



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: «Анализ электрической активности грозовых облаков на Северном Кавказе и в Северо-Западном регионе Европейской территории России»

Исполнитель Малыгина Татьяна Ивановна
(фамилия, имя, отчество)

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

Кашлева Лариса Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
И.о. заведующего кафедрой


(подпись)

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

Сероухова Ольга Станиславовна
(фамилия, имя, отчество)

« 08 » июня 2023 г.

Санкт-Петербург
2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ	5
1.1 Образование и развитие грозовых облаков	6
1.2 Электрическая структура грозовых облаков	14
1.3 Процессы электризации грозового облака	14
1.3.1 Процессы микроэлектризации облаков	14
1.3.2 Макроэлектризация грозовых облаков	21
1.4 Современные методы оценки электрической активности грозовых облаков	25
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ И КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА И СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА	29
2.1 Регион Северного Кавказа	29
2.1.1 Физико-географическое описание Северного Кавказа	30
2.1.2 Климатическое описание Северного Кавказа	31
2.2 Северо-Западный регион	34
2.2.1 Физико-географическое описание Северо-Западного региона	35
2.2.2 Климатическое описание Северо-Западного региона	36
ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ И В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ ЕТР	38
3.1 Анализ электрической деятельности в Санкт-Петербурге	38
3.2 Анализ электрической деятельности в Минеральных Водах	44
3.3 Анализ электрической деятельности в Ростове-на-Дону	49
3.4 Сравнительный анализ данных о грозовой деятельности	54
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	56
Список литературы	58

ВВЕДЕНИЕ

Интерес ученых к изучению электрических явления очевиден, поскольку электричество нижней атмосферы, представляет некую опасность для современного технического мира и людей. Изучение электрических явления атмосфере имеет большое значение для технологического прогресса и для обеспечения безопасности населения Земли. Известно множество случаев, когда отсутствие предупреждений о приближающейся грозе приводило к ущербу здоровья и имущества.

В наше время наличие элементарной молниезащиты на предприятиях уже уменьшает риск катастрофы при ударе молнии. Однако необходимо учитывать, что проведение экспериментов непосредственно при грозе и в предгрозовой обстановке чрезвычайно опасно, потому что любой случайный удар молнии в установку приведет к ее неисправности, а в человека к его гибели. Именно поэтому атмосферное электричество является опасной и малоизученной частью науки метеорологии.

Актуальность и практическая значимость работы заключается в том, что происходящие в грозовом облаке процессы не изучены в полной мере, несмотря на многолетние исследования по этой теме. Грозовые облака являются источниками молниевых разрядов, которые в свою очередь считаются одними и самых опасных погодных явлений. Поэтому изучение и прогноз электрической активности облака чрезвычайно значимы.

Целью работы является изучение и анализ электрической активности облаков в различных регионах.

В задачи работы входят:

1. Изучить факторы образования кучево-дождевых облаков, процессы их электризации (микроэлектризация и макроэлектризация), современные методы оценки электрической активности облаков;
2. Исследовать физико-географические, климатические характеристики и особенности формирования облачности Северо-Западного региона и региона Северного Кавказа. Составить архив данных по наличию дней с грозой за теплый

период (апрель-сентябрь) 2019-2022гг. по городам Санкт-Петербург, Минеральные Воды, Ростов-на-Дону.

3. Провести анализ неэлектрических метеорологических параметров и электрической активности грозových облаков;

4. Сравнить характер поведения неэлектрических и электрических параметров грозového облака для городов Санкт-Петербург, Минеральные Воды, Ростов-на-Дону, сделать вывод по проделанной работе.

Структура работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 3 глав, разбитых на разделы, заключения и списка использованной литературы. Выпускная квалификационная работа включает в себя 59 стр.

ГЛАВА 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГРОЗОВЫХ ОБЛАКАХ

Гроза – опасное явление проявления атмосферного электричества, представляющее собой развитие кучево-дождевого облака, которое сопровождается видимыми и звуковыми эффектами, молниями и громом соответственно.

Проявление грозовой деятельности тесно связано с эволюцией облаков вертикального развития, в которых наблюдаются мощные конвективные движения, объясняющие существование областей с сильной турбулентностью и формирование ледяных кристалликов большого размера.

Возникновение явлений атмосферного электричества, а точнее многократные электрические разряды внутри облака или между облаком и Землей, связано с развитием кучево-дождевых облаков и формированием и выпадением осадков. Грозовые явления во многих случаях сопровождаются шквалами – кратковременными усилениями ветра.

Формирование грозы разделяют по синоптическим условиям на фронтальные и внутримассовые.

Фронтальные грозы возникают при фронтах, а именно на холодных фронтах 1 и 2 рода в любое время суток, могут образовываться ночью или в утренние часы на теплых фронтах и фронтах окклюзии по типу теплового. В зависимости от территорий, над которыми формируются кучево-дождевые облака и развивается гроза, она может продолжаться от нескольких минут до нескольких часов, причем при сильной грозе частота разрядов молний может составлять десятки разрядов в минуту.

Внутримассовые грозы могут быть конвективными, адвективными и орографическими. Конвективные появляются при неравномерном прогреве земной поверхности в размытых барических образованиях – периферии заполняющихся циклонов и седловинах. Адвективные образуются при перемещении по теплой поверхности относительно холодной воздушной массы на восточной периферии антициклона и в тыловой части циклона. Орографические грозы формируются наветренных горных склонах, когда по ним

поднимается теплая, влажная неустойчивая воздушная масса. Во всех этих случаях появление грозы возникает из-за мощного развития конвективных облаков, обусловленного сильной неустойчивостью атмосферы.

Грозное облако (кучево-дождевое) – облако, в результате развития которого возникает такое опасное явление как гроза. Для образования грозного облака необходимыми являются следующие условия: сильные восходящие конвективные потоки и высокое влагосодержание воздуха.

В этой главе будут рассмотрены облака вертикального развития: кучевые и кучево-дождевые формы облаков, их трансформация в грозные облака, физическое строение и электрическая структура грозных облаков, процессы, происходящие в таких облаках, а также методы оценки электрической активности.

1.1 Образование и развитие грозных облаков.

Облака формируются благодаря фазовым переходам воды из состояния водяного пара (газообразного) в жидкое в виде капель и в твердое в виде кристаллов. Такие переходы называются конденсация и сублимация, соответственно, они проявляются в результате конвекции или упорядоченного поднятия влажного воздуха.

Процесс перехода сопровождается выделением большого количества тепла, которое играет значительную роль в образовании облаков, а также влияет на динамическую и термическую устойчивость атмосферы, режим движения воздушных потоков, формирование фронтальных разделов и развитие циклонов.

Облака вертикального развития разделяют на 2 типа в зависимости от факторов облакообразования: облака термической конвекции и облака динамической конвекции.

Облака термической конвекции образуются при неодинаковом прогреве под влиянием солнечной радиации участков деятельной поверхности. Например, леса и водные объекты прогреваются слабее, чем открытые территории и возвышенности. Впоследствии над более теплыми участками получают развитие

восходящие потоки воздуха, над менее теплыми – нисходящие, таким образом появляется термическая конвекция. Со временем одиночные потоки восходящего воздуха соединяются и создают один сильный поток восходящего воздуха, который увлекает с собой все больше и больше воздуха. По краям такого потока будет находиться множество потоков воздуха, направленные вниз.

В результате вертикального подъема воздуха, вызванного конвекцией, в атмосфере формируются и развиваются конвективные облака, или облака вертикального развития, или кучевообразные облака. На то, как будет выглядеть облако в стадии зрелости, влияет интенсивность конвекции, которая, в свою очередь зависит от степени неоднородного нагрева поверхности и характера стратификации атмосферы, или степенью ее неустойчивости.

В облаках вертикального развития скорость восходящих потоков может достигать 20 и более м/с.

Практически всегда и внутримассовые, и фронтальные конвективные облака формируются и обнаруживаются при следующих синоптических условиях: циклоны и ложбины, то есть в полях пониженного давления.

При неустойчивой стратификации на нижних уровнях, когда вертикальный градиент температуры возрастает, а на уровнях выше, но не доходя до уровня конденсации, вертикальный градиент температуры находится в малых или отрицательных значений, то возникшие и растущие конвективные движения не поднимаются до уровня конденсации и облака не получают развития. При неустойчивой стратификации и на нижних, и на верхних слоях, то есть в случае, когда уровень, до которого развиваются конвективные потоки (уровень конвекции), располагается выше уровня конденсации, то облака будут расти, их вертикальный размер будет зависеть от разности высот уровней конденсации и конвекции. В таких условиях конвективное облака будет расти как в вертикальном направлении, так и в горизонтальном.

Конвективные облака могут образовываться во время всех сезонов года, как при наличии, так и при отсутствии термического фактора. В равной степени возможно образование конвективных облаков над океаном в любой годовой

сезон. Частота появления облаков вертикального развития над сушей летом больше, чем зимой.

Появление кучевообразных облаков над водными объектами обусловлено вторжением холодного воздуха на относительно теплую поверхность воды. Из-за того, что уровень конденсации над водоемами находится ниже, чем над сушей, то нижняя граница облаков также будет располагаться ниже.

Облака динамической конвекции образуются под влиянием динамических факторов, таких как: сходимостью потоков воздуха (конвергенция), вынужденное поднятие воздуха при огибании препятствий, вертикальные движения, рассматриваемые в синоптическом масштабе. К примеру, когда воздушный поток на своей траектории движения встречает гору, то на наветренной склоне хребта процесс конденсации будет усиливаться. Летом, в условиях неустойчивой стратификации атмосферы в горной местности вследствие большой разницы температур воздуха над противоположно расположенными склонами получают развитие кучевообразные облака, которые растут вертикально вверх и имеют неширокие основания. Чаще всего они формируются над более теплыми нагретыми солнцем склонами.

Также над горными вершинами днем наблюдаются облака, находящиеся длительное время на одном месте, их появление обусловлено наличием долинных ветров, которые создают упорядоченные движения восходящего воздуха, в свою очередь приводящие к конденсации водяного пара.

В основном, динамический фактор в умеренных и субполярных регионах северного полушария имеет значение в образовании кучевообразных облаков.

Облака вертикального развития делятся на кучевые и кучево-дождевые, которые впоследствии становятся источником возникновения грозовых явлений.

Кучевые облака (Cu, Cumulus). Высота нижней границы кучевого облака по большому счету зависит от влажности воздуха. Обычно в умеренных широтах высота нижней границы составляет 0,6-1,2 км, а вертикальный масштаб от ста метров до нескольких километров.

Кучевые облака сформированы из водяных капель, более крупные расположены в верхней части облака (преобладающий радиус капель около 20 мкм) и более мелкие, находящиеся у его основания (преобладают капли радиусом около 10 мкм). При отрицательных температурах, например, в верхней части облака, капли находятся в переохлажденном состоянии.

Кучевые облака разделяют на 3 вида: кучевые плоские, кучевые средние и мощные кучевые (рис. 1.1).

При распаде Cu могут переходить в слоисто-кучевые и высококучевые, или могут рассеяться, проходя через стадию разорванно-кучевого облака.

Покров Cu всегда разделяется на отдельные облака, в промежутках между которыми видны их бугристые, резко очерченные края, уходящие в высоту. Центральные части обособленных облаков могут быть темными, а освещенные края – ярко-белыми, в виде светлой или блестящей окантовки в зависимости от положения облаков в отношении солнца. В сплошных длинных валах вершины Cu сохраняют разную высоту. [1]

По ходу развития Cu они могут трансформироваться в Cb , также иногда они могут обнаруживаться одновременно. В весенний и летний периоды Cu могут существовать на ряду с другими облаками, если те не являются препятствием для прогрева земной поверхности, а следовательно, и для развития дневной термической конвекции.

Благоприятным процессом, вызывающим образование Cu , являются мощные восходящие воздушные движения, появляющиеся в результате неоднородного нагревания поверхности земли.

Кучево-дождевые облака (Cb , *Cumulonimbus*). Обычно высота нижней границы Cb расположена также в диапазоне от 0,6 до 1,2 км, высота верхней границы доходит до 4-5 км, в некоторых случаях до высоты тропопаузы на 8-9 км.

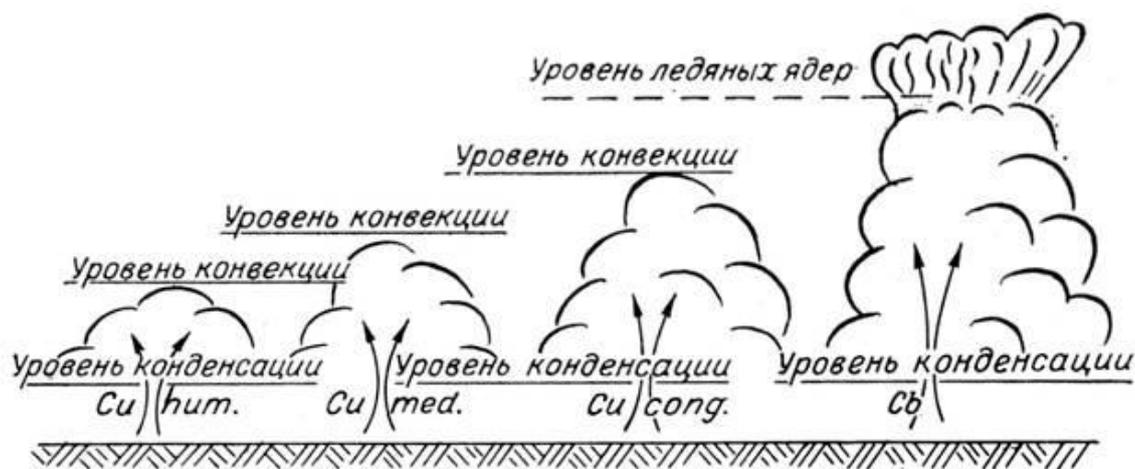


Рисунок 1.1 Уровни развития кучево-дождевого облака

Микрофизика кучево-дождевого облака представляет собой комплект капелек воды различного размера, радиус которых может быть от нескольких мкм до 1 см, а также кристалликов льда, снежной крупы и града.

Определить Cb с земли достаточно просто. Однако их можно перепутать с Ns и Cu cong.

Основное отличие Cb от Ns состоит в том, что Cb имеют свинцово-темную окраску и дают ливневые осадки. Из-за внешнего сходства и подобия процесса образования Cb можно спутать с Cu cong.

Облака Cb отличают от облаков Cu cong. по следующим признакам:

- темная окраска основания облака; если Cb находится близко к зениту, то его окраска становится свинцово-темной, освещенность при этом резко уменьшается;
- выпадение ливневых осадков; если осадки не достигают поверхности земли, то они (в удаленных облаках) заметны в виде полос падения (virga);
- волокнистое строение части облака или перистовидная форма его вершины.

Если хотя бы один из этих признаков имеется, облако следует считать кучево-дождевым. [1]

Фундаментальным процессом формирования Cb является процесс, когда при восходящих потоках воздух охлаждается вследствие сильно развитой

конвекции. Благодаря этому процессу толщина кучево-дождевых облаков может достигать 3-5 км.

В кучево-дождевых облаках выделяют 2 вида: кучево-дождевые лысые и кучево-дождевые волосатые.

Достаточно продолжительные наблюдения грозовых облаков, которые проводились в различных географических районах позволяют отметить наличие некоторых закономерностей в частоте появления облаков. Грозовые облака нельзя встретить в пустынях, там, где сухой воздух, они не получают развития в районах с холодным воздухом, но они формируются и развиваются в теплом и влажном воздухе, например, в тропиках и в средних широтах. Данные закономерности обусловлены тем, что для формирования грозового облака необходимо большое количество влаги, а теплый воздух содержит существенно больше влаги, чем холодный при той же относительной влажности.

Обычно грозовые облака получают большее развитие при нахождении в области развитой конвекции, где скорость восходящих движений воздуха будет достигать максимальных значений до нескольких метров в секунду (рис 1.2). Обозначают два вида конвекции термическая и вынужденная.

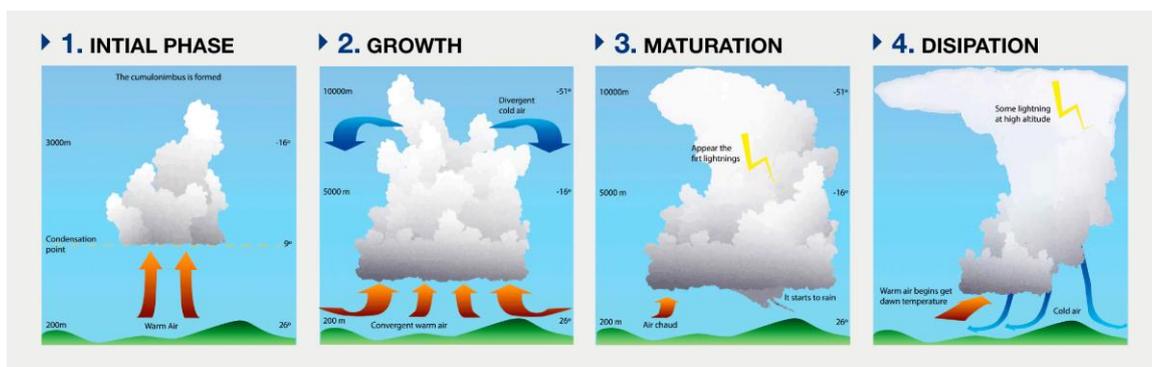


Рисунок 1.2 Фазы формирования и развития грозового облака

Термическая конвекция возникает в результате дневного прогрева пограничного слоя. Причиной для ее возникновения может быть перегрев отдельных объемов воздуха, неодинаковый нагрев поверхности или динамическая турбулентность. Этот вид конвекции может возникать преимущественно летом в дневные часы в разрушающихся антициклонах, заполняющихся циклонах и ложбинах, барических седловинах и в

малоградиентных барических системах. Подъем нагретой массы воздуха может продолжаться, пока ее температура не сравняется с температурой окружающего воздуха.

Вынужденной конвекцией обычно называют вертикальное передвижение воздушной массы, когда холодный воздух выдавливает теплый или когда теплый воздух натекает на крутые склоны гор, вызывая более мощные восходящие потоки воздуха. Вынужденная конвекция может развиваться в результате упорядоченного подъема воздуха, неоднородного распределения влажности и температур. Обычно возникает в зоне атмосферных фронтов, в циклонах и на наветренных склонах гор в любое время суток, в теплое полугодие.

Существует три стадии развития грозовых облаков. Время жизни грозового облака составляет от 3 до 5 часов.

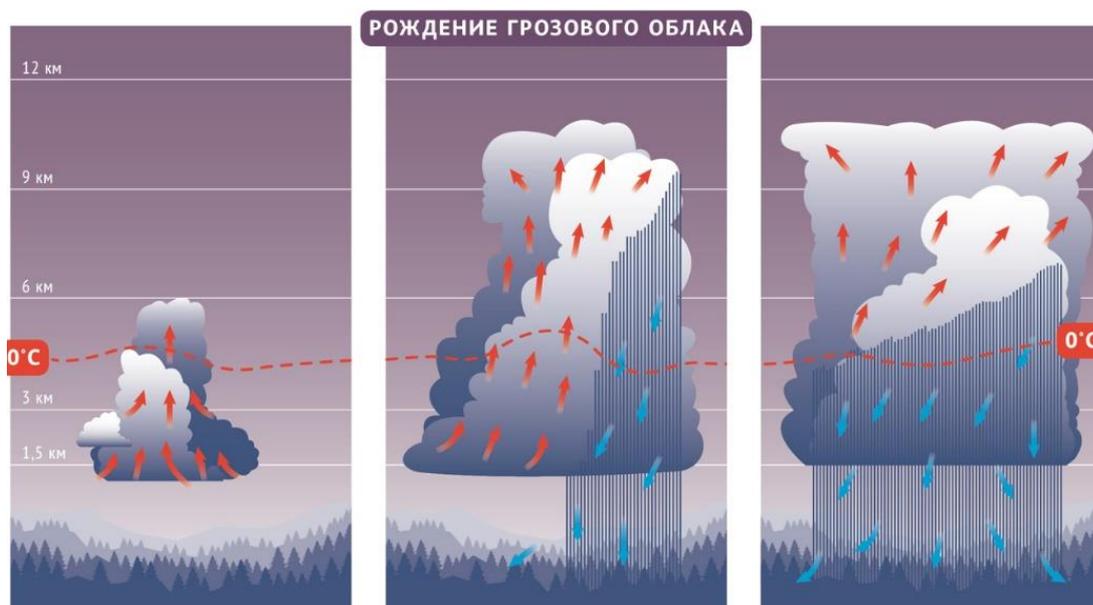


Рисунок 1.3 Показательное изображение воздушных токов в облаке

1) Стадия роста определяется наличием мощных восходящих потоков (рис. 1.3) по всей толще ячейки (облако состоит из 5-10 ячеек), за счет чего проходит активный процесс формирования частиц осадков. Продолжительность начальной стадии невелика, она протекает в течении 10-20 минут.

2) Стадия зрелости. Вершина облака представляет собой «наковальню» и находящийся над ней округлый купол. Температура

верхней границы облака понижается до -22°C и ниже. Уже образована зона формирования осадков и облачные частицы достигли такого размера, что их скорость падения превышает скорость относительно теплых восходящих потоков. В результате в облаке возникает нисходящий поток холодного воздуха, интенсивность которого увеличивается из-за увлечения воздуха частицами осадков. Такое распределение воздушных потоков считается устойчивым. Самые сильные осадки выпадают наибольших по вертикали и горизонтали зрелых грозовых облаков, с ними же связаны самые мощные грозы и градобития.

3) Стадия диссипации (разрушения). Стадия характеризуется разрушением нижней части облака и уменьшением верхнего слоя облака. По мере развития облака происходит непрерывный рост частиц в нем. При этом увеличивается масса частиц, и под действием силы тяжести начинается выпадение капель или кристалликов, что приводит к формированию осадков и разрушению самого облака. Происходит ослабление восходящих потоков воздуха и прекращение генерации и распределения зарядов в облаке. Вследствие этого восходящие разряды разрушают электрическую структуру верхней части облака, а оставшийся заряд будет уноситься вместе с осадками к поверхности Земли или рассеиваться в атмосфере. [3]

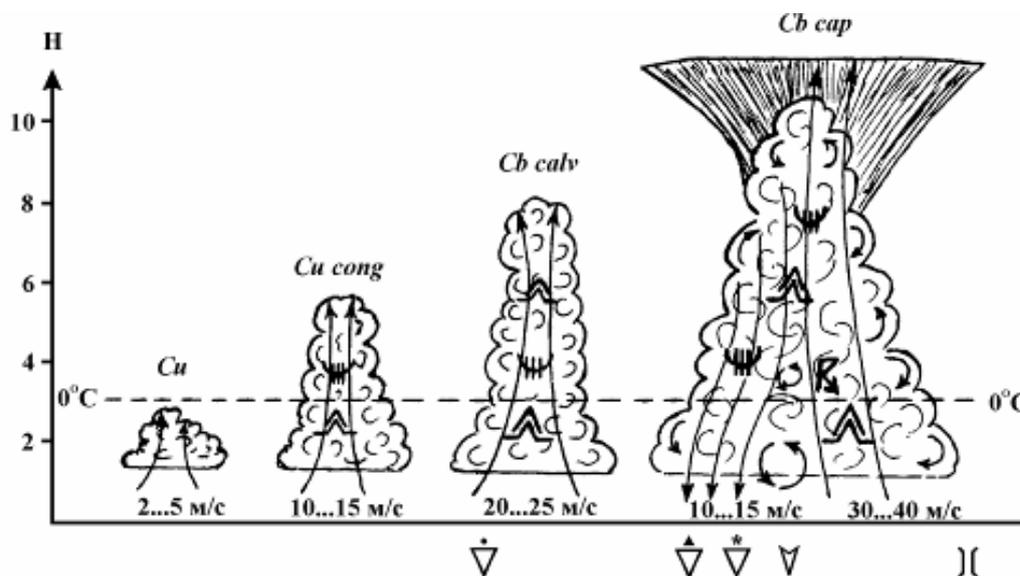


Рисунок 1.4 Опасные явления в кучевом и кучево-дождевом облаке

1.2 Электрическая структура грозовых облаков

Грозовые облака состоят из капель и кристаллов, в верхней части облака находятся переохлажденные капли, ледяная крупа, град или кристаллы, а в нижней части облака ниже нулевой изотермы крупные водяные капли. Молнии и грозовая деятельность облаков указывает на однозначное присутствие в кучево-дождевом облаке электрических зарядов, причем, считается, что заряд одного знака располагается над зарядом другого знака. Процесс распределения зарядов в облаке происходит определенным образом и называется процессом макроэлектризации облака. В результате этого процесса формируется электрическая структура облака, которая, как принято считать, представляет собой триполь. Таким образом в центральной части облака, между изотермами -5 и -25°C располагается избыточный отрицательный заряд, а область преобладающего положительного заряда находится в верхней части облака. В нижней части облака также находится положительный заряд. [6]

1.3 Процессы электризации грозового облака

Электризация грозового облака – это процесс, который происходит в двух разных масштабах. В первую очередь происходит зарядение облачных частиц путем их взаимодействия между собой – столкновения или слияния, этот процесс называется процессом микроэлектризации облака. Через какое-то время параллельно начинается процесс перераспределения зарядов в облаке, так называемый процесс макроэлектризации в облаке, под действием неэлектрических сил. В этом разделе будет подробнее говориться о процессах электризации грозовых облаков.

1.3.1 Процессы микроэлектризации облаков

Механизмы электризации отдельных облачных элементов также называют процессами микроэлектризации.

Заряд частиц в облаках зависит от различных взаимодействий частиц с ионами или между собой. Различают ионный механизм электризации,

электризацию, происходящую в результате разрушения контакта, слияния облачных гидрометеоров и индукционный механизм.

- Ионная электризация заключается во взаимодействии атмосферных ионов с частицами в облаках, в последствии чего может меняться их заряд. Этот механизм сопровождает процесс конденсационного роста частиц, то есть на начальной стадии развития облаков их электрические параметры изменяются из-за заряжения частиц ионами атмосферы, а на стадиях зрелости и разрушения более значимы контактные и коагуляционные процессы электризации.

Наиболее важными параметрами, определяющими взаимодействие частиц с атмосферными ионами, являются характерный размер частицы r и длина свободного пробега l . Если r намного больше l , то возникает диффузионный режим электризации частиц, при котором значением l можно пренебречь. Рассмотрим $\beta_i(x, r)$ – частоту прилипания (захвата) легкого иона частицей с радиусом r и зарядом qe (при этом за i принимаем 1, если величина относится к положительным ионам, и $i=2$, если к отрицательным). Тогда выражение для $\beta_i(x, r)$ будет выглядеть следующим образом:

$$\beta_i(x, r) = \frac{(-1)^i \chi^{eu} (\epsilon_0)^{-1}}{1 - \exp\left[(-1)^{i+1} \frac{\chi e^2}{4\pi\epsilon_0 r kT}\right]} \quad (1)$$

Где ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; u – подвижность ионов.

Поэтому изменение заряда облачной частицы можно описать следующим выражением:

$$\frac{dq}{dt} = e[n_1\beta_1(x, r) - n_2\beta_2(x, r)] \quad (2)$$

По изучению процессов электризации грубодисперсных аэрозолей облаков проводились исследования в лабораториях, в ходе которых выявилось согласие между результатами теоретических описаний ионного механизма заряжения аэрозолей с данными лабораторных экспериментов. Также было обнаружено существование некоторого преимущественного отрицательного заряжения капелек.

Внешнее электрическое поле может существенно влиять на прохождение процессов электризации частиц в атмосфере. Условия электризации частиц определяются изменчивостью поля из-за существующей зависимости скорости движения ионов от напряженности поля. При наличии внешнего электрического поля напряженностью, которая наблюдается в грозовых облаках, эффективность ионного заряжения возрастает в зависимости от размера капель в 5-10 раз.

Столкновение облачных гидрометеоров приводит либо к их слиянию, либо к разделению возникшего контакта. В ходе исследований было обнаружено, что разрушение контакта отдельных облачных частиц (как и их спонтанное разрушение). Самым доступным способом изучения процессов формирования зарядов облачных гидрометеоров (процессов микроэлектризации) является лабораторное моделирование, которое позволяет определять и подробно изучать отдельные механизмы заряжения частиц при их взаимодействии.

- Электризация, возникающая в результате разрушения контакта гидрометеоров. Разрушение контакта гидрометеоров приводит к электризации фрагментов контакта, выделяют наиболее мощные из механизмов заряжения частиц:

1. Электризация при замерзании, деформации и раскалывании переохлажденных капель.

Деформация и разрушение капель при замерзании вызывает разделение зарядов. Наиболее интенсивная электризация происходит при взрывообразном замерзании капель. Проведенные эксперименты показали, что частицы электризуются за счет кристаллизации воды, под действием механизма Воркмана - Рейнгольда. В результате спонтанного взрывания капли ледяные осколки обычно заряжаются положительно, незамерзшая вода отрицательно. Если взрываются капельки с градиной, то градина заряжается отрицательно.

Эксперименты по изучению спонтанного взрывания капель показали, то существует зависимость вероятности раскалывания капли от ее размера, температуры, скорости охлаждения и давления в среде. К росту вероятности

раскалывания капли (P) приводят понижение давления, увеличение размера капли и возрастание скорости охлаждения. Однако однозначной зависимости P от температуры выявлено не было.

Существует установленная зависимость величины разделившегося заряда ($\Delta q_{вз}$) от размеров взрывающихся капель. Она может быть выражена следующей приближенной формулой:

$$\Delta q_{вз} = ad_K^{2,4}, \quad (3)$$

где a – эмпирический коэффициент, d_K – размер взорвавшейся капли.

Для объяснения механизма формирования зарядов при разрушении замерзающих капель рассматриваются следующие три теории: теория электризации кристаллизующейся воды и водных растворов, контактной теории и теории термоэлектрической электризации.

2. Электризация при столкновении и разбрызгивании переохлажденных капелек на крупной ледяной частице.

Разбрызгивание и частичное намерзание переохлажденной каплей на крупной ледяной частице сопровождается разделением зарядов. По словам исследователей этого процесс, разделение заряда происходит в результате: дробления каплей; кристаллизации воды на поверхности льда. Знак заряда определяется составом примесей в воде капли. Результатом разбрызгивания переохлажденной капли чистой воды является положительное зарядение градины. Прежде всего в проводимых экспериментах была обнаружена зависимость зарядения от размеров переохлажденных каплей, а также от скорости столкновения каплей с градиной и температуры каплей. Зависимость значения разделяющегося заряда от размера капли может быть выражена следующим выражением:

$$\Delta q_{разб} = bd_K^{1,7}, \quad (4)$$

где b – эмпирически найденный коэффициент.

Во внешнем электрическом поле протекает дополнительная электризация – индукционное зарядение взаимодействующих частиц, это объясняется тем, что

при столкновении мелких частиц с падающей крупной частицей, поляризованной в электрическом поле, и разделении с нею мелкие частицы будут забирать часть поляризованного заряда. При этом величина разделяющегося заряда пропорциональна напряженности внешнего электрического поля.

3. Электризация при столкновении и отскоке ледяных кристалликов от крупной ледяной частицы.

Отскок при столкновении кристалликов льда с крупинкой или градиной приводит к их взаимной электризации. Величина и знак разделяющегося заряда зависит от процессов, проходящих в квазижидком слое, который образуется в зоне контакта. Стоит заметить, что электризация может протекать как в присутствии переохлажденных капелек, так и при их отсутствии.

Наиболее мощные механизмы микроэлектризации могут наблюдаться только в облаках, которые содержат ледяные гидрометеоры. Причем с ростом количества ледяных частиц генерируются большие заряды в облаке.

- Электризация, возникающая в результате слияния гидрометеоров. При слиянии заряженных гидрометеоров, частица-коллектор приобретает заряд частиц, которые слились с ней. В таком случае скорость процесса зарядки частицы-коллектора (крупинки, градинки или др.) может быть получена следующим образом:

$$\frac{dQ}{dt} = \pi \sum_i EF(R + r_i)^2 (V - v_i) n_i q_i \quad (5)$$

где Q , R , V – заряд, радиус и скорость падения более крупной частицы-коллектора; E , F – вероятность столкновения i -й облачной частицы и вероятность слияния i -й облачной частицы с частицей коллектором; r_i , v_i , n_i , q_i – радиус, скорость падения, концентрация и заряд i -той облачной частицы.

Очевидно, что особенности взаимодействия капель и ледяных частиц оказывают влияние на электризацию этих частиц в облаках и туманах. При этом необходимо учитывать, что параметры взаимодействия (вероятности столкновения и слияния частиц) изменяются, когда частицы заряжены: для

разноименно заряженных частиц эти параметры возрастают, для одноименно заряженных убывают. Это приводит к тому, что в облаках, в которых содержится большее количество заряженных частиц, коагуляция может происходить значительно быстрее, чем в облаках, не содержащих частиц с большими зарядами.

- Индукционная электризация. Разделение заряда (электризация части), связанное с индукционным воздействием поля, происходит при разрыве контакта взаимодействующих частиц во внешнем электрическом поле. По мнению исследователей действие этого механизма объясняется следующим. Когда проводящие частицы сталкиваются, они обмениваются зарядами. Значение перетекающего заряда определяется проводимостью частиц и временем контакта. Если крупная ледяная частица, поляризованная во внешнем электрическом поле, сталкивается с мелкими частицами, то при разрыве контакта часть поляризованного заряда крупной частицы будет получена этими мелкими частицами. На величину разделяющегося заряда влияет напряженность поля в облаке и радиус мелкой частицы:

$$\Delta q_{\text{инд}} = \alpha \varepsilon_0 E r_{\text{ч}}^2 \quad (6)$$

где α – коэффициент, зависящий от размера частиц; E – напряженность внешнего электрического поля; $r_{\text{ч}}$ – размер облачной частицы (капли или кристаллика).

Безусловно этот механизм значительно эффективнее, если взаимодействие происходит с капельками, а не с сухими кристалликами. При этом наличие механического контакта необязательно; обмен зарядами в сильных полях может происходить в зазоре между поляризованными частицами за счет искрового или коронного разряда.

Хочу отметить, что активность грозового процесса определяется механизмом электризации при столкновении и отскоке ледяных кристалликов от крупной ледяной частицы. Поэтому дальнейшие исследования будут сводиться к анализу эффективности этого процесса.

Далее рассмотрим основные факторы, влияющие на распределение заряда частиц.

Знак заряда градины, который она приобретает в результате столкновения с ней ледяных кристаллов, находится в зависимости от водности и температуры в среде, то есть от режима роста градины. Было продемонстрировано, что зона с положительными зарядами качественно соответствует зоне мокрого роста льда градины, а зона отрицательного заряжения в зоне его сухого роста. Структура ледяной поверхности, которая определяется режимом кристаллизации, является одним из факторов, контролирующих процесс заряда частиц, когда они сталкиваются.

Поверхностные свойства льда, в том числе его электрокинетический потенциал, также меняют примеси, влияющие на электризацию.

Величина разделяющегося заряда зависит от площади контакта сталкивающихся частиц, следовательно, находится еще в зависимости от скорости столкновения и размера кристаллика. Электризация отсутствует при скорости столкновения меньше некоторого порогового значения.

Зависимость величины заряда, прошедшего микроэлектризацию, от размера кристаллика для размера кристаллика $10 < d_{л} < 300$ мкм выражается следующим образом:

$$\Delta q_{л-л} = c d_{л}^2, \quad (7)$$

где c – экспериментально установленный коэффициент.

Формула не подходит для кристалликов с размерами $d_{л} > 300$ мкм. Это можно объяснить тем, что кристаллы имеющие большие размеры в основном неправильной формы, поэтому зона контакта с градиной при их столкновении значительно меньше определяется размером частиц.

Влияние внешнего электрического поля на значение разделяющегося заряда происходит только в сильных полях, потому что электропроводность льда низкая и это же является причиной по которой время релаксации для передачи поляризационного заряда значительно больше времени контакта частиц.

Значит, что только в облаках, которые содержат частицы осадков и облачные частицы, т.е. ледяные гидрометеоры, действуют наиболее мощные механизмы микроэлектризации, при этом чем больше ледяных частиц, тем большие заряды формируются в облаке.

1.3.2 Макроэлектризация грозовых облаков

Процесс макроэлектризации – это процесс разделения разноименно заряженных частиц в пространстве, приводящий к преимущественному разделению положительных или отрицательных зарядов в больших объемах облака и организации его электрической структуры. Макроэлектризация приводит к формированию диполя, верхняя часть которого заряжена положительно, а нижняя отрицательно.

Есть гипотезы, объясняющие явление перераспределения зарядов в облаке, они представлены двумя путями: в первом случае считается, что облако электризуется осадками, в другом случае, что сначала происходит электризация облака, а потом формирование в нем осадков.

Электризация облака осадками. Впервые схема, называемая схемой электризации облака осадками, была рассмотрена Эльстером, Гейтелем, а также Вильсоном в их работах.

Представим, что грозовое облако — это электрический генератор, в котором происходит разделение разноименно заряженных частиц в пространстве под действием сторонних неэлектрических сил, что приводит к макроэлектризации облака.

Далее рассмотрен случай, когда неэлектрические силы представлены силой тяжести.

Очевидно, что макроразделение зарядов облака будет протекать только в том случае, если в значительном объеме облака накапливаются частицы, преимущественно несущие заряды разных знаков. Процесс макроэлектризации в облаке может происходить под влиянием силы тяжести, если заряды того или иного знака связаны с гидрометеорами разных размеров, следовательно, и разной

массы. В таком случае причиной разделения макрочарядов будет являться преимущественная положительная или отрицательная микроэлектризация частиц, на которые влияют их размеры (облачные частицы значительно мельче частиц осадков), и дальнейшее разделение разноименно заряженных частиц в гравитационном поле. Пример направленного заряжения: крупинки или градины заряжаются отрицательно, а кристаллы – положительно. И параллельно протекает процесс их распределения в объеме облака – кристаллики будут увлекаться восходящим потоком, переноситься вверх, а крупинки и градины, преодолевая поток из-за большой массы, опускаться вниз.

По величине толщины облака можно судить о его электрической активности. Так как слой генерации заряда в облаке – это слой отрицательных температур, а точнее слой выше изотермы -22°C , который называют уровнем интенсивной электризации, то, чем ниже температура на верхней границе облака или чем толще всё облако, тем большую протяженность имеет слой генерации заряда – а, следовательно, тем больше электрическая активность исследуемого кучево-дождевого-облака. Таким образом электрическая активность облака возрастает с увеличением толщины облака.

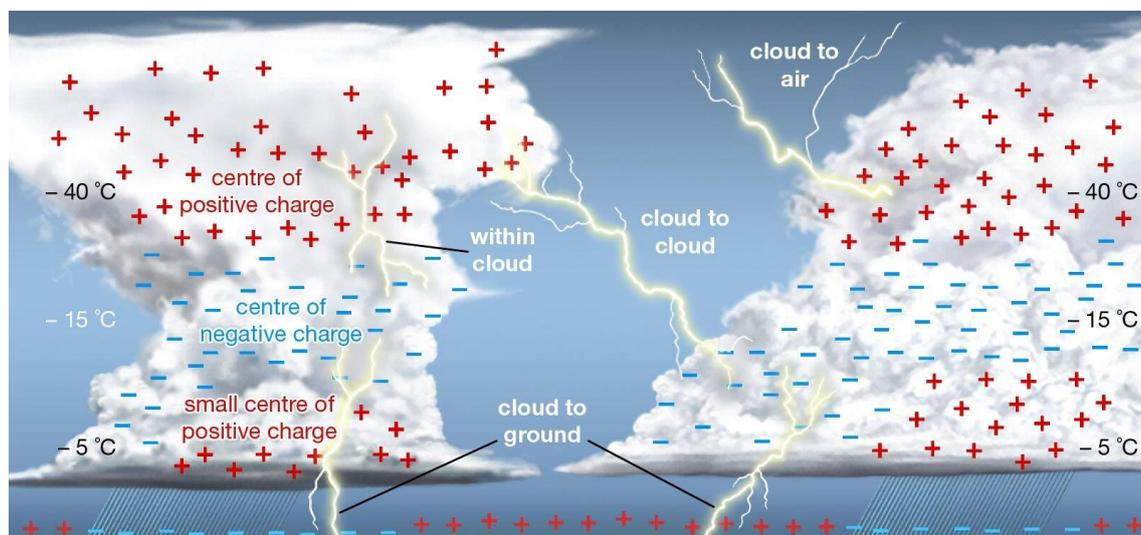


Рисунок 1.5 Распределение зарядов в грозном облаке

Однако процессу перераспределения зарядов в облаке может препятствовать сильная турбулентность и высокая электропроводимость облака. Но несмотря на наличие явлений, которые негативно влияют на распределение

зарядов, в грозовом облаке происходят механизмы генерации и разделения зарядов мощности достаточной для восстановления заряда облака через 3-5с после разряда молнии.[1]

Устойчивая поляризация облака возможна только при условии, что восходящие потоки в облаке превышают скорости падения облачных частиц и не превосходят скорость падения частиц осадков. Отметим, что это же условие является условием гидродинамической устойчивости облаков.

Гипотеза Грене-Воннегута[7]. Грене внес свой вклад в создание теории грозового электричества, которая в результате была развернута Воннегутом. Другая схема, которую назвали конвективной, разработана Грене и Воннегутом. По версии Грене на каплях в облаке оседают легкие ионы, которые появляются в облаке благодаря восходящим потокам воздуха и продолжительность их существования около 5 секунд. Исходя из этой схемы облака заряжаются за счет конвективного переноса в облако вертикальными движениями воздуха, накапливающегося у земли объемного заряда, который проходит сквозь облака и оседает на их каплях. Накопившийся в облаке заряд вызывает подток зарядов другого знака своим полем к границам облака, в основном к его верхней части, в результате возрастания с высотой проводимости атмосферы. Действуя по этой схеме, облако действует как своеобразный электрический фильтр (то есть устройство для выделения необходимых компонент спектра электрического сигнала и подавления нежелательных шумов). Энергия, которая реализуется в электрическом облачном генераторе, поступает за счет конвективных движений в облаке. Поэтому для устойчивой поляризации облака в этом случае также необходимо, чтобы соблюдалось условие его гидродинамической устойчивости.

Считается, что в дни благоприятных условий для образования кучевых облаков в приземном слое атмосферы находится избыток положительных ионов и облака получают положительный заряд (рис.1.6а). В процессе роста облака и усиления нисходящих токов по его краям наблюдается увеличение положительного заряда в самом облаке, а снаружи накапливается отрицательный заряд (рис. 1.6б). Продолжение роста облака влечет к увеличению зарядов, в

центральной части – положительный, а в нижней и средней окраинных частях – отрицательный (рис.1.7в). К появлению коронного разряда приводит нарастание электрического поля под окраинными частями облака.

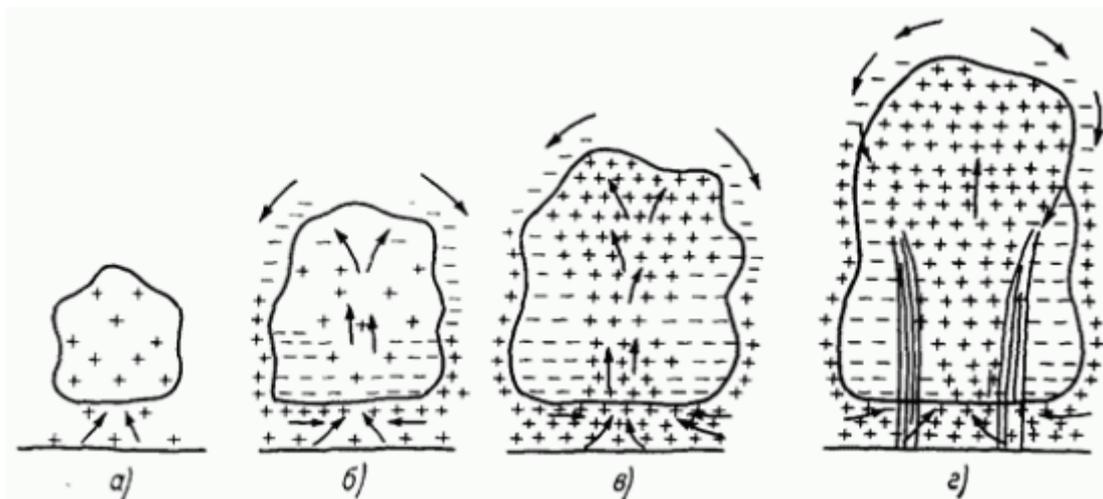


Рисунок 1.6 Схема развития грозового облака Грене-Воннегута. а) — начальная стадия развития, б) - появление токов проводимости вокруг облака под действием внешнего электрического поля, в) — появление разряда с острий на земле, усиление перемещения положительного заряда в облаке, г) - продолжение развития процессов до проявления грозных разрядов.

Положительные ионы этого разряда будут увлекаться восходящими потоками в облако, что приведет к быстрому умножению заряда в облаке и к существенному увеличению напряженности электрического поля, которое в свою очередь приводит к повышению скорости коагуляции капель и появлению дождя (рис. 1.7г).

Рассуждая о макроэлектризации облаков и формировании их электрической структуры, не стоит забывать, что этот процесс происходит не только в грозовых облаках, но и во всех остальных облаках, и даже в туманах, при условии, что в них протекает направленная микроэлектризация, на которую влияют размеры частиц и их последующее разделение в объеме в поле силы тяжести. В облаках разных форм имеется своя характерная электрическая структура.

1.4 Современные методы оценки электрической активности грозовых облаков

К оценке электрической активности грозовых облаков можно подходить с разных сторон, если необходима информация о грозовом очаге, траектории его смещения или высоте уровня с температурой -22°C , то используют радиолокационные методы исследования. Молния же представляет собой совокупность последовательных разрядов, объединенных общим ионизированным каналом. Ионизированный канал является каналом ионизированного воздуха, возникающего вследствие разряда между контактом облако-земля или облако-облако. В этом разделе речь будет идти о том, какие есть методы для изучения молниевых разрядов.

Для решения задачи определения расположения грозовых очагов и обособленных молний как минимум требуется иметь достаточно конкретное представление о поведении молниевых разрядов как об источниках электромагнитного излучения и знать основные закономерности превращения электромагнитного излучения при перемещении на большие и короткие расстояния. [4]

Точечный электрический диполь используется как модель молниевых разрядов, являясь одновременно источником электромагнитного радиоизлучения. Однако, неочевидно, что можно применять данную модель из-за нелинейности и большой протяженности элементов молниевых вспышек для разработки методов пассивной локации.

Однопунктные амплитудные методы являлись первыми средствами для определения молниевых разрядов. Такие устройства регистрировали молнии в ближней зоне до 50 км, хотя их дальность действия могли достаточно увеличить. Большая часть этих систем основана на учете и анализе электромагнитного излучения обратных ударов, появляющихся между землей и облаком. Для определения расстояния используют отдельные амплитудные значения импульсов (обратных ударов). Основными положительными качествами таких устройств можно назвать простоту и дешевизну.

Далее свое развитие получили, довольно популярно используемые грозопеленгаторы-дальномеры. При этом направление на разряд, то есть его пеленг находился по отношению токов в двух ортогонально расположенных катушках с ферромагнитными сердечниками, они ориентированы по сетке географических координат. Такое соотношение токов в катушке определено углом между осями катушек и направлением вектора напряженности магнитного поля излучения молнии, которое в свою очередь определялось координатами разряда молнии. Для фиксации расстояния используются характеристики распространения электромагнитных волн в атмосфере, например рост сдвига между составляющими излучения молнии: магнитной и электрической.

Для определения расстояния до разряда молний могут быть использованы особенности распространения электромагнитных волн в атмосфере. В частности, нарастание сдвига фаз между магнитной и электрической составляющими электромагнитного излучения молний. В источнике сдвиг фаз равен нулю. По мере распространения электромагнитной волны сдвиг фаз растет. Этот закон известен. Результатом использования этого метода является окружность, но при применении в сочетании с пеленгатором получается точка.

Сейчас в России и во всем мире отслеживается быстрое развитие многопунктных систем нахождения координат разрядов молнии. Система Росгидромета на сегодня использует три грозопеленгационные системы (ГПС) - «АЛБЕС», «BLITZORTUNG» (дальномерные) и LS8000 (гибридная). Грозопеленгатор LS8000 позволяет находить координаты и другие параметры молний в двух диапазонах длин волн высокочастотный диапазон (110–118 МГц), и низкочастотный (1–350 кГц). интерпретация результатов измерений показала, что в низкочастотном диапазоне регистрируют около 30% молний типа «облако–облако» и молнии типа «облако–земля», а в высокочастотном диапазоне - все разряды, включая внутриоблачные.

Для каждого молниевое разряда Облако-Земля можно получить

- время молниевое разряда с точностью до 100 нс;

- географические координаты положения разряда молнии, градусы, с точностью до 4 знака после запятой;
- силу тока канала молнии, кА;
- полярность молниевое разряда;
- время увеличения тока в молниевом канале до максимального значения, мкс;
- время уменьшения тока в канале молнии до нуля, мкс;
- значение большей и меньшей полуоси эллипса 50% вероятности области местонахождения молниевое разряда. [2]

Для разрядов «облако-облако» не определяют силу тока, полярность, время накопления и сокращения сигнала.

Существует эмпирический подход к определению и изучению разрядов в облаке. Он основан на зависимости электрической активности грозовых облаков от метеорологических параметров атмосферы.

Поскольку можно получать данные о высоте верхней части конвективных облаков со спутников и моделей общей циркуляции (GCMS), представляется логичным и удобным использовать высоту верхней части облаков в качестве переменной при любой параметризации крупномасштабной грозовой активности.

Потому как интенсивность восходящего потока положительно коррелирует с высотой вершины конвективного облака, можно показать, что высота вершины конвективного облака также сильно связана с грозовой активностью.

Приведенное выше (раздел 1.3) описание процесса электризации грозового облака позволяет сделать вывод, что чем ниже температура на верхней границе облака или чем толще всё облако, тем большую протяженность имеет слой генерации заряда – а, следовательно, тем больше электрическая активность исследуемого кучево-дождевого-облака.

Именно это суждение позволило Колину Прайсу в своих исследованиях использовать следующую закономерность для вычисления частоты молниевых разрядов в минуту:

$$F = 3,44 \cdot 10^{-5} \cdot H^{4,9} \quad (8)$$

F — частота молниевых разрядов в минуту, H — высота вершины облака в км. [5]

Также заметим, что формула применима для расчета частоты разрядов в континентальном грозовом облаке в умеренных широтах Северного полушария.

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ И КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА И СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА

В данной главе будут описаны физико-географические и климатические особенности следующих регионов: Северный Кавказ и Северо-Западный регион ЕТР. Также будет рассмотрена специфика образования облачности в горной местности.

Важно отметить, что города Санкт-Петербург и Ростов-на-Дону, Минеральные Воды находятся противоположно друг друга на севере и юге страны, где отмечается активная грозовая деятельность; Санкт-Петербург и Ростов-на-Дону расположены рядом с обширными акваториями, а Минеральные Воды и Ростов-на-Дону находятся практически на одних широтах, но в первом случае – это равнинная местность, а во втором возвышенность. Эти факторы необходимо учесть при сравнении молниевой активности регионов.



Рисунок 2.1 Географическое расположение городов Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону и Минеральные Воды

2.1 Регион Северного Кавказа

Северно-Кавказский регион в теплый период года характеризуется сильной грозовой деятельностью. Здесь наблюдаются такие опасные явления погоды как гроза, сильные ливни, град, сильный ветер, жара, засуха. Особый интерес к изучению грозовой деятельности в этом регионе обусловлен частой

повторяемостью гроз, часто сопровождаемые сильным ливнем и градом. Регион отличается разнообразностью рельефа, и на различных его территориях орография будет оказывать влияние на грозовой режим данного региона. Поведение грозового электричества и его параметров в условиях высокогорья не изучены в полной мере. [8]

2.1.1 Физико-географическое описание Северного Кавказа

Северный Кавказ располагается на участке суши между Азовским, Черным, и Каспийским морями. Северный Кавказ представлен двумя района: Предкавказье и северный склон гор Большого Кавказа. Рельеф Предкавказья представлен широкими низменностями, между которыми располагается Ставропольская возвышенность. Эти формы рельефа имеют связь и по происхождению, и по природным особенностям с Кавказскими горами. Несмотря на засушливый климат региона, в низовьях рек образуются большие болотистые пространства, это происходит из-за того, что реки уносят с гор много рыхлого сырья, который откладывается позже на равнинах, и таким образом получается, что реки протекают выше близрасположенных равнин в собственных наносах. [9]

На востоке от Ставропольской возвышенности расположены сухие степи и полупустыни, а в западная часть Предкавказья обладает черноземными почвами. Горы Большого Кавказа проходят по границе между умеренным поясом и субтропиками, они перекрывают путь, движущимся на юг холодным воздушным массам. Благодаря высоким горам зона субтропиков прошла дальше на север. На протяжении года преобладает циклоническая ситуация на Черном морем, поэтому влажные воздушные массы, поднимаясь по склонам гор, конденсируются и дают осадки. Таким образом, на западной стороне гор выпадает гораздо больше осадков, чем на восточной из-за того, что воздух, стекающий с гор, прогревается и теряет влагу. Изменение таких метеорологических факторов как осадки и температура воздуха зависит от характера рельефа и почвенно-растительной поверхности, особенно в

вертикальной плоскости, поэтому самые высокие вершины Кавказских гор имеют снежный или ледяной покров.

2.1.2 Климатическое описание Северного Кавказа

Климат Северного Кавказа зависит не только от географического положения, но и от рельефа данных территорий. Климат Северного Кавказа континентальный и умеренно-теплый, определяется переносом теплых воздушных масс, теплым летним периодом с наличием гроз и снежными зимними периодами. Восточная часть Кавказа зимой находится под влиянием преобладающих северо-восточных ветров, и летом северо-западных, этим обусловлено наличие теплого режима. На Кавказе в холодный период года наблюдаются волны холода, приходящие с Арктики. Такие волны временами приводят к появлению сильных заморозков, окутывая горы с запада и востока. Восточная часть Северного Кавказа обладает более теплым и мягким климатом. На равнинах в июле значения температуры составляют более 20°C, в январе температура в диапазоне от -10°C до +6°C. В январе отмечается самая низкая температура воздуха, в июле – самая высокая.

Различают два типа климатической области Кавказа: Предкавказье находится в зоне умеренного климата, а Закавказье – субтропического, разность областей обусловлена различным рельефом, воздушными потоками, местной циркуляцией. Имеются следующие закономерности в изменении климатических факторов: с запада на восток влияние континентального типа климата увеличивается; с севера на юг увеличивается общая солнечная радиация; с увеличением высоты гор, температура понижается и увеличивается количество осадков.

На севере преобладает континентальный тип воздушных масс умеренных широт, в Закавказье - субтропические воздушные массы. На севере располагаются равнины, на юге находятся высокие горы, чем и объясняется различия приходящего сюда воздуха и, соответственно, количества осадков. Зимой над ближайшими морями - Черным и Каспийским образуются области

пониженного давления, этим обусловлено наличие сильных ветров. Азиатский антициклон уходит на восток, поэтому количество снега уменьшается, а также происходит образование местного антициклона с центром над Армянским нагорьем, что может приводить к очень низким температурам в Предкавказье. Из-за усиления циклонической деятельности в зимнее время на черноморском побережье максимум осадков приходится на этот период, на оставшейся территории максимум осадков приходится на теплое время года. Зимой и в горах, и на равнинной местности наблюдается снег, но бывают и беснежные зимы.

Летний климат Кавказа определяется в значительной степени влажным Атлантическим воздухом и сухим континентальным воздухом. В первой половине лета в Предкавказье наблюдается максимальное число осадков, приносимое атлантическими антициклонами. С середины лета на юго-востоке равнины происходит трансформация воздушных масс, приводящее к снижению числа осадков и появлению суховеев и засух. При подъеме в гору число осадков растет, но на востоке значительно падает. Самое большое количество осадков зафиксировано на наветренной стороне юго-восточного склона Большого Кавказа.

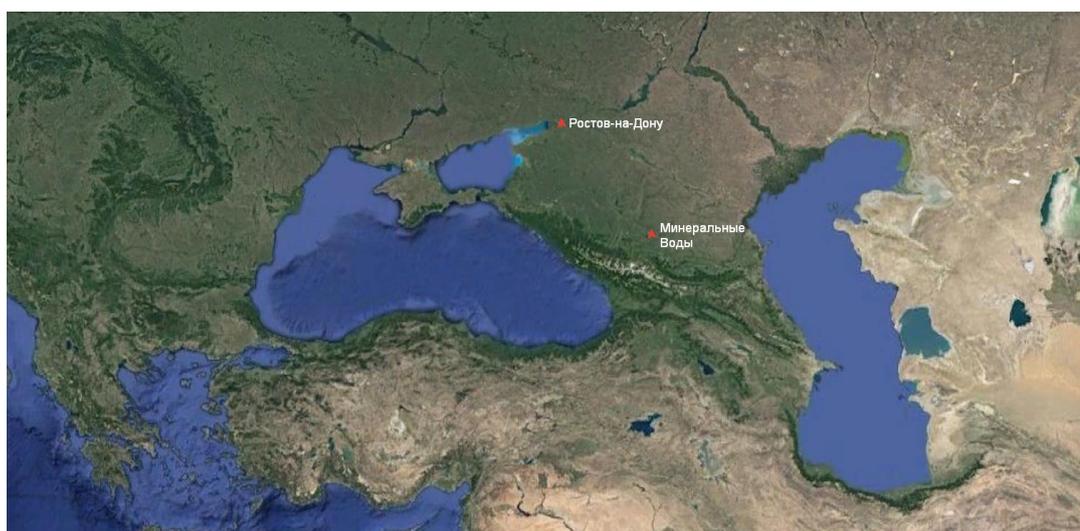


Рисунок 2.2 Географическое расположение городов на территории Северного Кавказа

В следующей главе будут рассмотрены электрическая активность грозных облаков следующих городов: Минеральные воды и Ростов-на-Дону, поэтому далее пойдет их физико-географическое и климатическое описание.

Минеральные Воды – город, расположенный на юге России в Ставропольском крае. В основном преобладающая природная зона – степная. Высота над уровнем моря составляет 310 метров.

Влажные воздушные массы, идущие с Черного моря, не достигают города из-за препятствия в виде Главного Кавказского хребта, поэтому климат города достаточно сухой, и все равно отличается контрастностью – сухое и жаркое лето, но слабо-морозная зима. Четко определяются весна и лето. Наиболее холодными месяцами являются январь и февраль, теплыми – июль и август. Весна начинается уже в последней декаде февраля, а лето – в начале мая. Лето в городе отличается теплом и продолжительностью в 140 дней. Осень начинается только в начале октября.

Ростов-на-Дону – город, находящийся на юго-востоке Восточно-Европейской равнины, большей своей частью расположен на правом берегу реки Дон. На территории города преобладает равнинный рельеф. Высота над уровнем моря – 72 метра.

В Ростове-на-Дону преобладает умеренно-континентальный тип климата, среднегодовое количество осадков составляет около 620 мм в год. Зима в городе мягкая и малоснежная. Лето – жаркое, долгое и достаточно засушливое, средние температуры июля имеют значение $+24^{\circ}\text{C}$.

Особенность образования облачности горных пространств заключается во влиянии рельефа на процессы перемещения и трансформации воздуха. Их суть состоит в следующем:

- Из-за орографии местности в горах образуются формы облаков, характерные для горных областей, а вид других форм облачности изменяется;
- При наблюдениях с поверхности земли, наблюдатель располагается выше облаков или на одном уровне с ними, поэтому форма может показаться другой.

Над возвышенными территориями чаще всего наблюдается облачность влажной воздушной массы. Водяной пар активно конденсируется благодаря поднятию влажного воздуха по горным склонам, а также радиационному режиму покрытых снегом вершин, из-за чего горы долгое время могут закрываться облаками, в то время как над равнинами будет ясно. Но в сухой воздушной массе над высокогорными областями облачность будет на той же высоте, что и над долинами.

При переносе влажного воздуха облачные системы образуются преимущественно с наветренных сторон гор. Облака, приобретая форму кучево-дождевых, получают развитие до больших высот, существенно выше горных склонов. Перетекая через хребет, облака из-за нисходящих движений и нагревания воздуха с подветренного склона распадаются.

Летом над участками, где проходит конвекция, то есть обычно над склонами, которые обращены к солнцу, образованные кучевые облака становятся в виде высоких башен небольшими основаниями. Потом при достижении стадии кучевых мощных облака сливаются и начинают формироваться наковальня и кучево-дождевые. Над горами облачные слои неоднородны, это скорее всего связано с влиянием орографии и подстилающей поверхности горных пространств.

2.2 Северо-Западный регион

Для рассматриваемого региона число дней, когда зафиксирована гроза, составляет 10-30 в год. Среди районов территории выделяется Валдайская возвышенность, особенно ее наветренные склоны, с самым большим количеством дней с грозой: 26-29. Меньше всего (10 дней в год) грозы встречаются на побережье Белого моря и островах Финского залива из-за низких температур.

Наиболее благоприятная ситуация для возникновения гроз — это теплый период с мая по август, но могут начинаться раньше – в апреле, например, на западе Ленинградской области, однако это происходит очень редко. Здесь

большая грозовая активность отмечается в июле (5-7, на заболоченных пространствах - 9). Осенью грозовой сезон прекращается, в сентябре отмечают 1-2 за весь месяц, а в октябре грозы считаются редким явлением их появление отмечают один раз за 10 лет. Зимой грозы представляют собой крайне редкое явление.

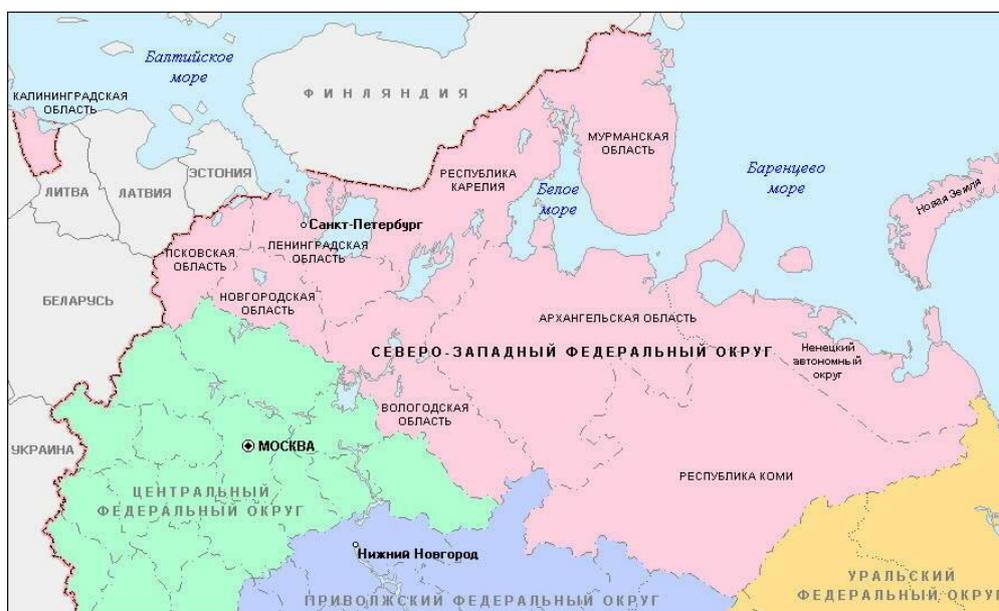


Рисунок 2.3 Физическое расположение Северо-Западного региона ЕТР

2.2.1 Физико-географическое описание Северо-Западного региона

Большая часть региона представляет собой равнины, с высотой над уровнем моря, колеблющейся от 100 до 300 м. Территория региона четко разделяется на две части: низменную – Северо-Западную и возвышенную – Юго-Восточную, Восточную, Южную. На равнинный рельеф территории больше всего повлияло оледенение. Из-за таяния льдов углубления в коре земли наполнились водой, и таким образом сформировались озера. А все неровности поверхности трансформировались в равнины, которые являются местом протока рек в настоящее время.

Регион имеет приморское положение, он омывается Финским заливом, оказываясь при этом в крайне выгодном положении с выходами к четырем морям: Белое, Балтийское, Баренцево и Печорское. На западе регион граничит с

Финляндией, Норвегией, странами Прибалтики и Польшей, Белоруссией. На территории России граничит с Центральным, Поволжским и Уральским федеральными округами.

2.2.2 Климатическое описание Северо-Западного региона

Климат Северо-Западного региона умеренно-континентальный с мягкой зимой и теплым влажным летом. Его уникальность обусловлена циркуляционными процессами в атмосфере, типом подстилающей поверхности и притоком солнечной радиации. Преобладающая природная зона региона представляет собой тайгу. Территория региона представлена равниной с плавным рельефом и неоднородными высотными отметками.

Для региона характерна высокая влажность воздуха, количество осадков на побережье достигает 1500мм/год. Из-за избыточной влаги большая часть энергии уходит на испарение. Фактор, играющий решающую роль в формировании климата Северо-Западного региона, это циркуляция атмосферы. Воздушные массы, приходящие с разных регионов на территорию Северо-Запад ЕТР с вихрями синоптического масштаба, имеют с различные параметры (температура, влажность, тип облачности, осадки). Когда такие массы воздуха сталкиваются друг с другом, это приводит к более сложным погодным условиям, таким как штормовой ветер, мощная облачность, сильные осадки, грозы, град и т.п. В результате частой смены морских и континентальных масс воздуха и активной деятельности циклонов создается неустойчивая погода во все годовые сезоны. Весна приходит медленно из-за присутствия рядом крупных акваторий. Среднесуточная температура больше 0°C наблюдается в апреле, но не превосходит +5°C, +10°C утверждается с середины мая. Лето умеренно теплое и относительно короткое, самым теплым месяцем считается июль. Осень начинается рано – с сентября, а с октября циклоническая деятельность увеличивается, значения температуры уменьшаются, преобладает пасмурная, ветреная погода с дождями.

Восток региона обладает в большей мере континентальностью климата, здесь более длительная и суровая зима. В сторону Балтийского моря

устанавливает более мягкий и влажный характер климата. Между Восточно-Европейской равниной и Западной Европой, граничащей с морем, лежит юго-запад региона, здесь происходит сочетание и континентального, и морского климатических типа. Континентальный проявляется в разности теплых и холодных периодов и в конкретном разделении зимы и лета, морской – в большинстве своем в холодное время в резких оттепелях.[10]

Санкт-Петербург – город, расположенный в устье Невы и на островах ее дельты на побережье Беломорского Финского залива. Координаты города (59.91 с.ш., 30.27 в.д.). город развернулся на площади 1439 км², из которых 45% занимает сплошная застройка.

Высота города над уровнем моря колеблется от 1 до 30м, а самой высокой точкой города считаются Дудергофские высоты с высотой 176м.

В целом город находится на равнинной территории, однако отличается разнообразностью рельефа: на юго-западе Ижорская возвышенность, на севере возвышенность Карельского перешейка и Приморско-Вуоксинский озерный район.

ГЛАВА 3. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ И В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ РЕГИОНЕ ЕТР

Гроза – явление проявления атмосферного электричества, которое представляет собой видимый (молниевый разряд) или звуковой эффект (раскат грома) по отдельности, либо их сочетание. Сначала видно молнию, за ней следует гром, временной промежуток между этими явлениями имеет зависимость от расстояния от грозового деятельного облака до точки наблюдения. Гром можно услышать на отдалении до 15-20 км, в то время как молнию можно и не заметить.

Для анализа были взяты города Северного Кавказа: Минеральные Воды (44.32 с.ш., 43.12 в.д.) и Ростов-на-Дону (47.24 с.ш., 39.73 в.д.) и Северо-Западного региона: Санкт-Петербург (59.91 с.ш., 30.27 в.д.). Выбор городов обусловлен наличием хорошей архивной базы и выраженной грозовой деятельностью. В этой части будут сравниваться параметры электрической активности грозовых облаков в умеренных широтах. Также выбор городов Минеральные Воды и Ростов-на-Дону интересен тем, что эти города находятся практически на одной широте, но отличны друг от друга по рельефу местности. К тому же и Санкт-Петербург и Ростов-на-Дону являются прибрежными городами, Санкт-Петербург находится на берегу Финского залива, а Ростов вблизи Азовского моря.

Сначала изучены архивные данные (сайт Расписание погоды gr5.ru) в период с апреля по сентябрь 2019-2022гг. Сформирована следующая база данных о грозах. (При пропуске в графе «Время окончания» следует считать, что гроза не отмечалась в следующий срок наблюдения, а значит, длилась меньше 3 часов). Также были использованы данные радиозондирования.

3.1 Анализ электрической деятельности в Санкт-Петербурге

В таблице 1 представлены все дни, когда отмечалась гроза в период с мая по сентябрь 2019-2022гг., таких случаев выявлено 22. Время местное.

Таблица 1 Грозы в Санкт-Петербурге за период май-сентябрь 2019-2022гг.

№	Число	Время начала	Время окончания	Доп. явления	Продолжительн. грозы	Температ. (нач./оконч.)	Давление (нач./оконч.)
1	07.06.19	18:00	21:00	Ливень	3ч	25,6/ 27,1	764,5/764,4
2	09.06.19	12:00	15:00	Ливень	3ч	23,9/ 17,6	763,8/764,8
3	21-22.06.19	21:00	03:00	Ливень	6ч	24,3/ 17,7	756,8/757,8
4	02.07.19	12:00	15:00	Ливень	3ч	19,7/ 19,3	748,3/748,9
5	03.07.19	18:00	21:00	Ливень	3ч	13,7/ 14,7	748,7/749,2
6	09.07.19	12:00	15:00	Ливень	3ч	13,7/ 14,4	751,5/752,0
7	12.08.19	18:00	21:00	Ливень	3ч	21,3/ 20,9	759,4/758,6
8	29.09.19	18:00	21:00	Ливень	3ч	9,2/ 9,5	748,9/747,5
9	28.06.20	03:00	09:00	Ливень	6ч	20,9/ 17,0	758,9/759,2
10	09.07.20	18:00	21:00	Ливень	3ч	17,8/ 16,8	757,6/756,9
11	28.07.20	15:00	21:00	Ливень	6ч	18,2/ 17,7	759,6/759,6
12	23.08.20	18:00	21:00	Ливень	3ч	17,3/ 16,4	754,4/754,5
13	18-19.05.21	21:00	03:00	Ливень	6ч	16,1/ 15,9	753,5/753,1
14	20.05.21	18:00	21:00	Ливень	3ч	12,2/ 13,0	749,1/748,9
15	26.06.21	03:00	09:00	Ливень	6ч	19,1/ 19,8	759,1/757,9
16	28.07.21	15:00	21:00	Ливень	6ч	22,8/ 18,7	756,5/754,9
17	19.06.22	12:00	15:00	Ливень	3ч	16,9/ 16,3	749,7/751,6
18	05.07.22	06:00	09:00	Ливень	3ч	17,8/ 18,4	759,1/759,4
19	12.07.22	00:00	03:00	Ливень	3ч	17,0/ 17,2	759,3/758,6
20	12.07.22	18:00	21:00	Ливень	3ч	20,0/ 21,0	756,1/756,2
21	14.07.22	12:00	21:00	Ливень	9ч	24,3/ 16,3	752,0/751,9
22	06.08.22	18:00	21:00	Ливень	3ч	18,3/ 16,3	759,7/760,5

На основании приведенной выше таблицы были составлены график годовой повторяемости гроз и повторяемости времени начала грозовой деятельности (суточный ход) за взятый период.

На графике повторяемости случаев грозы в Санкт-Петербурге май-сентябрь 2019-2022 (рис. 3.1) присутствует ярко-выраженный максимум числа гроз в июле – 50% от всех гроз за представленный период. Далее в июне повторяемость составила 23%, в августе – 14%, в мае – 9% и в сентябре - 4%.

На графике по Санкт-Петербургу (рис.3.4) четко выражен пик повторяемости в 18:00, что свидетельствуют о наличии как внутримассовых гроз, так и фронтальных гроз. В 3:00 и в 6:00 начинались скорее всего грозы при теплых фронтах. В 12:00 часов грозы имели внутримассовое происхождение. В 9:00 часов начало гроз зафиксировано не было. В 03:00 ночной пик начала грозы.

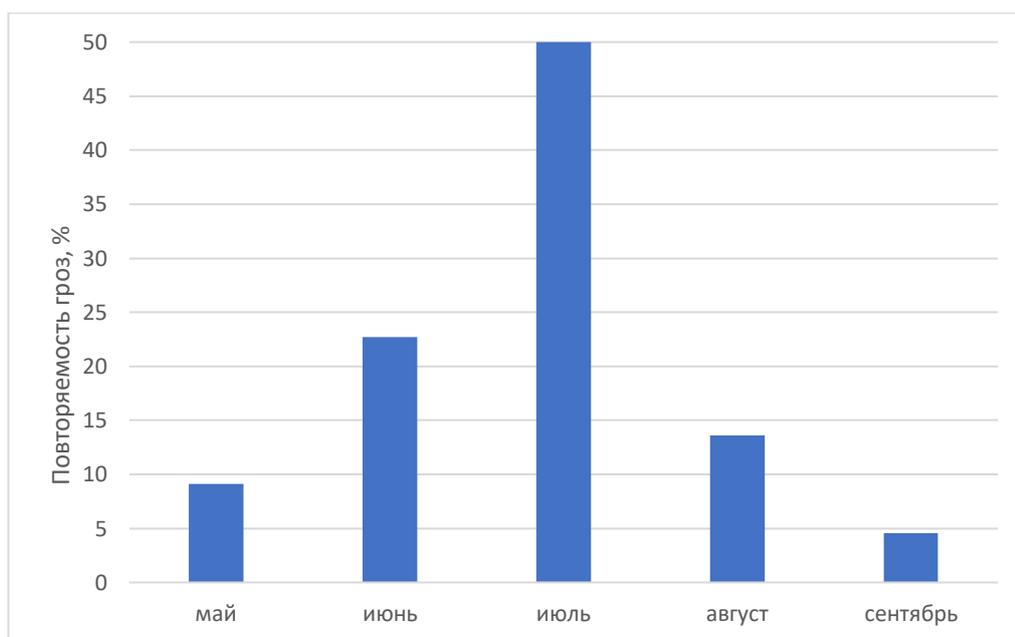


Рисунок 3.1 Повторяемость случаев грозы в Санкт-Петербурге май-сентябрь 2019-2022

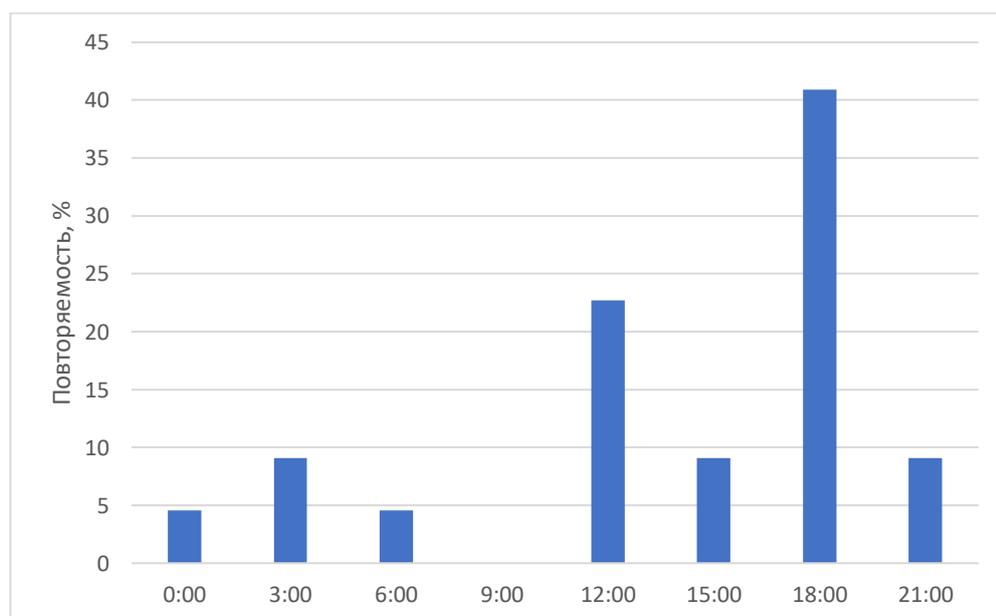


Рисунок 3.2 Повторяемость времени начала грозы в Санкт-Петербурге

В 1 главе было выяснено, что температура воздуха на высотах влияет на развитие процесса электризации облака. Рассмотрим зависимость повторяемости числа гроз от температуры воздуха у поверхности земли для г. Санкт-Петербург. Для этого была взята температура, при которой началась гроза, ранжирована через 1°C и посчитано в процентах количество случаев начала грозы при этой температуре.

Так, при общем числе наличия факта грозы 22, на графике повторяемости гроз в зависимости от температуры воздуха у поверхности земли в Санкт-Петербурге (рис. 3.7) большее количество случаев 18% отмечается при температуре 17-17,9°C, входит в диапазон от 16 до 26°C. Самая низкая температура, при которой начиналась гроза 9,2°C, самая высокая 25,6°C.

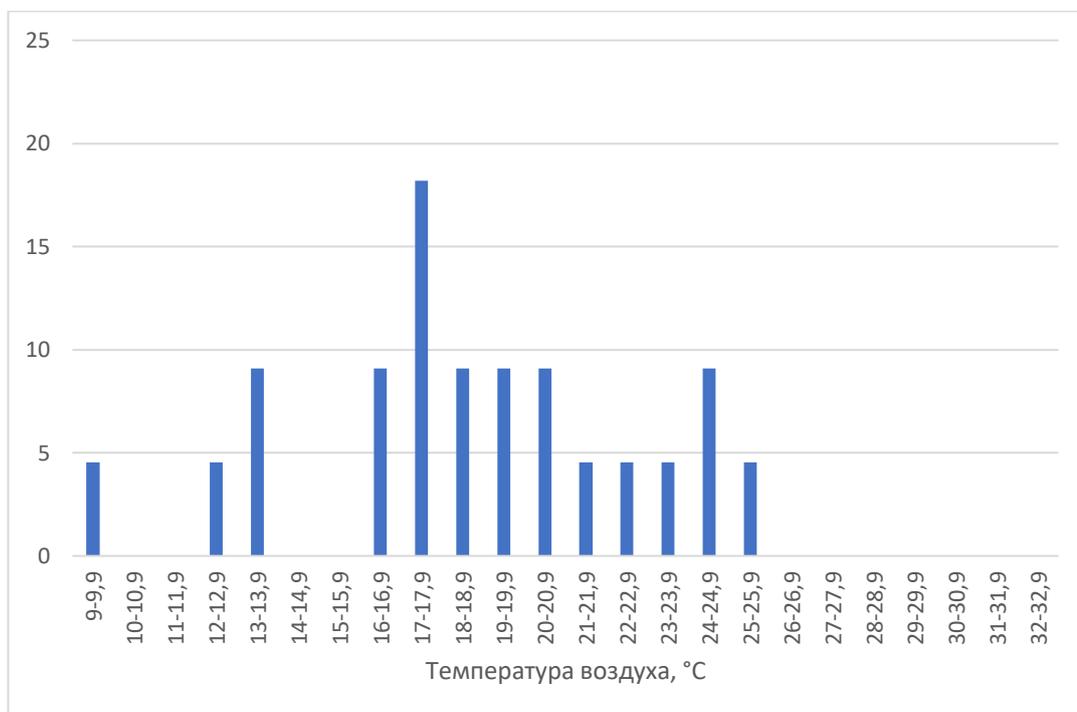


Рисунок 3.3 Повторяемость гроз в зависимости от температуры воздуха у поверхности земли в Санкт-Петербурге

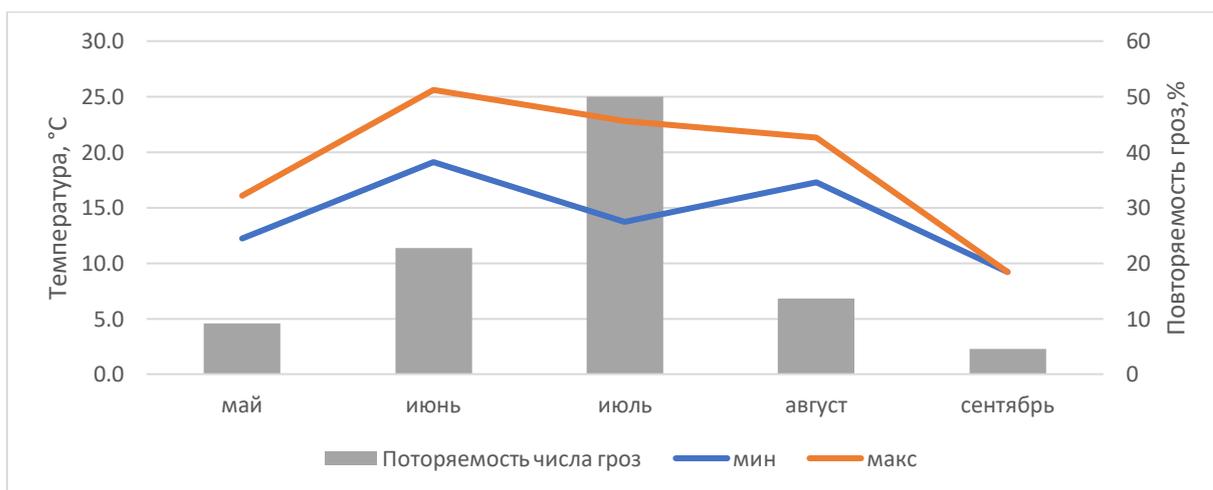


Рисунок 3.4 График минимальной и максимальной температуры воздуха у поверхности земли относительно повторяемости гроз в месяц в Санкт-Петербурге

На графике (рис. 3.4) представлены минимальные и максимальные температуры воздуха за весь период. Наименьшие максимальные температуры, при которых наблюдалось начало грозы, отмечаются в мае и сентябре. Несмотря на то, что максимум температуры замечен в июне, больше случаев грозы происходит в июле, предположительно это указывает на наличие гроз фронтального происхождения в июле.

По данным радиозондирования за 00ч и 12ч по UTC, был найден Equilibrium Level using virtual temperature, то есть уровень выравнивания виртуальных температур на верхней границе облака и температуры окружающей атмосферы и температура воздуха на этом уровне. Из главы применяется формула Прайса (8) и по результатам, получившихся значений количества разрядов в минуту строятся графики зависимости числа разрядов (в минуту) от высоты верхней границы облака (это закономерность соответствует формуле) (рис.3.5 и 3.6) и зависимости числа разрядов (в минуту) от температуры верхней границы облака (рис. 3.7 и 3.8).

По графикам можно сказать, что верхняя граница облака не достигала высоты больше 12 км и электрическая активность не превосходила 7 разрядов в минуту. Максимум разрядов достиг отметки 6,68 разрядов в минуту за 00ч и 5,78 за 12ч.

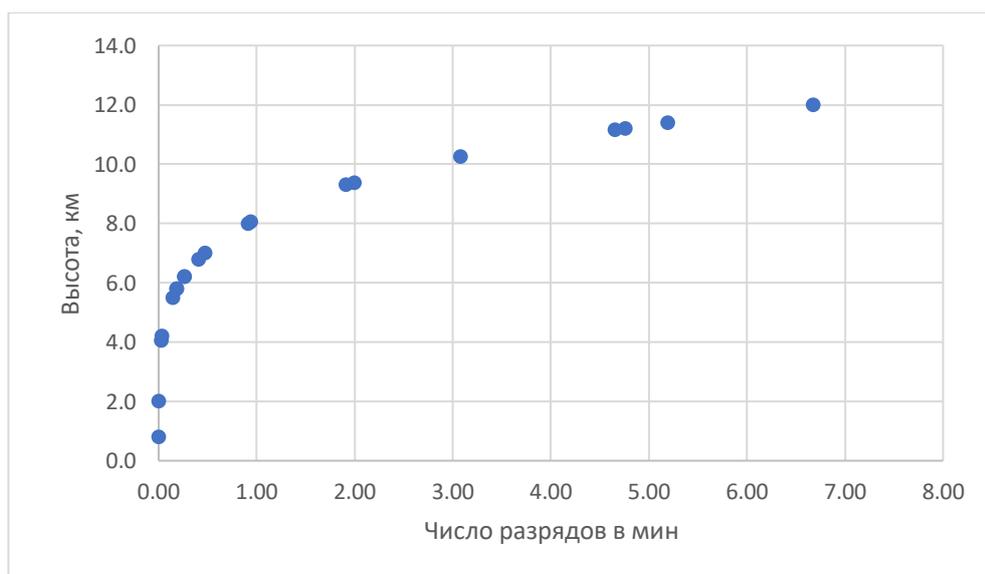


Рисунок 3.5 Зависимость числа разрядов от высоты верхней границы облака зонд 00UTC

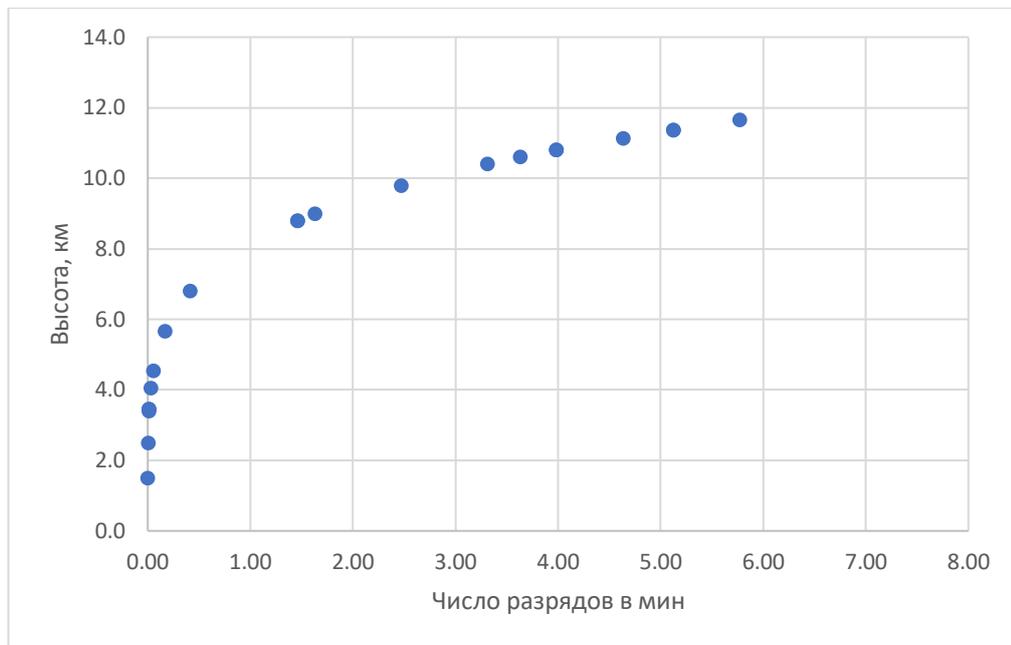


Рисунок 3.6 Зависимость числа разрядов от высоты верхней границы облака зонд 12UTC

Количество разрядов было рассчитано для всех случаев гроз в Санкт-Петербурге.

Считают, что при температуре -22°C и ниже находится слой генерации облачных зарядов. На графике видно, что начиная с температуры -20°C число зарядов начинает стремительно расти. Максимум разрядов наблюдался при температуре -57°C за 00ч, и при $-55,1^{\circ}\text{C}$ за 12ч.

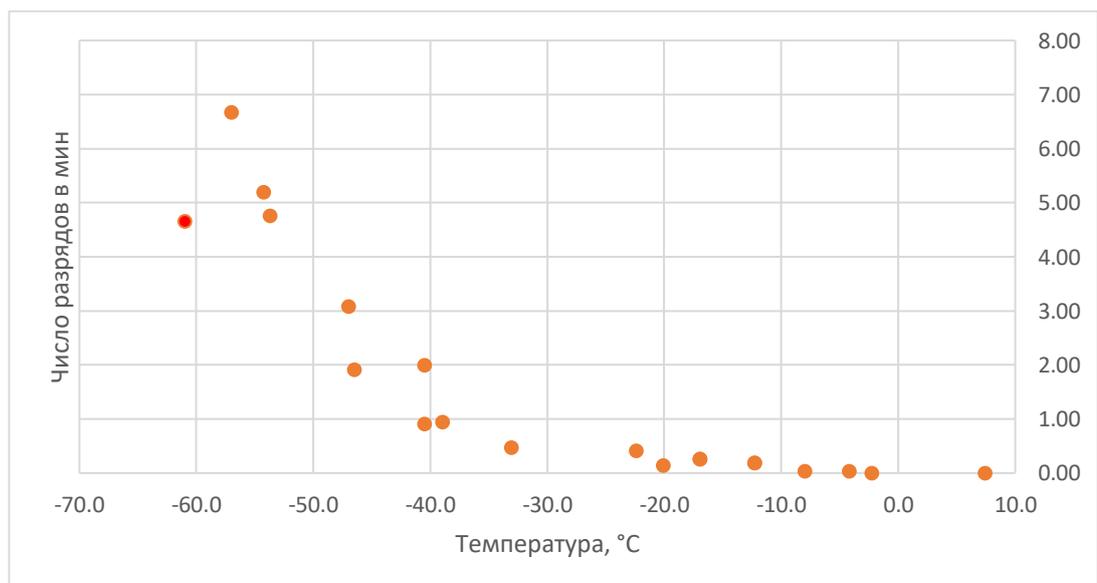


Рисунок 3.7 Зависимость числа разрядов от температуры верхней границы облака зонд 00UTC

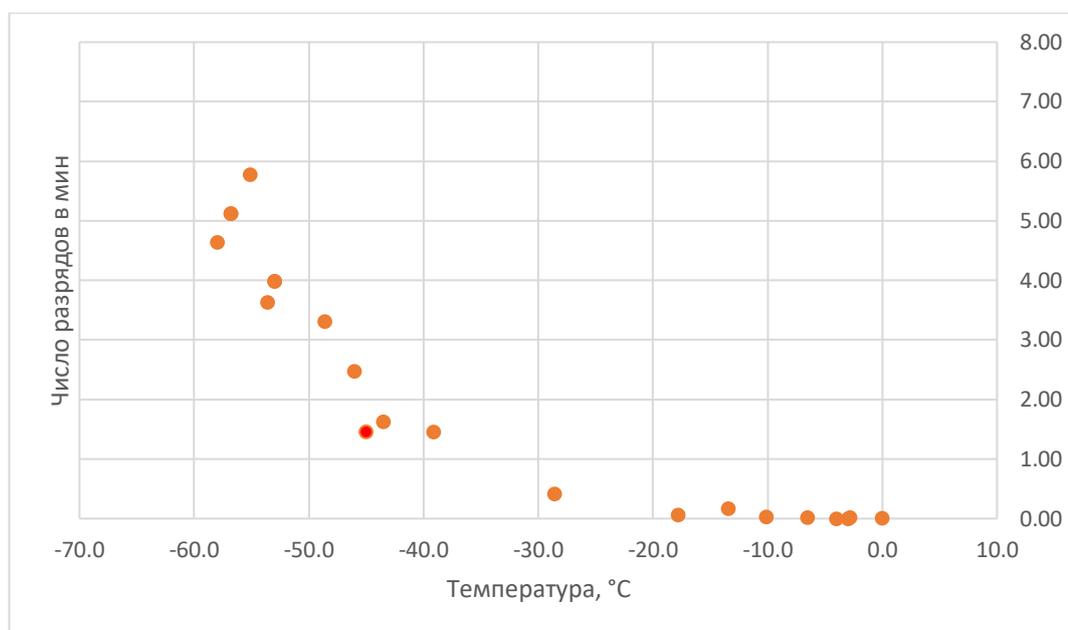


Рисунок 3.8 Зависимость числа разрядов от температуры верхней границы облака зонд 12UTC

3.2 Анализ электрической деятельности в Минеральных Водах

Аналогичные таблицы и графики составляются для г. Минеральные Воды.

Таблица 2 Грозы в Минеральных Водах за период апрель-сентябрь 2019-2022гг.

№	Число	Время начала	Время окончания	Доп. явления	Продолжительн. грозы	Температ. (нач./оконч.)	Давление (нач./оконч.)
1	12.04.19	18:00	21:00		3ч	15,8/ 12,3	732,9/734,2
2	01.05.19	18:00	21:00	Ливень	3ч	16,3/ 17,3	731,3/730,6
3	23.05.19	15:00	21:00	Ливень	6ч	19,1/ 15,6	731,3/732,6
4	03-04.06.19	18:00	03:00	Ливень	9ч	23,0/ 18,6	733,0/733,6
5	04.06.19	15:00	21:00	-дождь	6ч	23,2/ 20,7	733,9/734,3
6	05.06.19	18:00	21:00	Ливень	3ч	21,7/ 20,0	735,0/736,2
7	13.06.19	18:00	21:00		3ч	21,3/ 19,3	731,8/732,4
8	17.06.19	15:00	21:00	Ливень	6ч	22,0/ 21,6	730,2/730,9
9	25-26.06.19	21:00	00:00		3ч	26,6/ 22,1	734,5/734,7
10	04.07.19	15:00	21:00	Ливень	6ч	24,0/ 20,7	731,7/734,2
11	05.07.19	12:00	21:00		9ч	24,4/ 19,3	732,6/732,4
12	06-07.07.19	18:00	00:00		6ч	18,0/ 19,3	729,7/730,9
13	19-20.07.19	21:00	00:00		3ч	18,9/ 18,4	735,4/735,2
14	22.07.19	00:00	03:00	Ливень	3ч	20,4/ 18,7	733,1/734,6
15	24.07.19	03:00	09:00	Ливень	6ч	16,9/ 18,2	730,3/730,0
16	25.07.19	06:00	09:00		3ч	19,0/ 21,5	730,7/730,8
17	31.07.19	00:00	03:00		3ч	20,3/ 18,9	726,4/753,3
18	17.08.19	09:00			<3ч	23,6	729,5
19	17.08.19	18:00	21:00	Ливень	3ч	23,7/ 22,2	730,1/731,2
20	16-17.05.20	18:00	00:00	Ливень	6ч	23,6/ 12,9	729,9/736,6
21	22.05.20	15:00		Ливень	<3ч	24,0	728,0
22	22.05.20	21:00			<3ч	14,3	728,6
23	30.05.20	03:00	09:00		6ч	14,4/ 15,8	730,9/734,5

24	03.06.20	18:00	21:00	Ливень	3ч	16,5/ 15,0	730,3/731,5
25	13.06.20	00:00	03:00	Ливень	3ч	17,2/ 16,2	728,1/727,0
26	14-15.06.20	21:00	03:00	Ливень	9ч	22,2/ 16,8	730,2/730,9
27	15-16.06.20	21:00	03:00	Ливень	6ч	23,7/ 17,4	732,6/730,6
28	17.06.20	12:00	15:00		3ч	23,3/ 25,7	731,3/731,3
29	20-21.06.20	18:00	00:00	Ливень	6ч	21,9/ 17,5	726,7/727,6
30	22.06.20	18:00	21:00	Ливень	3ч	22,5/ 18,8	730,2/730,6
31	24.06.20	18:00	21:00	Ливень	3ч	19,6/ 18,8	733,3/732,1
32	08-09.07.20	15:00	00:00	Ливень	9ч	24,8/ 20,3	727,5/730,1
33	09.07.20	18:00	21:00		3ч	27,5/ 23,3	732,6/733,9
34	14.07.20	00:00	03:00	Ливень	3ч	18,8/ 17,6	726,7/727,6
35	21.07.20	15:00	21:00	Ливень	6ч	19,9/ 21,2	732,0/732,3
36	27.07.20	18:00	21:00		3ч	23,3/ 21,2	733,1/733,8
37	28-29.07.20	21:00	03:00		6ч	18,4/ 16,8	731,6/732,1
38	01.08.20	18:00	21:00		3ч	19,9/ 19,6	728,0/728,8
39	06.09.20	03:00	09:00		6ч	18,9/ 18,4	732,1/733,1
40	18-19.09.20	21:00	00:00		3ч	19,1/ 18,2	732,1/731,5
41	01-02.05.21	21:00	03:00	Ливень	6ч	15,5/ 13,3	735,3/736,7
42	22-23.05.21	18:00	03:00	Ливень	9ч	20,0/ 18,1	730,6/730,3
43	30.05.21	18:00	21:00	Ливень	3ч	18,1/ 16,1	733,5/734,2
44	02.06.21	06:00	15:00	Ливень	9ч	17,1/ 17,9	728,8/730,9
45	17.06.21	18:00	21:00	Ливень	3ч	20,6/ 19,4	732,7/734,7
46	23.06.21	00:00	03:00		3ч	22,0/ 18,3	732,0/732,0
47	28-29.06.21	21:00	00:00	Ливень	3ч	17,7/ 18,0	733,5/733,6
48	04-05.07.21	21:00	03:00	Ливень	6ч	19,2/ 17,6	724,6/726,5
49	07.07.21	18:00	21:00	Ливень	3ч	22,3/ 18,8	733,0/734,4
50	22.07.21	15:00	18:00	Ливень	3ч	22,2/ 23,4	725,8/726,0
51	23.07.21	18:00	21:00	Ливень	3ч	20,1/ 19,1	728,5/729,9
52	02-03.08.21	21:00	03:00	Ливень	6ч	20,7/ 18,5	733,3/732,2
53	04-05.08.21	21:00	00:00	Ливень	3ч	23,1/ 22,9	733,9/734,8
54	14-15.08.21	21:00	03:00	Ливень	6ч	21,3/ 19,5	733,9/733,6
55	16.08.21	09:00	15:00		6ч	19,6/ 18,5	733,9/734,1
56	20.08.21	03:00	06:00		3ч	18,1/ 18,1	729,7/730,6
57	23-24.08.21	21:00	00:00	Ливень	3ч	18,0/ 16,4	735,4/734,9
58	31.08.21	18:00	21:00		3ч	25,5/ 22,7	730,7/731,5
59	11.09.21	18:00	21:00		3ч	22,3/ 19,1	733,0/733,3
60	14-15.05.22	21:00	00:00		3ч	15,9/ 12,2	732,0/731,9
61	06.06.22	15:00	21:00	Ливень	6ч	27,3/ 17,7	729,3/732,4
62	01.07.22	15:00	21:00		6ч	21,2/ 22,1	730,5/731,0
63	23.07.22	00:00	03:00	Ливень	3ч	15,9/ 14,0	732,0/731,8
64	27.07.22	12:00	15:00	Ливень	3ч	17,0/ 20,8	732,7/732,3
65	12-13.08.22	18:00	00:00	Ливень	6ч	28,8/ 18,1	731,7/732,2
66	18-19.08.22	21:00	09:00	Ливень	12ч	24,6/ 25,5	730,0/730,2
67	21-22.09.22	18:00	03:00	Ливень	9ч	20,2/ 14,6	731,6/731,0

На графике повторяемости случаев грозы в Минеральных Водах май-сентябрь 2019-2022 (рис. 3.9) выделяются два месяца июнь – 28% и июль – 31%. Затем идут август с повторяемостью – 18%, май – 15%, сентябрь – 6%, апрель – 2%.

На рисунке 3.10 представлен суточный ход времени начала грозы, наблюдается плавный ход с максимумом в 18:00 и дальнейшим уменьшением до 06:00, а с 06:00 снова начинается рост повторяемости факта грозы.

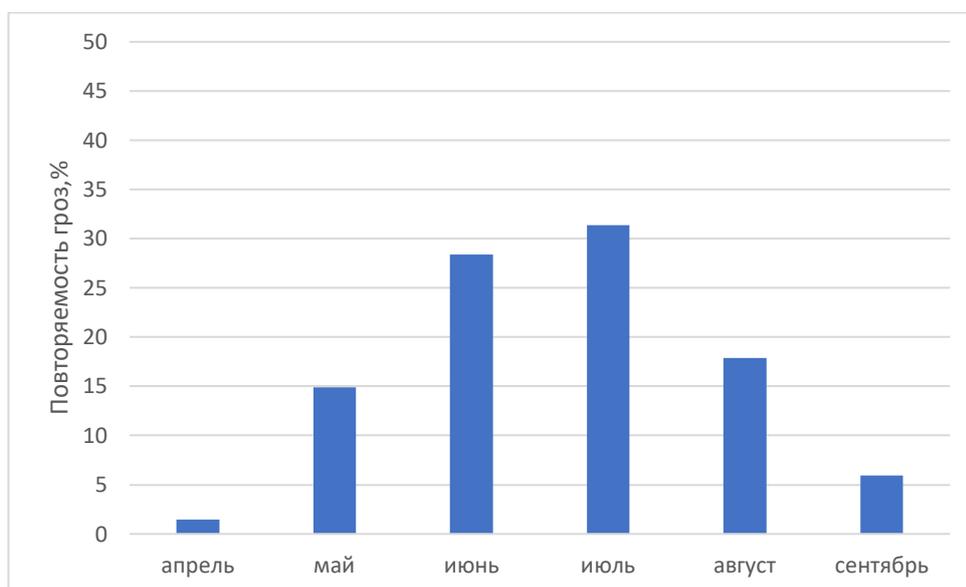


Рисунок 3.9 Повторяемость случаев грозы в Минеральных Водах апрель-сентябрь 2019-2022

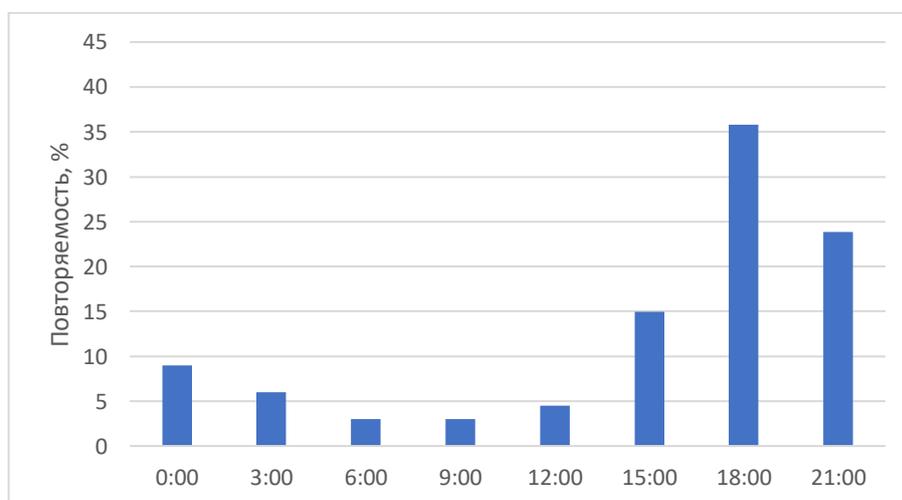


Рисунок 3.10 Повторяемость времени начала грозы в Минеральных Водах

На графике по Минеральным Водам (рис. 3.11) при количестве случаев 67 выделяется общий диапазон с 14 до 29°C, с максимумами 18-20°C. При температуре ниже 14°C и выше 29°C грозовой деятельности не наблюдалось.

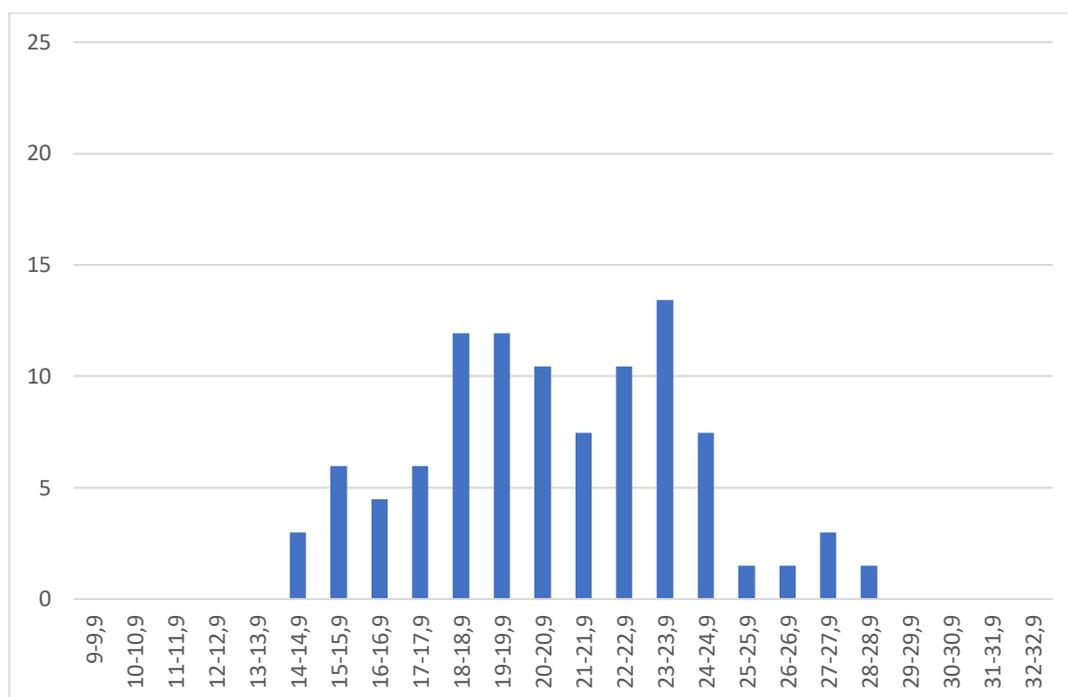


Рисунок 3.11 Повторяемость гроз в зависимости от температуры воздуха у поверхности земли в Минеральных Водах

Из рисунка 3.12 максимальные температуры наблюдаются в августе, что связано с прогревом атмосферы к концу теплого сезона. Однако большая повторяемость была при температурах ниже в июле, а в июне при близких максимальных температурах наблюдалось меньшее количество гроз.

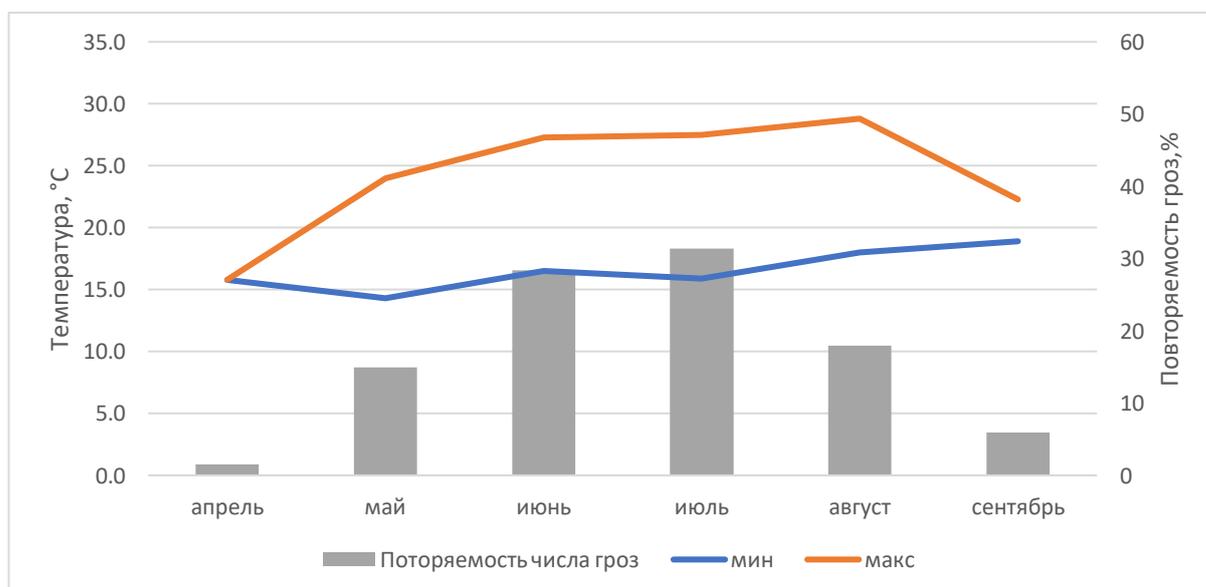


Рисунок 3.12 График минимальной и максимальной температуры воздуха у поверхности земли относительно повторяемости гроз в месяц в Минеральных Водах

Для городов Минеральные Воды и Ростов-на-Дону было рассчитано

число зарядов для самого интенсивного по грозовой деятельности месяца – июль. По графикам зависимости числа разрядов (рис.3.13-3.16) в Минеральных Водах верхняя граница облака не превышала 12 км, максимальное число разрядов в минуту 4,76 при температуре -48°C за 00ч.

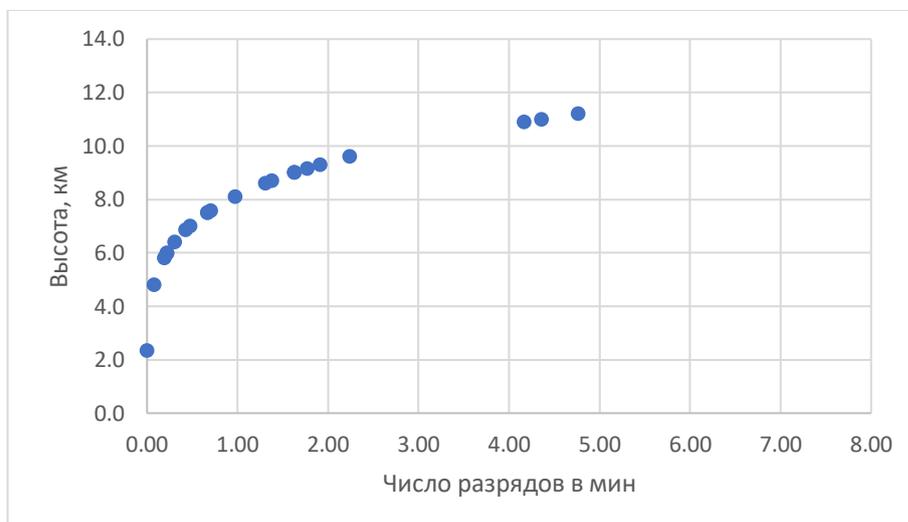


Рисунок 3.13 Зависимость числа разрядов от высоты верхней границы облака зонд 00UTC

По данным зондов за 12ч максимум разрядов составил 4,36 в минуту при высоте 11 км и температуре -46°C .

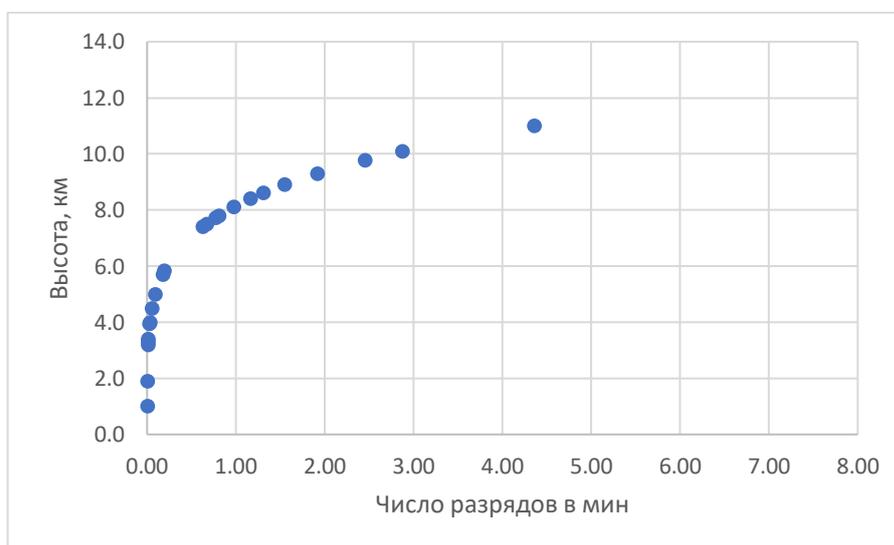


Рисунок 3.14 Зависимость числа разрядов от высоты верхней границы облака зонд 12UTC

Основное число грозовых разрядов наблюдается при температуре от -20°C до -35°C - -40°C . При температуре выше -20°C число разрядов в минуту не превышает 0,5.

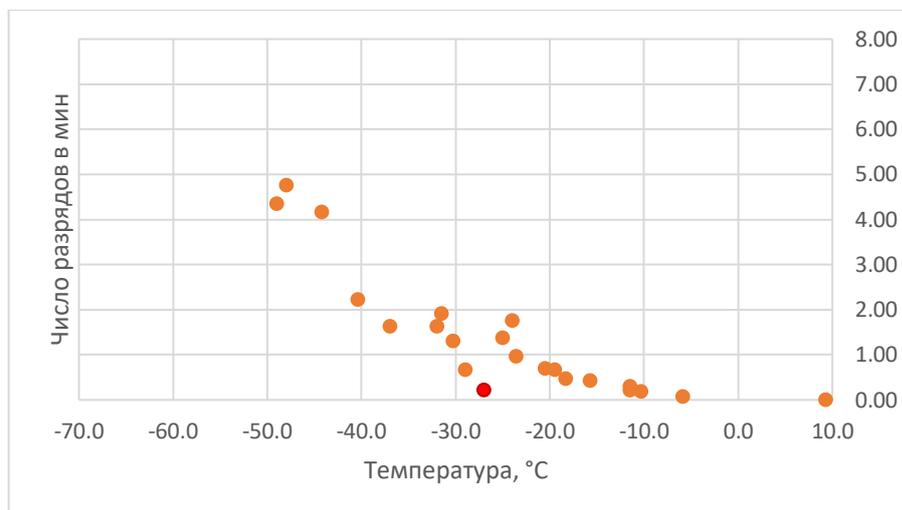


Рисунок 3.15 Зависимость числа разрядов от температуры верхней границы облака зонд 00UTC

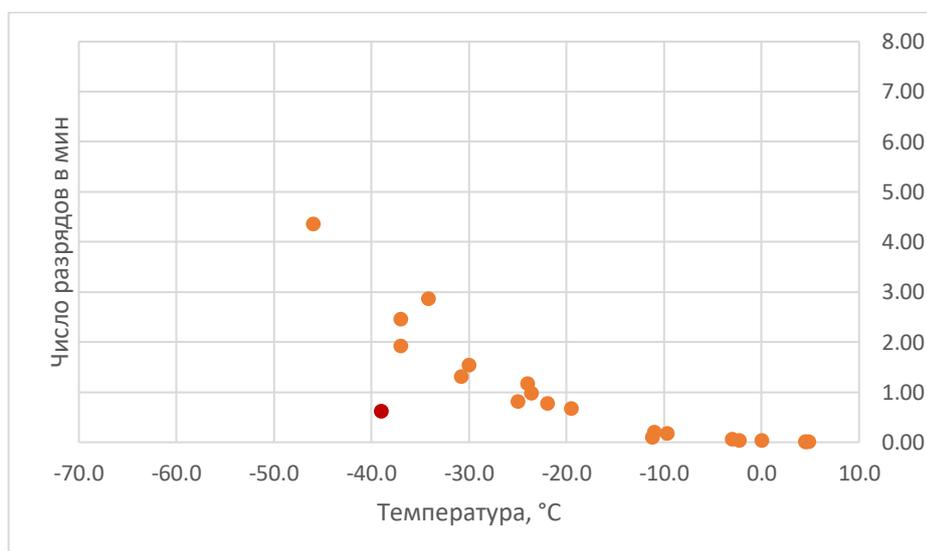


Рисунок 3.16 Зависимость числа разрядов от температуры верхней границы облака зонд 12UTC

3.3 Анализ электрической деятельности в Ростове-на-Дону

Аналогичные действия проводятся для г. Ростов-на-Дону.

Таблица 3 Грозы в Ростове-на-Дону за период апрель-сентябрь 2019-2022гг.

№	Число	Время начала	Время окончания	Доп. явления	Продолжительн. грозы	Температ. (нач./оконч.)	Давление (нач./оконч.)
1	27.05.19	15:00	21:00	Ливень	6ч	22,7/ 17,7	755,2/756,5
2	03.06.19	09:00	15:00	Ливень	6ч	20,3/ 27,1	755,0/752,9
3	09.07.19	06:00		Ливень	<3ч	19,2	746,8
4	14.07.19	18:00			<3ч	21,6	749,7
5	15.07.19	21:00			<3ч	18,5	749,0

6	25.07.19	15:00		Ливень	<3ч	19,3	749,7
7	31.07.19	18:00		Ливень	<3ч	23,2	744,5
8	04.08.19	18:00	21:00	Ливень	<3ч	20,4/ 19,9	738,0/737,4
9	19.08.19	03:00		Ливень	<3ч	20,3	752,8
10	18.09.19	03:00		Ливень	<3ч	13,6	749,6
11	21.09.19	18:00	21:00	Ливень	3ч	9,4/ 6,7	755,2/756,7
12	03.05.20	15:00			<3ч	17,3	750,0
13	03.05.20	21:00			<3ч	15,6	749,1
14	04.05.20	18:00		Ливень	<3ч	16,1	748,9
15	16.05.20	12:00			<3ч	11,3	750,7
16	30.05.20	00:00		Ливень	<3ч	15,3	749,6
17	13.06.20	15:00		Ливень	<3ч	25,0	747,0
18	15.06.20	21:00		Ливень	<3ч	21,9	752,6
19	16.06.20	15:00		Ливень	<3ч	32,0	751,2
20	20.06.20	09:00		Ливень	<3ч	21,8	748,6
21	29.06.20	18:00		Ливень	<3ч	20,8	746,5
22	08.07.20	15:00		Ливень	<3ч	27,8	746,5
23	12.07.20	21:00			<3ч	21,7	748,0
24	13.07.20	03:00	09:00	Ливень	6ч	21,5/ 23,9	747,0/746,6
25	13.07.20	21:00			<3ч	20,7	746,0
26	17.07.20	09:00		Ливень	<3ч	20,7	750,6
27	31.07.- 01.08.20	21:00	00:00	Ливень	3ч	24,0/ 19,6	749,0/747,7
28	17.05.21	18:00		Ливень	<3ч	21,2	746,9
29	19.05.21	15:00	18:00	Ливень	3ч	15,4/ 15,3	751,0/750,1
30	25.05.21	15:00		Ливень	<3ч	19,0/ 18,7	756,9/756,8
31	30.05.21	18:00		Ливень	<3ч	20,0	751,1
32	02.06.21	03:00	06:00	Ливень	3ч	17,3/ 16,7	749,0/746,9
33	17.06.21	06:00	15:00	Ливень	9ч	19,9/ 21,4	751,0/752,1
34	04.07.21	21:00			<3ч	21,4	744,0
35	22.07.21	09:00			<3ч	21,2	746,0
36	23.07.21	00:00			<3ч	19,2	747,0
37	08.08.21	15:00		Ливень	<3ч	23,6	750,7
38	10.08.21	06:00	09:00		3ч	22,6/ 23,4	751,0/751,0
39	11.08.21	15:00			<3ч	24,2	749,0
40	12.08.21	21:00			<3ч	23,4	754,0
41	13.08.21	03:00		Ливень	<3ч	20,4	752,2
42	13-14.08.21	21:00	00:00	Ливень	3ч	20,4/ 19,1	754,0/753,4
43	20.08.21	15:00			<3ч	21,1	751,0
44	21.08.21	18:00			<3ч	22,0	753,0
45	02.09.21	12:00	21:00	Ливень	9ч	21,5/ 16,9	744,7/745,0
46	20.09.21	15:00		Ливень	<3ч	19,6	751,6
47	11.07.22	15:00			<3ч	22,4	748,0
48	23.07.22	15:00			<3ч	19,5	750,0
49	26.07.22	21:00			<3ч	20,0	749,0
50	02.08.22	15:00			<3ч	26,2	750,0
51	03.08.22	21:00			<3ч	20,2	753,0
52	05.08.22	03:00			<3ч	20,5	754,0
53	11.08.22	21:00			<3ч	26,0	751,0

На рисунке 3.17 представлен график повторяемости случаев грозы в Ростове-на-Дону май-сентябрь 2019-2022. Выделяется максимум числа гроз в июле 32%, далее в августе - 26%, в мае – 19%, в июне – 15%, в сентябре – 8%.

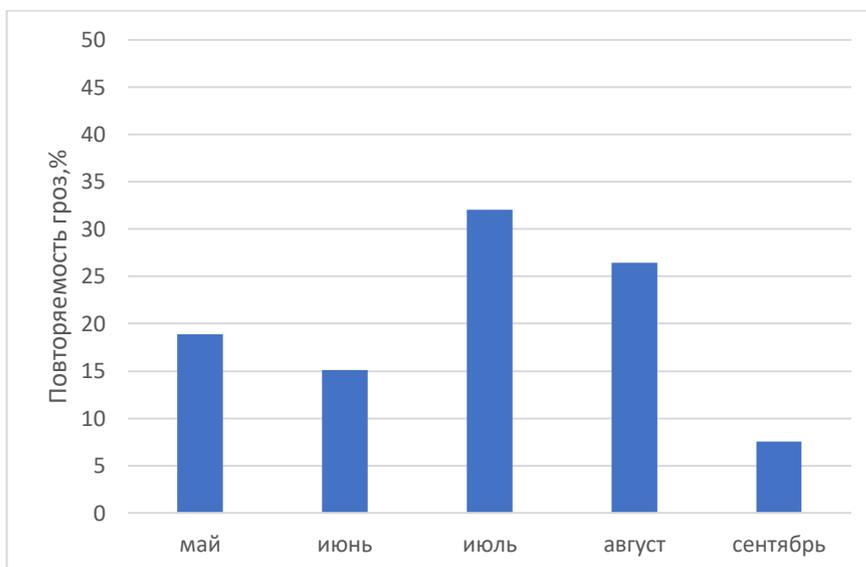


Рисунок 3.17 Повторяемость случаев грозы в Ростове-на-Дону май-сентябрь 2019-2022

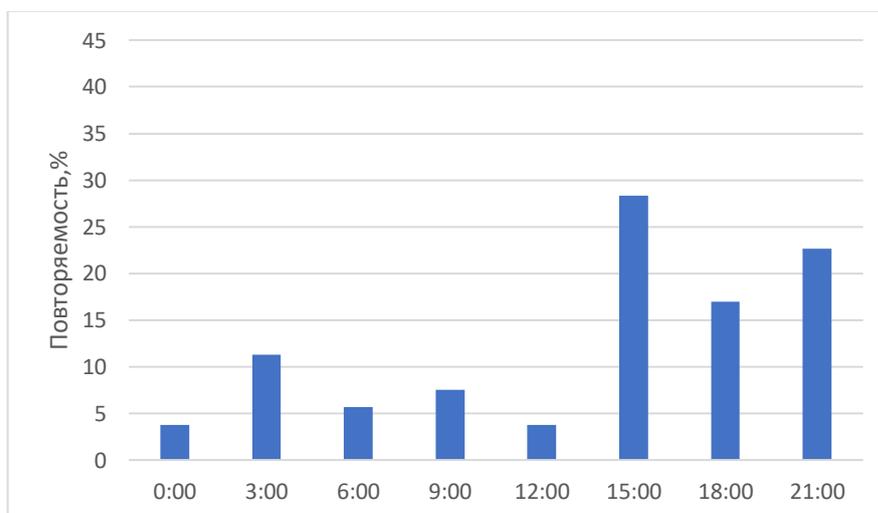


Рисунок 3.18 Повторяемость времени начала грозы в Ростове-на-Дону

Суточный ход (Рис.3.18) имеет дневной и ночной максимумы в 15:00 и в 03:00. Минимумы наблюдаются в срок перед максимумами в 12:00 и 00:00.

При 53 случаях наличия грозы средний диапазон температур, при которых начиналась гроза, составил от 15°C до 28°C (Рис.3.19). Существует разброс случаев при температуре ниже 15°C, ниже 9°C и выше 33°C грозы не наблюдались. Максимум повторяемости грозы (23%) пришелся на температуру воздуха 20-21°C.

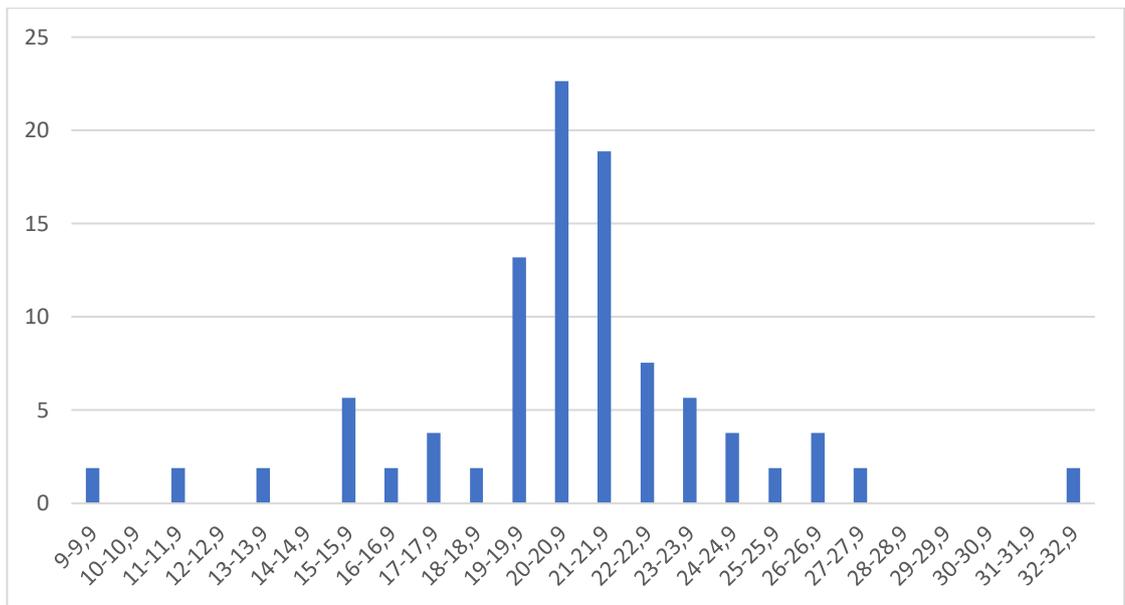


Рисунок 3.19 Повторяемость гроз в зависимости от температуры воздуха у поверхности земли в Ростове-на-Дону

Из графика с максимальной и минимальной температурой воздуха у поверхности земли (рис.3.20) в мае при более низких температурах наблюдалось больше гроз, чем в июне при более высоких температурах. В июле снова гроз больше, чем в июне. В августе температура понижается, число гроз больше, чем в мае и июне. В сентябре самая малая максимальная температура.

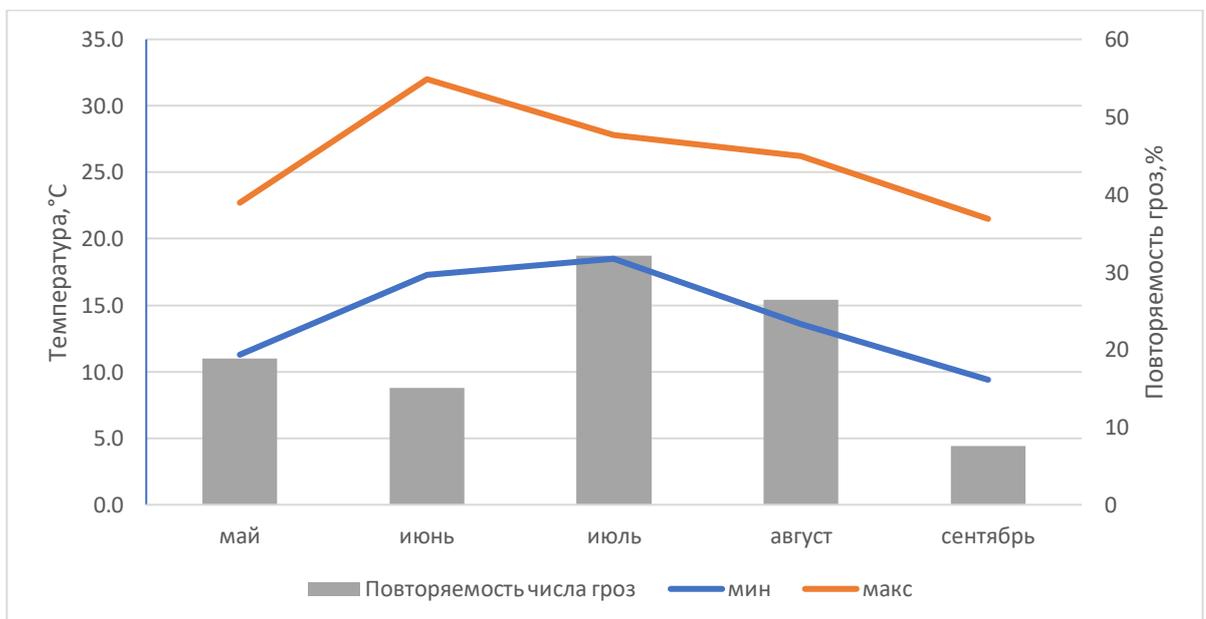


Рисунок 3.20 График минимальной и максимальной температуры воздуха у поверхности земли относительно повторяемости гроз в месяц в Ростове-на-Дону

По следующим графикам зависимости количества разрядов (рис. 3.21-3.24) максимум составил 5,42 разряда в минуту при высоте 11,5 км и температуре - 53°С за 00ч, а также 4,56 разряда в минуту при 11,1 км и также при -53°С.

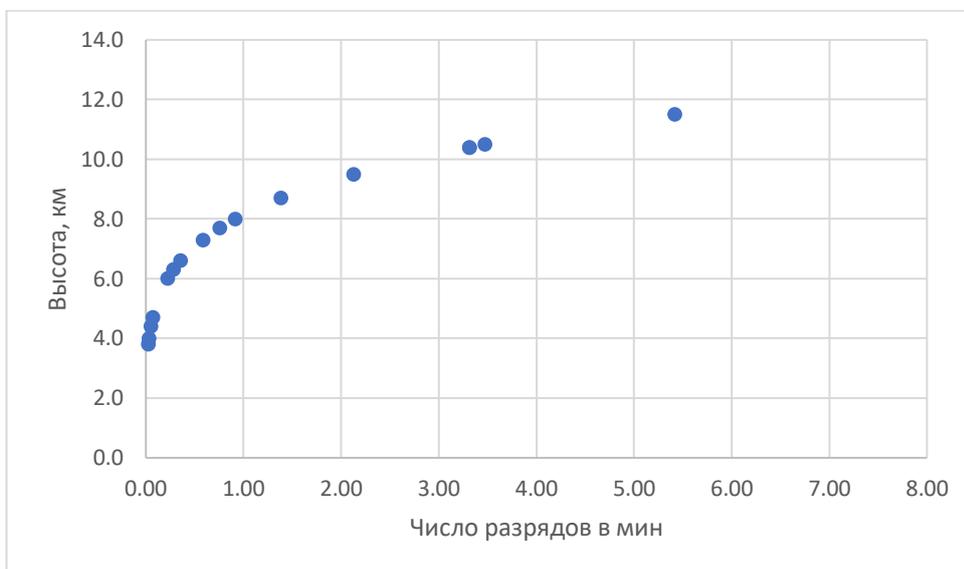


Рисунок 3.21 Зависимость числа разрядов от высоты верхней границы облака зонд 00UTC

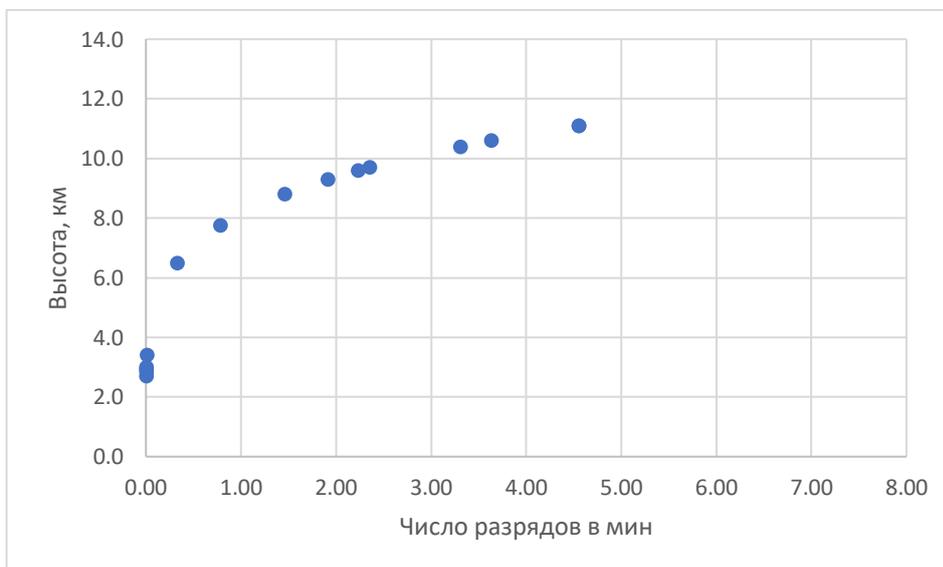


Рисунок 3.22 Зависимость числа разрядов от высоты верхней границы облака зонд 12UTC

Относительно температуры основная масса гроз наблюдалась от -24°С до - 36,4°С за 00ч и от -25°С до -54,4°С. При температуре верхней границы выше - 10°С число разрядов стремится к 0.

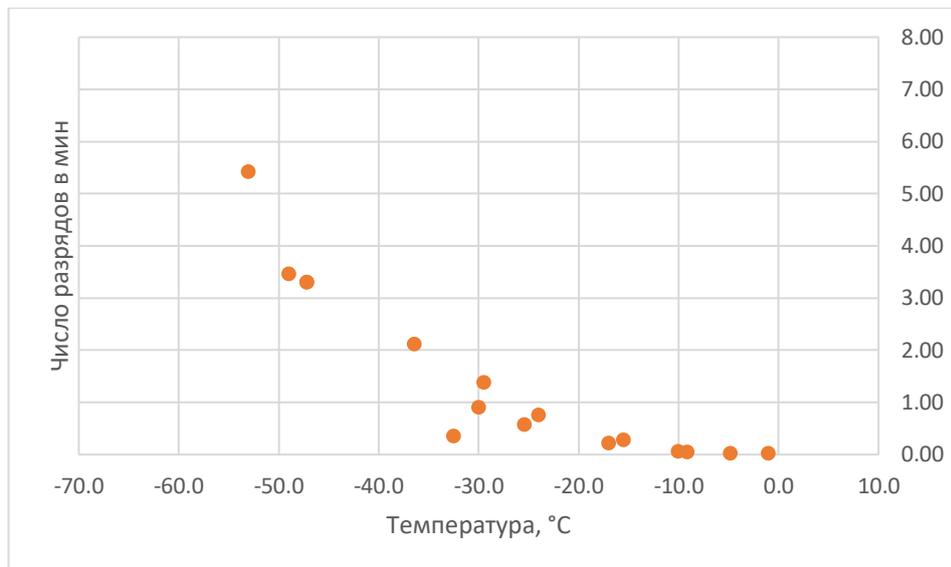


Рисунок 3.23 Зависимость числа разрядов от температуры верхней границы облака зонд 00UTC

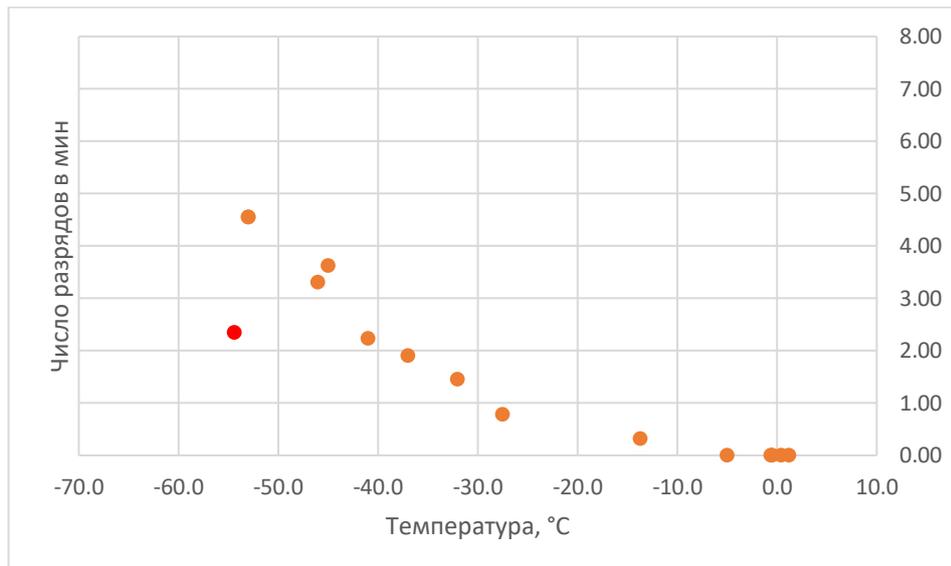


Рисунок 3.23 Зависимость числа разрядов от температуры верхней границы облака зонд 12UTC

3.4 Сравнительный анализ данных о грозовой деятельности

Во всех трех городах самая большая повторяемость числа гроз наблюдалась в июле, это связано с большим прогревом воздуха и поверхности земли, а также влиянием синоптических ситуаций.

За период апрель-сентябрь 2019-2022гг. количество гроз в Санкт-Петербурге составило 22, в Минеральных Водах – 67, в Ростове-на-Дону – 53.

Во всех трех городах самая большая повторяемость числа гроз наблюдалась в июле. В Санкт-Петербурге графики подобны, в Ростове-на-Дону же очень сильно выделяется май, там число гроз превзошло июньское значение.

По поводу суточного хода момента начала грозы: на всех графиках имеется четко выраженный дневно-вечерний максимум – в Санкт-Петербурге и Минеральных Водах в 18:00, в Ростове в 15:00, также в Ростове и Санкт-Петербурге можно выделить ночной максимум в 03:00, возможно это связано с близостью водных пространств. Минеральные Воды имеют более плавный суточный ход, что связано с более континентальным расположением города.

Минимальная температура, при которой возникали грозы в Санкт-Петербурге и Ростове $9,2-9,3^{\circ}\text{C}$, в Минеральных Водах $14,3^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура появления грозы в Ростове $32,0^{\circ}\text{C}$, в Минеральных Водах – $28,8^{\circ}\text{C}$, в Санкт-Петербурге – $25,6^{\circ}\text{C}$. Таким образом в Ростове диапазон температур, при которых может начинаться гроза больше, чем в Санкт-Петербурге.

Для анализа электрической активности молний была использована закономерность Прайса – зависимости числа разрядов от высоты верхней границы облака в км. Самый большой показатель числа молниевых разрядов составил 6,68 в минуту при температуре -57°C , такая активная гроза наблюдалась в Санкт-Петербурге 26 июня 2021. То есть несмотря на то, что самая активный месяц – июль, самая масштабная гроза прошла в июне. Хотя большее количество случаев грозы было обнаружено в южных городах, единичные случаи гроз в Санкт-Петербурге превышают их по мощности. Диапазон температур верхней границы облака, при котором подтверждалось большинство случаев гроз, составил от -33°C до -61°C в Санкт-Петербурге, от -15°C до -40°C в Минеральных Водах, а в Ростове-на-Дону нет ярко-выраженной кучности числа гроз, но прослеживается диапазон от -25°C до -50°C .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра были выполнены все поставленные задачи, а соответственно достигнуты цели работы.

В работе был описан процесс формирования электрической структуры грозового облака, подробно рассмотрены процессы микроэлектризации и макроэлектризации облаков. Показано, какие факторы определяют особенности слоя генерации основных зарядов. Представлены современные методы оценки молниевой активности грозового облака.

Были исследованы климатические и физико-географические параметры Северо-Западного региона Европейской территории России и Северо-Кавказского региона. Рассмотрены условия формирования облаков над равнинными и горными территориями, описаны особенности процессов облакообразования в горной местности. Более подробно описано местоположение и характерные признаки городов – Санкт-Петербурга, Ростова-на-Дону и Минеральных Вод.

Составлен архив погоды, представляющий собой список дней с грозой и включающий в себя данные о времени начала, окончания и продолжительности грозы, дополнительные явления при наличии, температура начала и окончания, давление начала и окончания. За четыре года количество дней с грозой в Санкт-Петербурге составило 22, в Минеральных Водах – 67, в Ростове – 53. Самые первые грозы в Санкт-Петербурге наблюдались в мае, в южных городах в апреле, концом сезона гроз получился сентябрь. Рассмотрены графики годового и суточного хода гроз – самым интенсивным по грозовой деятельности стал июль во всех городах, а самым частым временем начала гроз 15:00 и 18:00.

Проведен анализ неэлектрических метеорологических параметров, то есть зависимость повторяемости гроз от температуры воздуха у поверхности земли и показательный график минимальной и максимальной температуры относительно повторяемости числа гроз в месяц. Было обнаружено, что несмотря на более высокие максимальные температуры июня (в случае Минеральных Вод августа), самым грозодеятельным месяцем остается июль. Минимальная температура, при

которой фиксировались грозы 9,2-9,3°C (14,3 для Минеральных Вод). Максимальная температура появления грозы в Ростове 32,0°C, в Минеральных Водах – 28,8°C, в Санкт-Петербурге – 25,6°C.

Выполнен анализ молниевой активности грозовых облаков, находившихся на территории северо-западного и южного регионах Российской Федерации. Для получения количественных характеристик молниевой активности был использован подход Прайса - нахождение числа молниевых зарядов в минуту по высоте верхней границы облака. Самый большой показатель числа молниевых разрядов составил 6,68 в минуту при температуре -57°C в Санкт-Петербурге. Максимум разрядов в Минеральных Водах – 4,76 в минуту, в Ростове – 5,42. Диапазон температур верхней границы облака, при котором подтверждалось большинство случаев гроз, составил от -33°C до -61°C в Санкт-Петербурге, от -15°C до -40°C в Минеральных Водах, а в Ростове-на-Дону нет ярко-выраженной кучности числа гроз, но прослеживается диапазон от -25°C до - 50°C.

Существует проблема отсутствия оперативного глобального сбора данных о молниях, поэтому было бы практично использовать взаимосвязь грозовой активности с различными метеорологическими параметрами в крупном масштабе. Таким образом, можно было бы не только рассчитать грозовую активность по всему земному шару, но и такую взаимосвязь, возможно, использовать в глобальных климатических моделях для моделирования глобальной грозовой активности.

Список литературы

1. Атлас облаков / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Гл. геофиз. Обсерватория им. А.И. Воейкова; [Д. П. Беспалов и др.; ред.: Л. К. Сурыгина]. – Санкт-Петербург: Д'АРТ, 2011. – 248 с.
2. Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П. Атмосферное электричество. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2019 – 226 с.
3. Физика грозových облаков / В. И. Ермаков, Ю. И. Стожков. - Москва, 2004 (РИИС ФИАН). - 38 с.
4. Михайловский Ю.П., Синькевич А.А., Павар С.Д., Гопалакришнан В., Довгалюк Ю.А., Веремей Н.Е., Богданов Е.В., Куров А.Б., Аджиев А.Х., Малкарова А.М., Абшаев А.М. Исследования развития грозо-градового облака. Часть 2. Анализ методов прогноза и диагноза электрического состояния облаков // Метеорол. и гидрол. 2017. № 6. С. 31–45.
5. Price C. and Rind D. A simple lightning parameterization for calculating global lightning distributions. — J. Geophys. Res., 1992, vol. 97, No. D9, pp. 9919—9933
6. Лопухова Т.В., Усачев А.И., Чернов К.П. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения. Учеб. Пособие для студентов заочной формы образования. Казань: Казан. Гос. Энерг. Ун-т, 2012. - с.
7. Мучник, Вольф Моисеевич. Физика грозы. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1974. - 351 с.
8. Учебно-методическое пособие. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2004. – 56 с.
9. А. Х. Аджиев. Грозы Северного Кавказа / А. Х. Аджиев, Е. М. Богаченко; Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Высокогорный геофизический ин-т. - Нальчик: Изд-во М. и В. Котляровых (Полиграфсервис и Т), 2011. – 149 с.
10. Аджиев А.Х. Атмосферно-электрические явления на Северном Кавказе / Аджиев А.Х. Куповых Г.В. – Таганрог: ТРТУ, 2004. – 122 с.

11. Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П., Михайловский В.Ю. Механизмы электризации облачных гидрометеоров в грозовых облаках. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2016. № 45.

12. Шметер, Соломон Моисеевич Физика конвективных облаков. - Ленинград: Гидрометеоиздат, 1972. - 231 с.