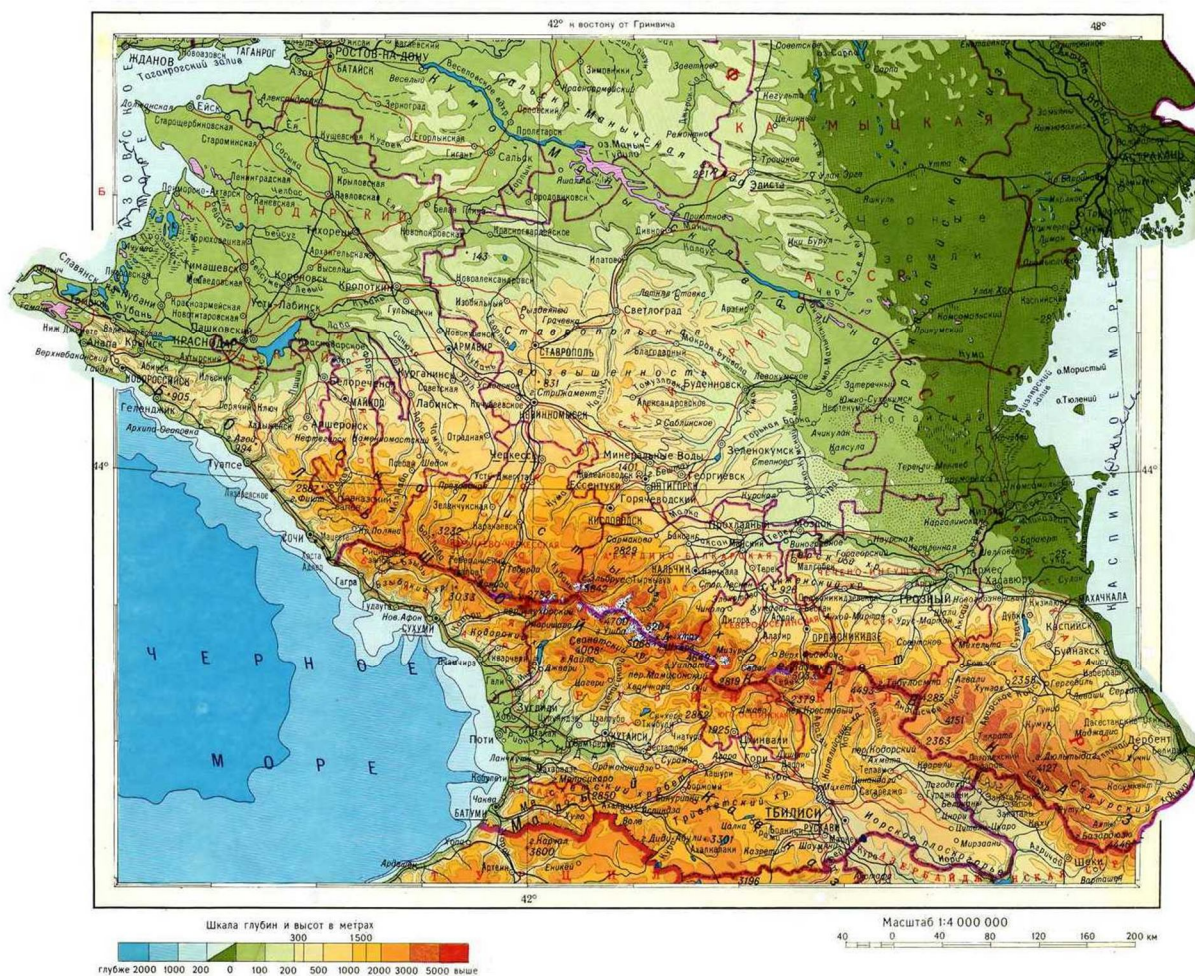


Рисунок 2.2. – Физическая карта Северного Кавказа [11]

Самые высокие среднесезонные и абсолютные температуры (22 °С и 37 °С) наблюдаются в центральном районе наблюдений. Наиболее увлажненным является северо-западный район, где у земли преобладает восточный ветер, скорость которого достигает 40 м/с. В юго-восточной части территории – преимущественно северо-западный ветер до 17 м/с.

В теплый период года над Северным Кавказом преобладает воздушный поток западной четверти, обычно сопровождающийся вторжением полярных, реже арктических воздушных масс.

За сезон в районе наблюдений отмечается, как правило, до 90-100 дней с ливнями и грозами, которые в некоторых случаях сопровождаются выпадением крупы и града. Подробные данные о числе дней с грозами и градами за каждый месяц сезона 2010 – 2012 годов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. – Распределение по месяцам количества дней с градом, грозами и ливнями за 2010-2012 годы

Месяц	Количество дней					
	с градом			с грозами и ливнями		
	2010	2011	2012	2010	2011	2012
апрель	1	0	1	12	5	13
май	13	8	14	25	17	22
июнь	11	15	10	26	26	17
июль	6	10	5	22	18	19
август	3	4	4	16	15	12
сентябрь	1	3	0	9	13	7
Всего	35	40	34	110	94	90

Для Кавказского региона характерна неоднородность грозовой активности, так на двух соседних метеостанциях число дней с грозами может значительно различаться. Эта неоднородность может быть следствием ряда причин:

1) Сложная орография, усиливающая или ослабляющая развитие гроз. Существенное влияние оказывает направленность основных составляющих рельефа к ведущему потоку: Кавказский хребет обуславливает преимущественный перенос воздушных масс с северо-запада на юго-восток.

2) 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;

3) Различия в значениях средних многолетних температурно-влажностных характеристик подстилающей поверхности и значениях

температуры и влажности у поверхности земли обеспечивают неоднородность распределения грозовой активности.

ГЛАВА 3. Обработка данных

Для выполнения работы необходима обработка исходных данных, включающая выявление разрядов (как LF, так и VHF), принадлежащих объекту исследования (облаку №2) и их последующее осреднение с целью более наглядного представления в виде графиков и/или гистограмм и сопоставления с радиолокационными параметрами.

3.1 Исходные данные

Для анализа электрических характеристик грозового облака и выявления связей между электрическими характеристиками и радиолокационными параметрами облака были привлечены данные грозопеленгации и радиолокации. Данные представлены в виде файлов программного пакета «Statistica» с расширением .sta и представляют собой массивы наблюдений.

Файл исходных данных низкочастотного (LF) сенсора это массив наблюдений 25×14402

Таблица 3.1 – Фрагмент таблицы исходных данных грозопеленгации низкочастотного сенсора LF.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	2012	6	7	11	40	52	189010325	44,9679	42,8456	-6	0	2	1	25,4
2	0	2012	6	7	11	40	53	504298576	44,9533	42,7824	-4	0	2	1	25,5
3	0	2012	6	7	11	40	56	137221194	44,9541	43,0397	-4	0	2	1	26,7
4	0	2012	6	7	11	40	56	243303308	44,8597	42,9524	3	0	2	1	27,3
5	0	2012	6	7	11	40	56	340928708	44,9841	42,8919	-6	0	2	1	25,2
6	0	2012	6	7	11	40	57	314099143	45,7252	42,1585	8	0	2	1	163,7
7	0	2012	6	7	11	40	57	315904795	45,79	42,1003	11	0	3	3	68,8
8	0	2012	6	7	11	40	57	317128005	45,8435	42,1043	9	0	2	1	161,8
9	0	2012	6	7	11	40	58	374748305	44,9287	39,2435	-31	0	3	3	61,7
10	0	2012	6	7	11	40	59	862931040	45,5133	42,3974	6	0	2	1	176,8
11	0	2012	6	7	11	41	1	162415022	45,0033	42,9978	-3	0	2	1	25,4
12	0	2012	6	7	11	41	1	204491823	44,059	43,0247	-6	0	2	1	14,9

13	0	2012	6	7	11	41	2	256962926	44,9341	42,8657	4	0	2	1	25,9
14	0	2012	6	7	11	41	3	101908786	44,881	43,0385	-4	0	2	1	27,5
15	0	2012	6	7	11	41	3	127032493	44,9462	43,0744	3	0	2	1	27,1

Файл начальных данных высокочастотного (VHF) сенсора это массив наблюдений 25×169096

Таблица 3.2 – Фрагмент таблицы исходных данных грозопеленгации высокочастотного сенсора VHF.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	2012	6	7	11	40	1	391700000	43,8078	42,929	0	0	2	0	38,7
2	0	2012	6	7	11	40	2	59900000	46,4253	44,1192	0	0	3	1	169,3
3	0	2012	6	7	11	40	4	126700000	44,1102	43,1025	0	0	2	0	61,4
4	0	2012	6	7	11	40	4	126800000	44,0708	43,0328	0	0	2	0	59,9
5	0	2012	6	7	11	40	4	126800000	44,1102	43,1025	0	0	2	0	61,4
6	0	2012	6	7	11	40	4	126900000	44,0845	43,0733	0	0	2	0	60
7	0	2012	6	7	11	40	4	127000000	44,0845	43,0733	0	0	2	0	60
8	0	2012	6	7	11	40	4	530700000	43,8598	42,9305	0	0	2	0	42,4
9	0	2012	6	7	11	40	4	624100000	44,9537	43,0326	0	0	2	0	112,9
10	0	2012	6	7	11	40	4	624200000	44,959	42,948	0	0	2	0	110,4
11	0	2012	6	7	11	40	4	624300000	44,9218	42,9368	0	0	2	0	113,2
12	0	2012	6	7	11	40	4	624400000	44,9948	42,8047	0	0	2	0	108,1
13	0	2012	6	7	11	40	4	624700000	44,9809	42,8565	0	0	2	0	109,5
14	0	2012	6	7	11	40	4	636700000	44,9546	42,999	0	0	2	0	108,3
15	0	2012	6	7	11	40	4	735100000	43,863	42,9448	0	0	2	0	38,6
16	0	2012	6	7	11	40	5	324000000	44,3117	43,1537	0	0	2	0	80,2
17	0	2012	6	7	11	40	5	472600000	44,8919	42,9013	0	0	2	0	115,3
18	0	2012	6	7	11	40	5	472900000	44,4547	43,2257	0	0	2	0	98,2
19	0	2012	6	7	11	40	5	563100000	44,1268	43,0675	0	0	2	0	64,9
20	0	2012	6	7	11	40	5	563200000	44,1268	43,0675	0	0	2	0	64,9

Структура формата приведена в главе 2 (См. таблица 2.1).

Весь массив начальных данных грозопеленгации представлен в приложении В.

Данные радиолокации представлены массивом измерений 238×95 (Таблица 3.3) и картами радиолокационной отражаемости (Приложение Б).

Полные таблицы начальных данных радиолокации представлены в приложении Г.

Таблица 3.3 – Фрагмент таблицы исходных данных радиолокации

№	t, мин	Hour	Min	Tmin10	Tmin6	Ttop10mkm	Line6	Column6
1								
2	0	11	34	-7,9	-39,9	-7,9	1	4
3	3							
4	5	11	39	-5,7	-39,7	-5,7	1	4
5	6							
6	9							
7	10	11	44	-14,1	-38,8	-14,1	2	4
8	12							
9	15	11	49	-19	-41,7	-19	2	4
10	20	11	54	-23,2	-44,7	-23,2	2	5
11	24							
12	25	11	59	-38,6	-47,3	-38,6	4	4
13	27							
14	30	12	4	-46,4	-51,9	-45,4	4	5
15	34							
16	35	12	9	-48,4	-52,7	-48,4	4	5
17	37							
18	40	12	14	-49,4	-62	-46,4	3	5
19	42							
20	45	12	19	-51,4	-54,6	-48,4	4	5

3.2 Создание широтно-долготной сетки

В целях упрощения обработки и повышения наглядности для выявления разрядов, принадлежащих объекту исследования, был выбран графический метод. Так как нас интересуют разряды, принадлежащие конвективной ячейке 2 (рисунок 3.1), необходимо найти географические координаты прямоугольной области, которой мы аппроксимируем ячейку №2.

Размер малых квадратов на рисунке 3.1 равен 30 км, координаты радара – 43гр. 40мин. 44сек. С.Ш., 43гр. 24мин. 18сек. В.Д. Радар на рисунке расположен в центре.

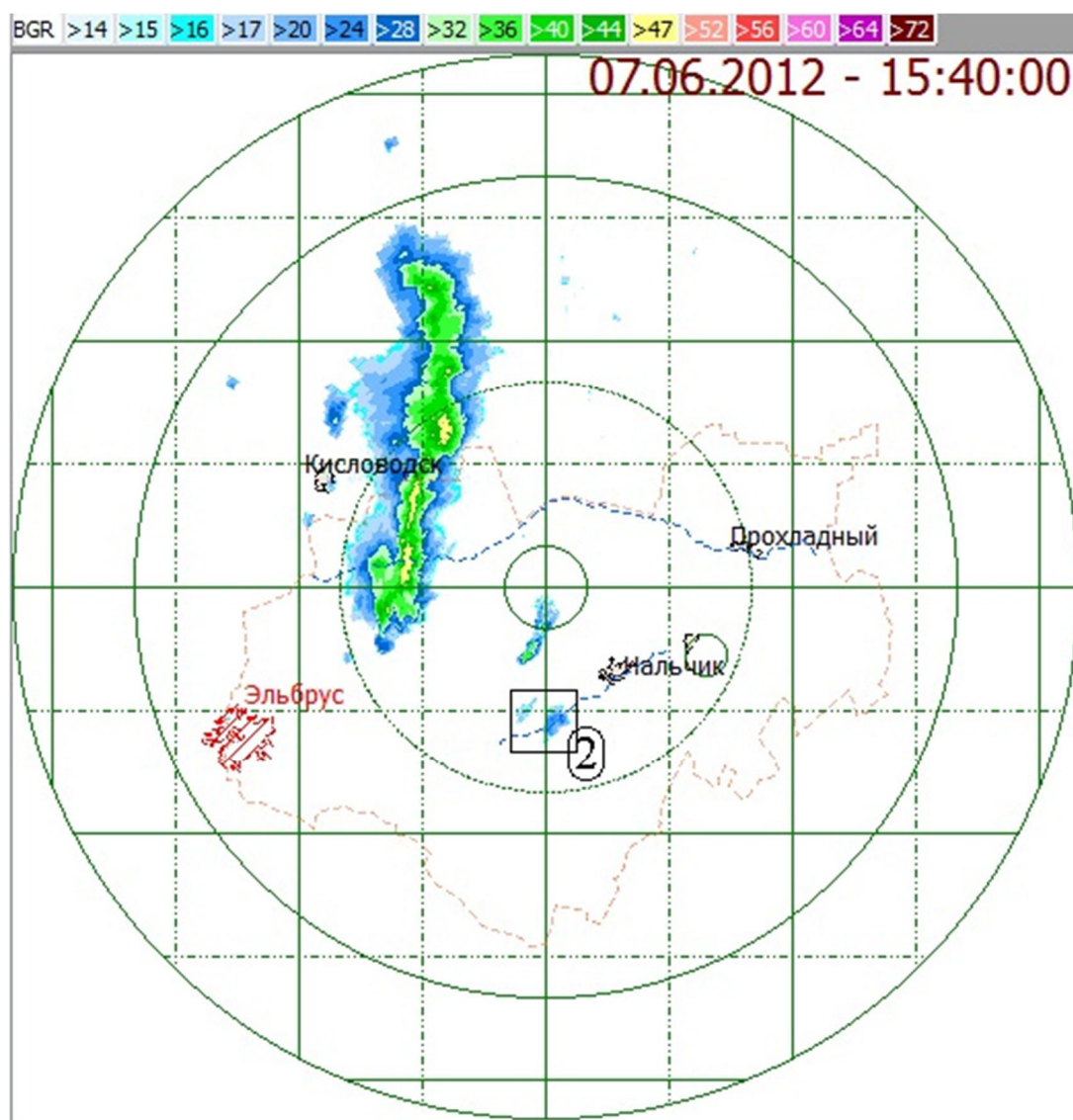


Рисунок 3.1 – Карта радиолокационной отражаемости

Для создания сетки географических координат используем карту максимальной радиолокационной отражаемости (рисунок 3.2).

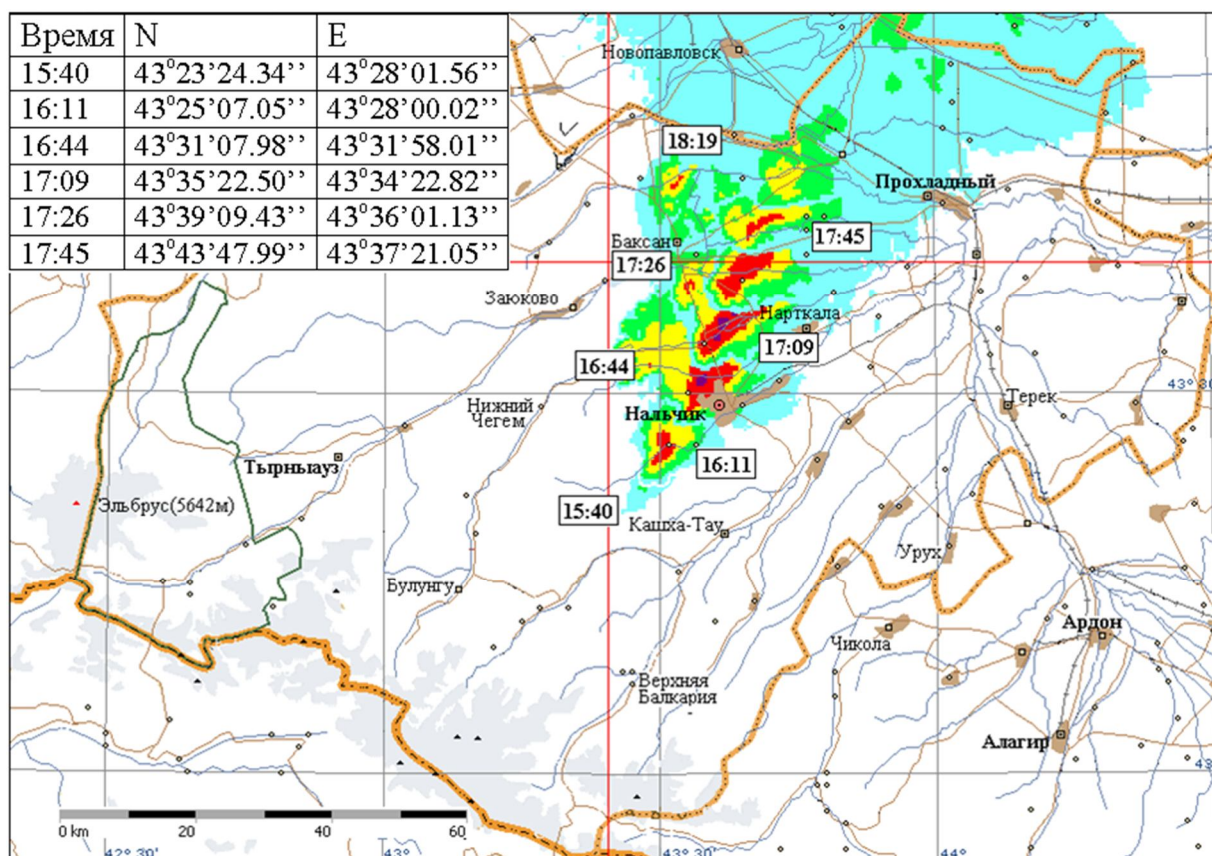


Рисунок 3.2 – Карта максимальной радиолокационной отражаемости

Редактируем рисунок 3.2 в графическом редакторе GIMP 2, копируя и перемещая масштабную линейку к радару. Далее откладываем по широте и долготе отрезки по 30 км; очерчиваем квадраты, в которых наблюдалось исследуемая ячейка и, используя широтно-долготную сетку карты максимальной радиолокационной отражаемости, находим координаты узлов. Найденные координаты узлов переводим в десятичные градусы. Результат этих операций показан на Рисунке 3.3.

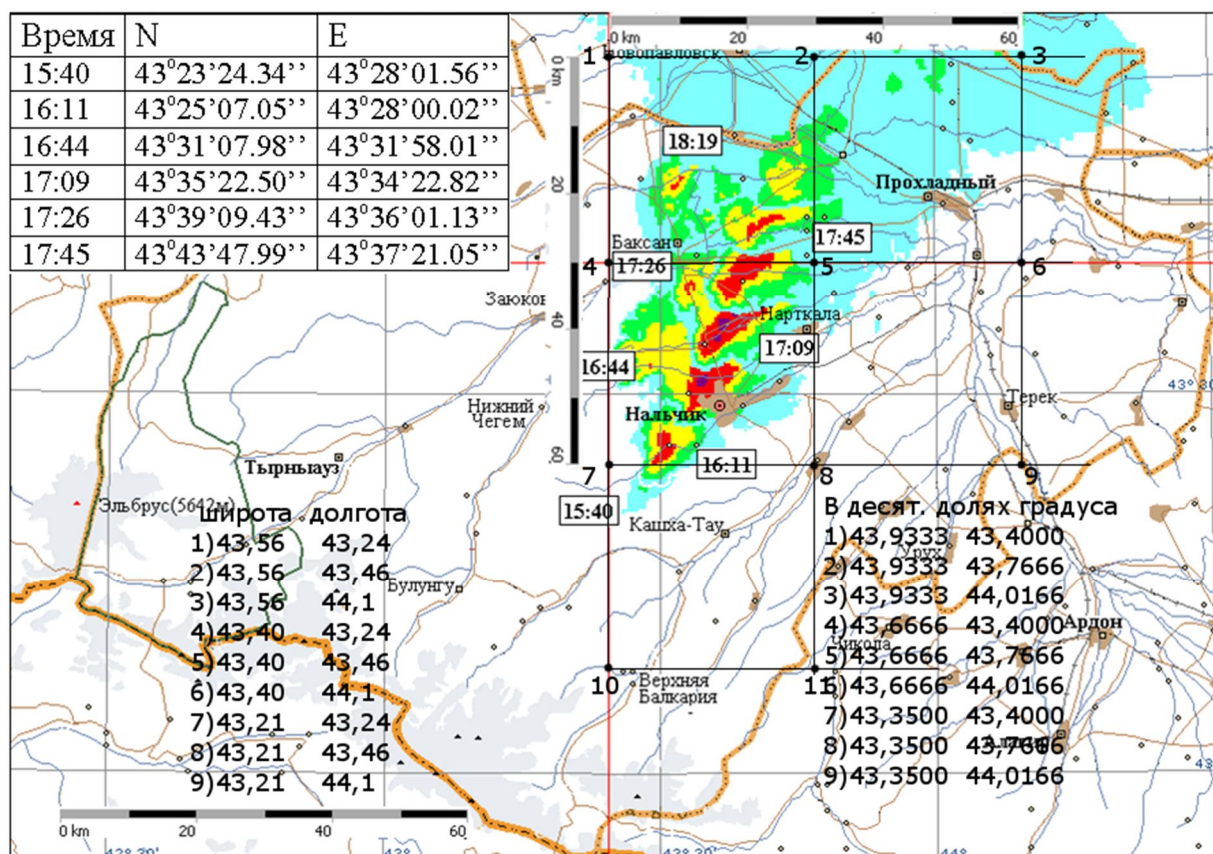


Рисунок 3.3 – Карта максимальной радиолокационной отражаемости с размеченными квадратами и координатами узлов.

Завершающий этап – в графическом редакторе GIMP 2 переносим полученные координаты на карты радиолокационной отражаемости (См. Приложение Б).

3.3 Выборка молниевых разрядов

Для выборки из всех наблюдаемых разрядов только тех, которые принадлежат исследуемой ячейке, переносим данные грозопеленгации в Microsoft Excel. По картам Приложения Б определяем координаты ячейки за каждый из 15 периодов работы лоатора и, используя функцию «фильтр» в Microsoft Excel, последовательно сортируем значения по широте и долготе. Полученные данные представлены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 – Таблица данных LF-разрядов для ячейки 2

LF Нальчик							
Час(UTC)	Минута	Секунда	Наносекунда	Предп. I(kA)	Обл. индикатор	Широта	Долгота
12	7	59	998045962	-8	1	43,4394	43,4465
12	10	34	523381317	-12	1	43,4446	43,4311
12	17	7	86445718	-12	1	43,5989	43,4789
12	17	7	87576493	-15	1	43,4463	43,5043
12	17	7	87879015	-27	1	43,4408	43,5006
12	20	16	544638068	-9	0	43,5615	43,4865
12	20	16	897873465	51	0	43,4733	43,5221
12	40	2	869815244	-10	1	43,5202	43,5627
12	41	11	964534284	-9	1	43,3902	43,561
12	47	2	794929009	-8	1	43,3886	43,526
12	49	6	997289877	6	0	43,6412	43,4748
12	50	46	276782075	-8	0	43,5974	43,4645
12	51	48	240112790	-10	1	43,4972	43,586
12	59	57	459739788	7	0	43,4913	43,5205
13	1	41	312260740	8	1	43,5131	43,5138
13	2	45	991063637	-10	0	43,5581	43,5627
13	4	49	938399523	-7	1	43,7153	43,4658
13	6	38	918204321	-9	0	43,5935	43,5018
13	6	59	681871145	-9	1	43,7119	43,4562
13	7	9	395658949	-9	0	43,6647	43,5031
13	7	57	17979479	-8	0	43,6073	43,558
13	9	31	165819093	-7	1	43,7001	43,5757
13	10	15	464529927	-8	1	43,6215	43,6096
13	12	36	686101764	-15	1	43,6696	43,6131
13	13	29	928302001	-8	1	43,5813	43,5504
13	13	30	86584396	-8	1	43,572	43,5431
13	13	51	549872007	-14	0	43,6265	43,5735
13	14	22	923157333	-7	1	43,5974	43,5701
13	15	22	684357701	-12	0	43,6149	43,6076
13	15	27	713890354	-9	1	43,5739	43,5612
13	23	34	831916693	-8	0	43,5393	43,6415
13	24	57	849382811	-8	1	43,6513	43,6272
13	26	54	740588746	-8	0	43,6089	43,6216
13	29	9	469085400	-7	1	43,5835	43,6634
13	30	4	173591290	-10	1	43,5923	43,64
13	38	17	975156422	-7	0	43,6474	43,6533
13	39	41	52632460	-10	1	43,6656	43,6806
13	39	41	75176449	-9	1	43,6215	43,7045
13	42	28	191972102	-6	1	43,7329	43,6092
13	44	30	583926998	-9	1	43,7371	43,5978
14	0	30	850808649	-4	1	43,6871	43,6783
14	1	28	568001143	-4	1	43,7403	43,6164
14	7	30	486322340	-3	1	43,7453	43,6347
14	9	2	279011552	-7	1	43,7362	43,6462
14	10	56	186774173	-5	0	43,7173	43,702
14	11	11	489125340	-3	1	43,7482	43,6254
14	12	34	677281122	-3	1	43,7582	43,6859
14	16	48	792099323	-16	1	43,6298	43,6033
14	17	0	675541526	-7	1	43,7592	43,5819

Таблица 3.5 – Фрагмент таблицы данных VHF-разрядов для ячейки 2

VHF Нальчик					
Час(UTC)	Минута	Секунда	Наносекунда	Широта	Долгота
12	1	28	982600000	43,3178	43,4275
12	1	29	16400000	43,5611	43,3796
12	2	47	637000000	43,376	43,4098
12	2	47	637100000	43,3901	43,38
12	9	26	109300000	43,4945	43,5191
12	10	34	528600000	43,559	43,3705
12	10	34	528700000	43,559	43,3705
12	10	34	683900000	43,5097	43,4094
12	10	34	835000000	43,4978	43,4188
12	10	34	835700000	43,5099	43,4138
12	13	18	906700000	43,5652	43,4984
12	13	18	906800000	43,4297	43,4896
12	17	7	86200000	43,5166	43,3995
12	17	7	89100000	43,4897	43,4314
12	17	7	293600000	43,4978	43,4827
12	20	16	548700000	43,507	43,4389
12	20	16	780400000	43,5717	43,4591
12	20	16	901000000	43,5726	43,4214
12	20	16	901800000	43,5078	43,4237
12	20	17	27600000	43,5138	43,438
12	20	17	84900000	43,5615	43,499
12	22	27	636700000	43,4649	43,3951
12	22	27	637100000	43,544	43,4278
12	22	27	807900000	43,5868	43,4345
12	23	29	56700000	43,5894	43,4074
12	24	13	243000000	43,3554	43,4675
12	24	13	386400000	43,5903	43,4333
12	27	26	604100000	43,5542	43,388
12	27	54	748800000	43,5728	43,438
12	31	57	42000000	43,5489	43,4826
12	34	17	883600000	43,607	43,5045
12	34	41	590600000	43,5419	43,4535
12	34	58	798600000	43,4764	43,4869
12	34	58	798700000	43,5441	43,4662
12	35	11	458500000	43,456	43,5694
12	35	11	458600000	43,4872	43,5799
12	35	35	489700000	43,6036	43,3825
12	35	35	489800000	43,5104	43,3972
12	35	35	489800000	43,6036	43,3825
12	36	8	493400000	43,5344	43,444
12	36	8	493500000	43,5304	43,3897
12	37	3	631400000	43,5993	43,513
12	37	3	631500000	43,6313	43,4903
12	37	3	631600000	43,6339	43,4754
12	37	3	631700000	43,632	43,4771
12	37	32	798400000	43,6107	43,4965
12	37	32	798500000	43,5802	43,4916

Далее выполняем поминутное осреднение

ГЛАВА 4. Анализ электрических характеристик грозового облака

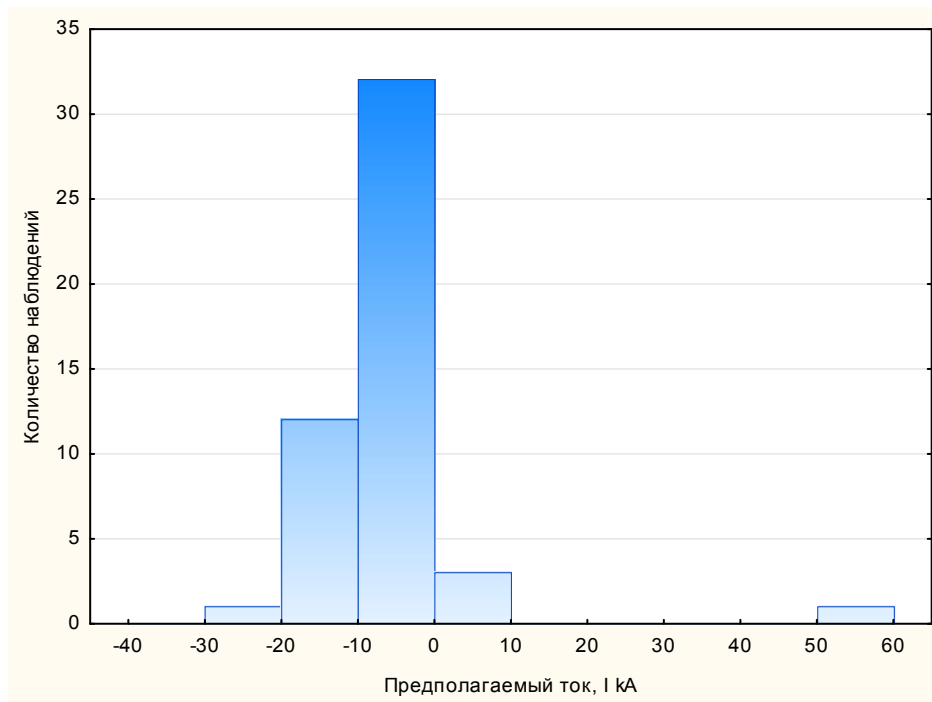


Рисунок 4.1 Гистограмма расчётных токов

На гистограмме показана повторяемость наблюдений молний с определённой силой тока. Данная характеристика очень важна, так как именно токами молний и скоростями их изменений обусловлены негативные последствия воздействия молний на объекты природы и народного хозяйства, включая различные радиотехнические системы. Рассмотрев данное распределение нетрудно заметить, что большая часть LF разрядов несла отрицательный заряд, однако самые сильноточные разряды имеют положительный знак и малую повторяемость. Среднее значение рассматриваемых токов $-8,25$ кА, причем среднее отрицательных токов - ?? кА, а положительных ?? кА. Положительных молний наблюдалось в 77 раз меньше, чем отрицательных(??/??)

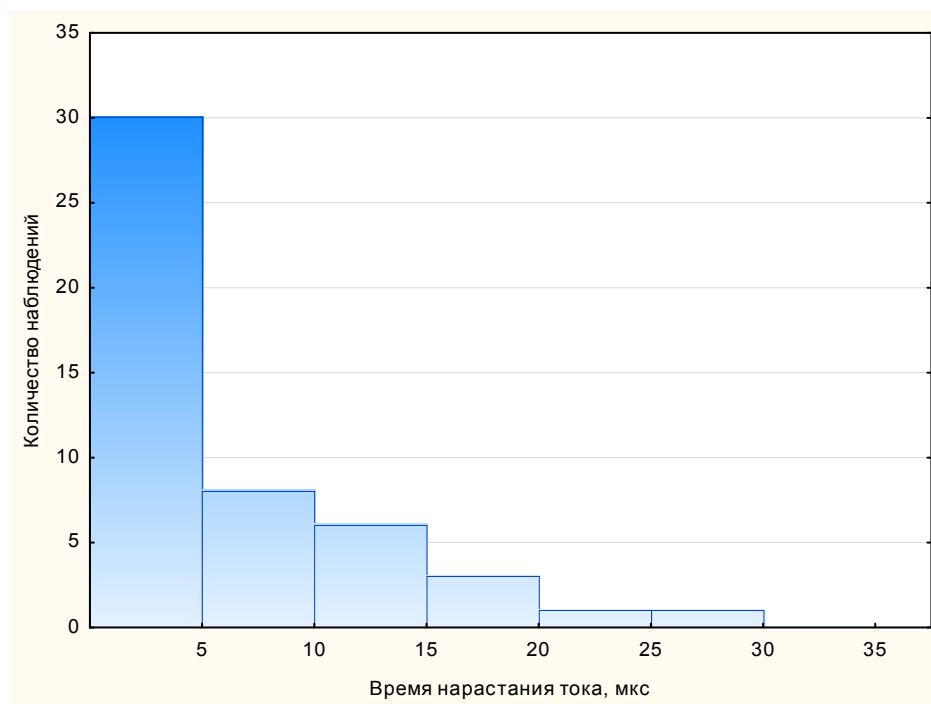


Рисунок 4.2 Гистограмма времени нарастания тока

На рисунке представлена повторяемость времени нарастания тока в разрядах. Ток в среднем нарастал за 6 мкс. Это указывает на то, что большинство разрядов несёт отрицательный заряд и принадлежит к типу облако-земля, так как данное время нарастания тока типично именно для нисходящих отрицательных молний. Эта характеристика также очень важна для оценки молниевой опасности, т.к. она вместе с токами определяет интенсивность электромагнитного излучения молнии, представляющего опасность для радиотехнических систем.

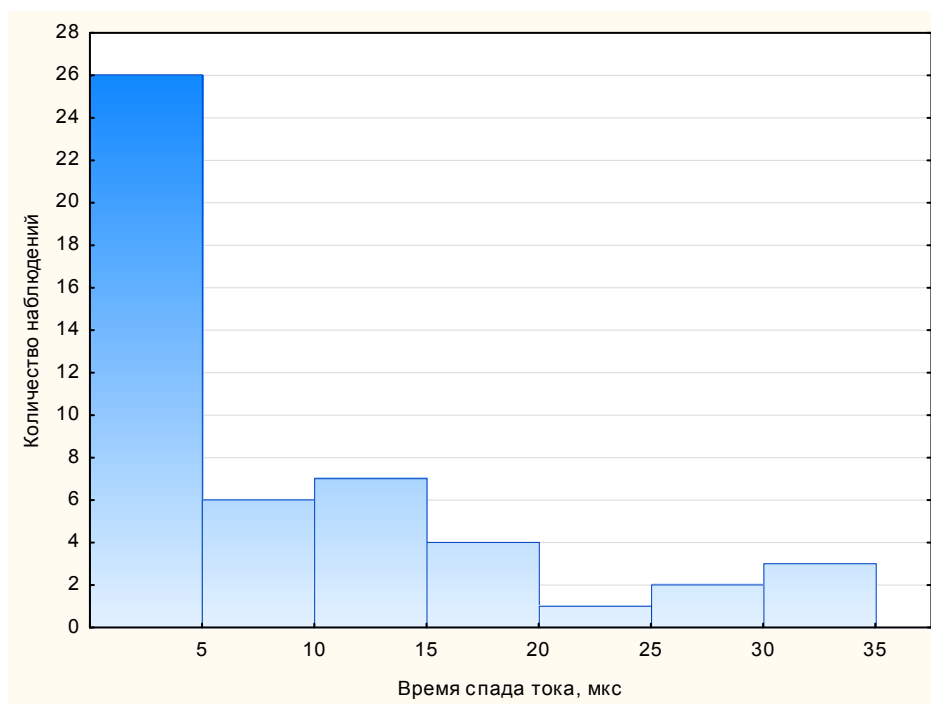


Рисунок 4.3 Гистограмма времени спада тока

На рисунке представлена повторяемость времени спада тока в разрядах. Среднее время спада формы тока составляет порядка 8 секунд. Сопоставив это значение со средним временем нарастания тока из предыдущей диаграммы, мы видим, что ток нарастал до максимальных значений быстрее на две микросекунды, чем спадал до минимальных значений, что подтверждает принадлежность большинства разрядов к типу нисходящих облако-земля. Времена нарастания и спада позволяют рассчитать заряды, нейтрализуемые в молниях, что существенно для оценки возможности возгорания объектов, которая определяется именно зарядом.

Отдельный интерес для анализа связей с радиолокацией представляют суммарные и максимальные токи за минуту и частоты молний.

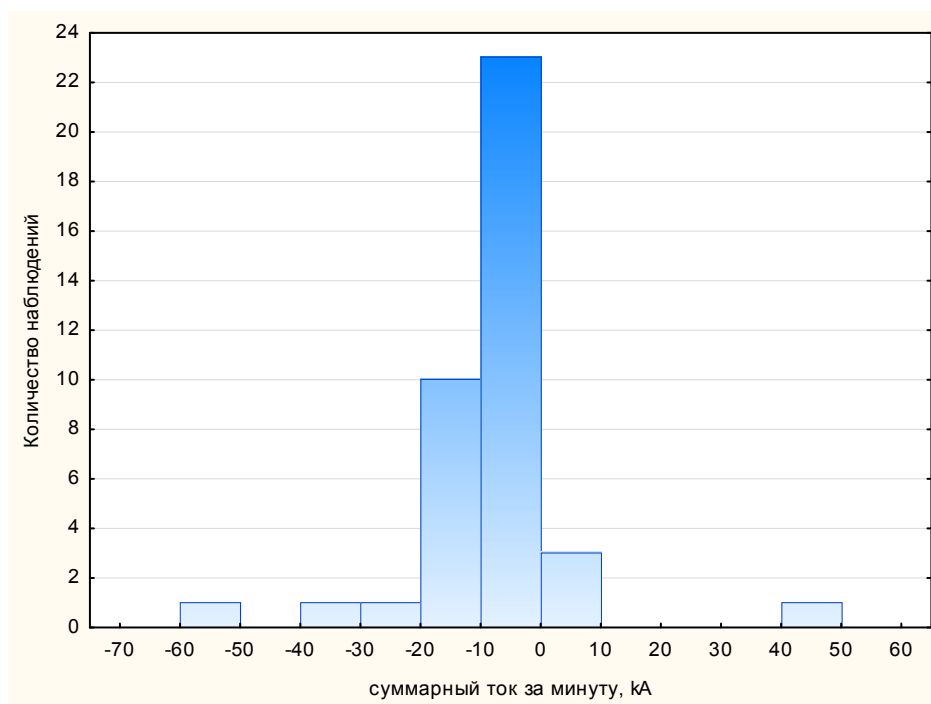


Рисунок 4.4 Гистограмма суммарных токов за минуту

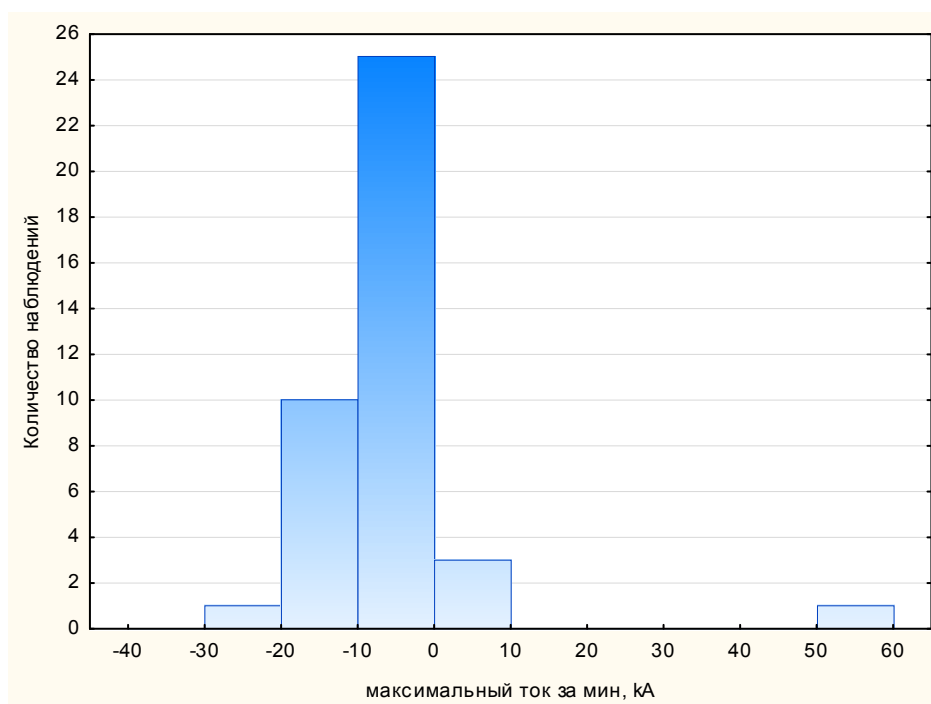


Рисунок 4.5 Гистограмма максимального тока за минуту

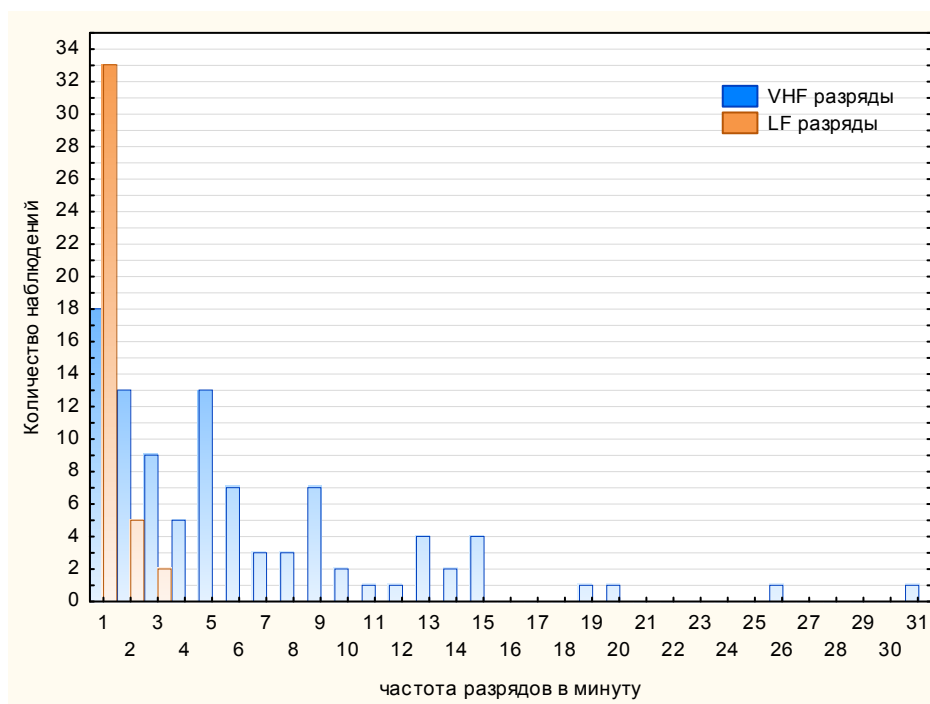


Рисунок 4.6 Гистограмма частоты разрядов в минуту

Проанализировав график, мы видим, что в основном наблюдались высокочастотные разряды облако-облако, что свидетельствует об интенсивном перераспределении заряда именно внутри облака т.к. VHF разряды принадлежат к классу облако-облако. В тоже время, разряды LF облако-земля имели меньшую частоту за минуту времени, но большую повторяемость, что указывает на перенос отрицательного заряда на землю, т.к. исходя из графика на слайде 6 величина LF разрядов отрицательная.

Исходя из господствующей в настоящее время гипотезе о решающей роли крупных ледяных частиц (крупы и града) в электризации конвективных облаков, мы проанализировали регрессионные связи частот молний с площадями выпадения града по данным МРЛ

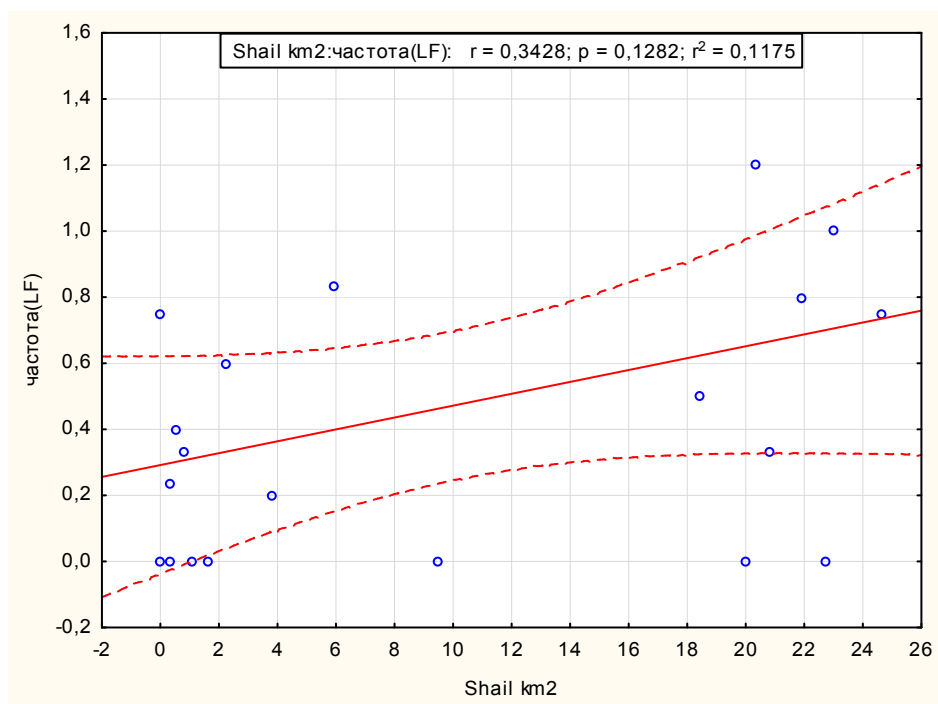


Рисунок 4.7 Диаграмма рассеяния для частоты LF разрядов и площади выпавшего града

На этой и последующих диаграммах мы рассматривали предполагаемую связь радиолокационных и электрических характеристик. Эта связь, пусть и слабо выраженная, прослеживается. Правая часть графика соответствует максимуму градообразовательного процесса в стадии зрелого облака и начале его диссипации. Левая часть отражает начало градообразовательного процесса.

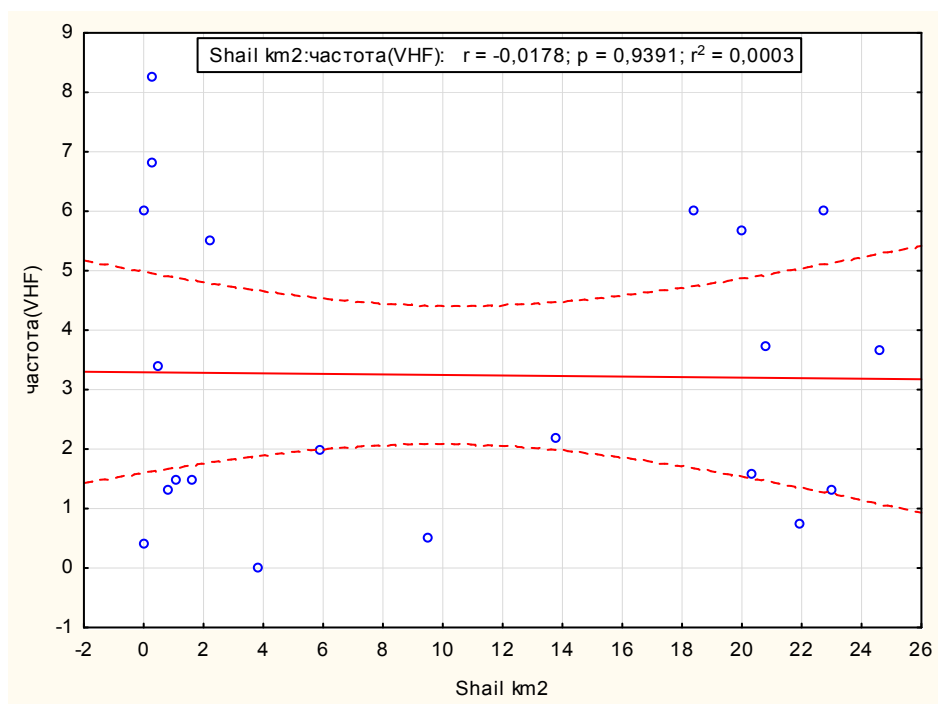


Рисунок 4.8 Диаграмма рассеяния для частоты VHF разрядов и площади выпавшего града

Мы выдвинули предположение, что частота разрядов VHF может иметь связь с градообразовательными процессами. Предположение не подтвердилось, на что указывают статистические параметры – коэффициент корреляции (r), p -уровень (p), коэффициент детерминации (r^2). Полученный результат может быть вызван неточностями определения площадей выпавшего града радиолокационными методами. По литературным данным наблюдается тесная корреляция частот молний с объемами облака, содержащими наиболее крупные ледяные частицы.

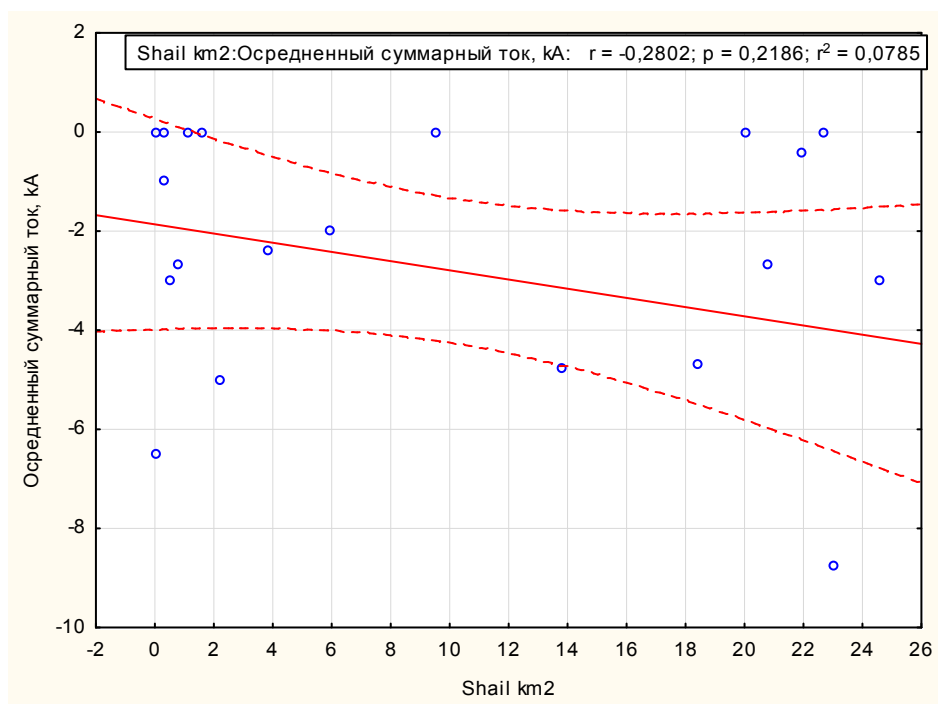


Рисунок 4.9 Диаграмма рассеяния для Осреднённого суммарного тока и площади выпавшего града

Также мы предположили наличие связи между площадью выпавшего града и Суммарным током. Отрицательный коэффициент корреляции говорит и том, что с увеличением количества града суммарный ток уменьшается. На диаграмме можно проследить общий тренд увеличения осреднённых суммарных токов к стадии диссипации облака. Однако тренд выражен не ярко. Для однозначного вывода требуется большая выборка значений.

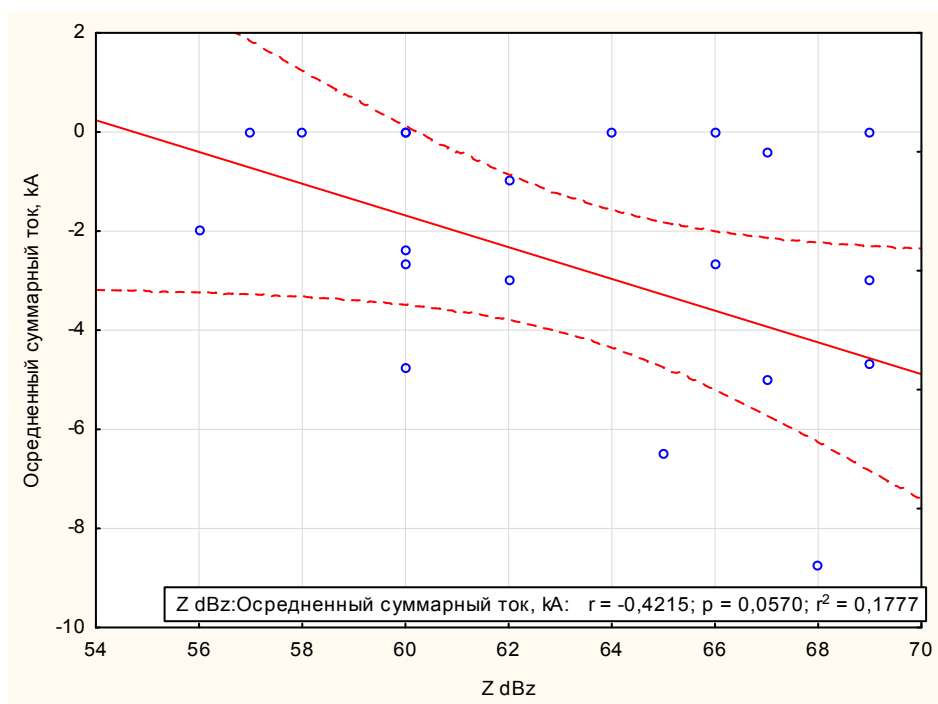


Рисунок 4.10 Диаграмма рассеяния для осреднённого суммарного тока и радиолокационной отражаемости

Связь между осреднённым током и радиолокационными характеристиками лучше прослеживается при проверке предположения, что она зависит не от площади выпавшего града, а от радиолокационной отражаемости облака. Кроме того, меньшее значение p -уровня говорит о том, что при анализе данной связи вероятность случайного отклонения нулевой гипотезы меньше, чем в вышеописанном случае. Предположение о том, что ток имеет более выраженную связь с параметрами радиолокационной отражаемости облака, нежели с площадью выпавшего града, выглядит более обоснованным.

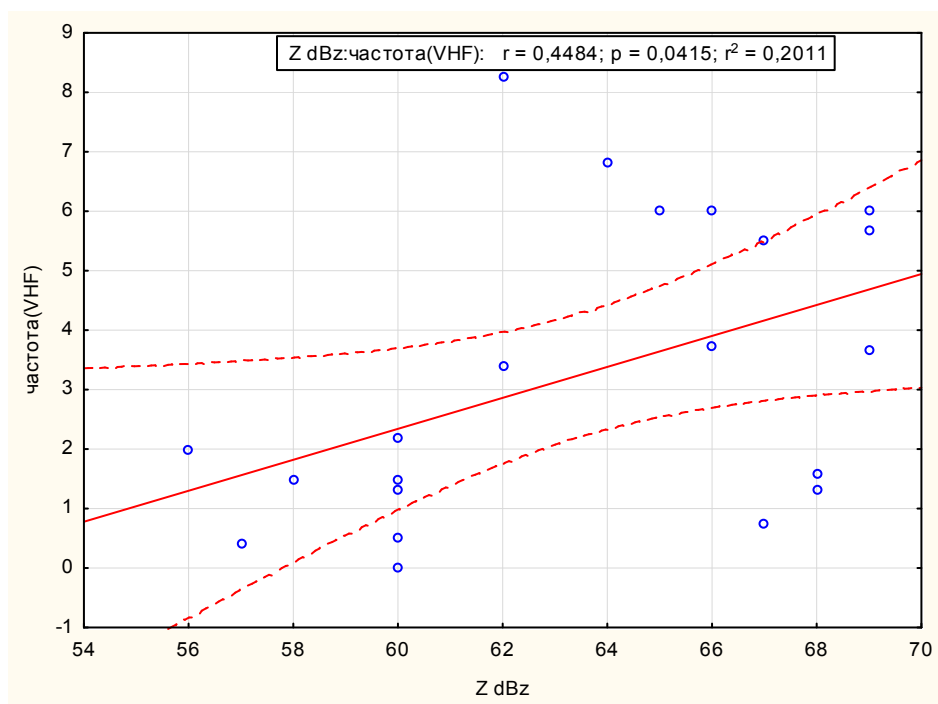


Рисунок 4.11 Диаграмма рассеяния для частоты VHF разрядов и радиолокационной отражаемости

На данном рисунке предположение о связи частоты VHF разрядов с радиолокационной отражаемостью подтверждается. Коэффициент корреляции $r=0,44$ является наибольшим, среди всех рассчитанных коэффициентов корреляции для других видов связей.

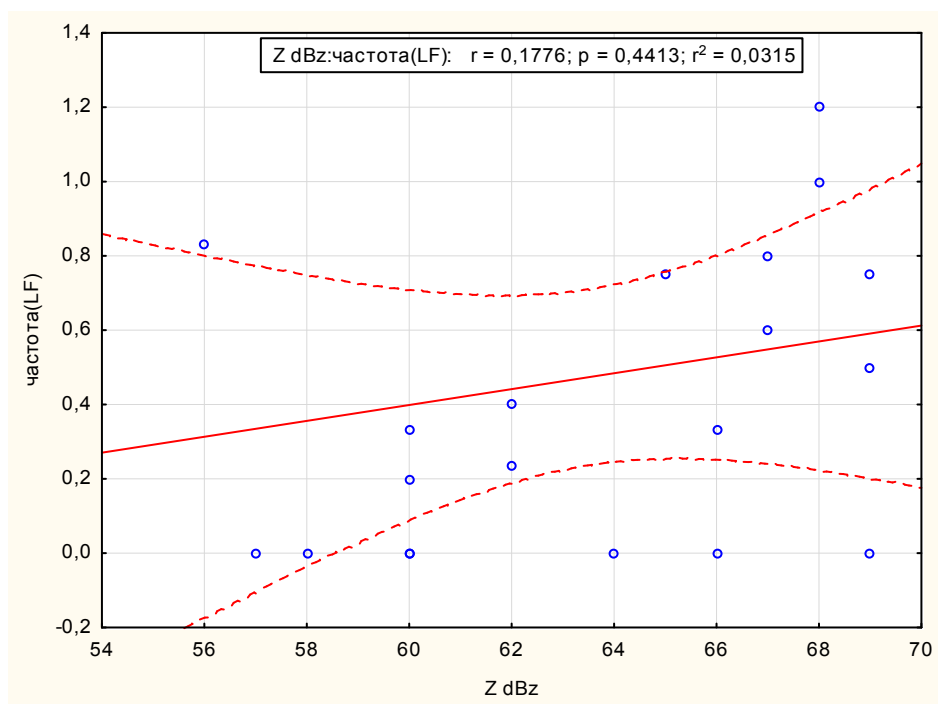


Рисунок 4.12 Диаграмма рассеяния для частоты LF разрядов и радиолокационной отражаемости

Проверим предположение о связи частоты LF разрядов с радиолокационной отражаемостью. Для LF разрядов, исходя из статистических коэффициентов, связь слабо прослеживается, более выраженный характер она приобретает на поздних стадиях развития облака т.к. именно на этих стадиях облако имеет максимальную отражаемость (правая часть графика).

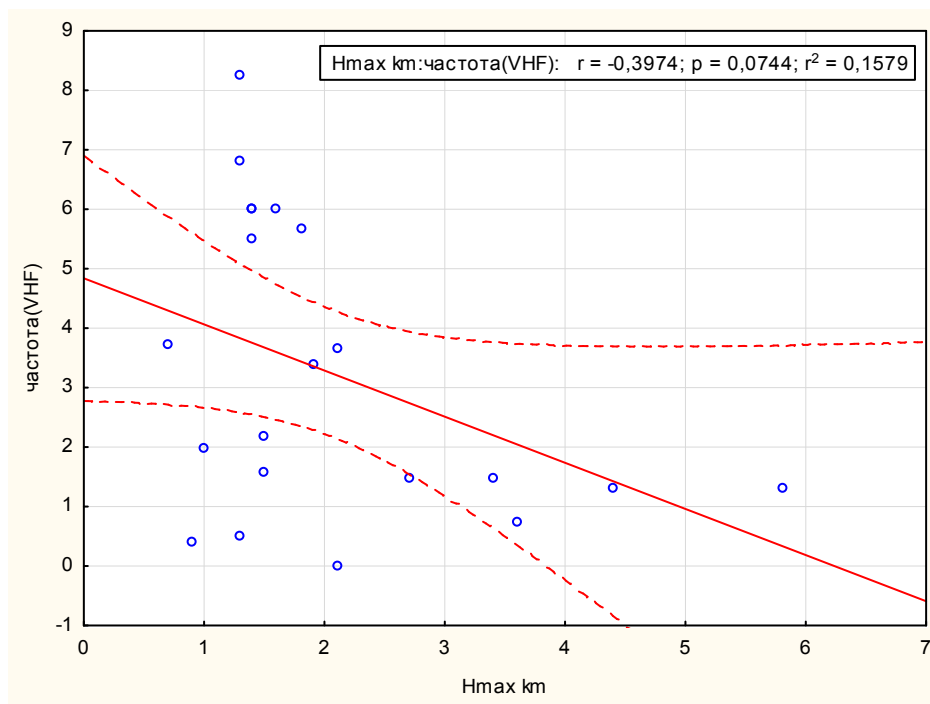


Рисунок 4.13 Диаграмма рассеяния для частоты VHF разрядов и максимальной радиолокационной отражаемости

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведённого анализа я полагаю, что связь между характеристиками электрической активности облака и радиолокационными данными присутствует, тем не менее, нельзя сделать однозначный вывод, так как связи выражены слабо.

Наиболее перспективными направлениями я бы назвал поиск связей между выпадением осадков в твёрдой и/или жидкой форме и частотой электрических LF-разрядов, а так же между радиолокационной отражаемостью и частотой VHF-разрядов.

Считаю целесообразным дальнейшее проведение экспериментов с целью получения большей выборки значений, которые помогут в дальнейшем найти и другие связи и более явно их раскрыть.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология. Учебник. - СПб.: Изд. РГГМУ, 2005.-328 с. ISBN 5-86813-137-1
2. Исследования развития грозо–градового облака - А. А. Синькевич, Ю. П. Михайловский, Ю.А. Довгалюк, Н. Е. Веремей, Е. В. Богданов, А. Х. Аджиев, А. М. Малкарова, А. М. Абшаев – доклад ГГО 18с.
3. Метеорология и климатология // Кругосвет [Электронный ресурс] – Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия. – Режим доступа
http://www.krugosvet.ru/enc/earth_sciences/geografiya/meteorologiya_i_klimatologiya.html
4. Кашлева Л.В. Атмосферное электричество: Учебное пособие. – СПб.: Издательство РГГМУ, 2008
5. Стехновский Д.И., Зубков А.Е., Петровский Ю.С. Навигационная гидрометеорология. – М.: Транспорт, 1971.
6. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь [Текст] – Л.: Гидрометеоиздат, 1974
7. Кужекин И.П., Ларионов В.П., Прохоров Е.Н. Молния и молниезащита. – М.: Знак, 2003.
8. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2000.
9. Базелян Э.М. Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001.
10. Киселев В.Н., Кузнецов А.Д. Методы зондирования окружающей среды (атмосферы): Учебник. – СПб: изд. РГГМУ, 2004. – 429 с.
11. 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.

12. Нижнее Поволжье и Северный Кавказ СССР. Физическая карта [Электронный ресурс] – Режим доступа http://100dic.ru/geograficheskiy_atlas/page/nijnee_povolje_i_severnyiy_kavkaz_ssr_fizicheskaya_karta.120.