



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

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему: «Анализ электрической активности облаков в п.Воейково
Ленинградской области по данным ДМРЛ»

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

Дробжева
(подпись)

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

Дробжева Яна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

« 31 » мая 2024 г.

Санкт-Петербург
2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1 АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРОЗ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ.....	5
1.1 Гроза – опасное явление погоды.....	5
1.2 Современные методы диагноза и прогноза гроз и их оправдываемость	5
1.3 Современные методы исследования электрических процессов в конвективных облака (о радиолокации)	12
ГЛАВА 2 ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ.....	14
2.1 Микроэлектризация облаков	14
2.2 Макроэлектризация конвективных облаков	16
ГЛАВА 3 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ И КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	19
3.1 Физико-географическое описание города Санкт-Петербург и Ленинградской области	19
3.2 Климатическое описание города Санкт-Петербург и Ленинградской области.....	20
3.3 Гидрометеорологический обзор погодных условий за 2024 год	20
3.4 Географические особенности Ленинградской области, благоприятно влияющие на развитие гроз	22
ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГРОЗОВОГО СЕЗОНА И ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2024 ГОД....	23
4.1 Исходные данные	23
4.2. Особенности грозового сезона в Ленинградской области в 2024 году .	25
4.2.1. Сезонность гроз в Ленинградской области.....	26
4.2.2 Температурная зависимость повторяемости гроз в Ленинградской области.....	28
4.3. Синоптические условия возникновения гроз.	31
4.3.1 Анализ синоптических условий на территории Ленинградской области за 2024.....	31
4.3.2 Анализ отдельных случаев формирования гроз	37

4.4 Анализ радиолокационных параметров грозовых облаков в Ленинградской области за 2024 год.....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	78
ПРИЛОЖЕНИЕ	80

ВВЕДЕНИЕ

Грозы можно наблюдать практически по всему земному шару, одновременно на Земле происходит 1500-2000 гроз, а это примерно 10000 разрядов в минуту. Молнии и гром восхищают своей мощностью и масштабом, однако такое завораживающее зрелище представляет собой серьезную опасность. Мощные электрические разряды, интенсивные ливни, шквалистые ветры представляют угрозы для многих отраслей деятельности человека: сельское хозяйство, транспорт, инфраструктура, поэтому мониторинг и предупреждение грозových явлений чрезвычайно важно для минимизации рисков и обеспечения безопасности населения.

Также стоит сказать, что в условиях климатических изменений растет количество опасных явлений погоды, в том числе и грозových процессов. Изменения хорошо выражены в Арктическом регионе, где за последние 10 лет число гроз увеличилось в 3 раза [1].

В России выявлены следующие проблемы, обусловленные грозами: пожары, аварии на энергосетях, перебои в работе аэропортов.

Актуальность и практическая значимость работы заключается в том, что несмотря на наличие в настоящее время множества дистанционных прямых и косвенных методов обнаружения гроз, их оправдываемость получаемых оценок остается неудовлетворительной. Поэтому работы, посвященные уточнению этих методов актуальна, и имеет практическую значимость.

А также Ленинградская область обладает особенностями, благоприятно влияющими на возникновение и развитие грозových облаков, причем в любое время года, поэтому необходимо обратить внимание на сезонные особенности гроз в нетипичное для них время.

Целью работы является анализ особенностей грозového периода и электрической активности облаков Ленинградской области по данным ДМРЛ в посёлке Воейково.

В задачи работы входит:

1. Изучить факторы формирования и развития кучево-дождевых облаков, процессы их электризации, современные методы оценки электрической активности облаков;

2. Исследовать физико-географические, климатические характеристики и особенности формирования облачности Ленинградской области. Составить архив данных о грозах за 2024 год по «штормовому кольцу» Ленинградской области, а также используя другие источники метеорологической информации;

3. Провести анализ метеорологических условий, включая синоптические ситуации. Выявить сезонные особенности, характерные для грозовых облаков в Ленинградской области.

4. Провести анализ данных, полученных с радиолокатора, находящимся в посёлке Воейково Ленинградской области, рассчитать радиолокационный критерий Y - параметр.

5. Сделать вывод по взаимосвязи характеристик грозовых облаков, дать практические рекомендации к использованию результатов проведенной работы.

Структура работы. Выпускная квалификационная работа (магистерская диссертация) состоит из введения, 4 глав, разбитых на разделы, заключения и списка использованной литературы. Выпускная квалификационная работа включает в себя 80 стр.

ГЛАВА 1 АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРОЗ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ.

В первой главе работы описана гроза как атмосферное явление, приведен обзор современных методов исследования грозовых облаков и молниевых разрядов, показаны преимущества и недостатки. Отдельно рассмотрен радиолокационный метод.

1.1 Гроза – опасное явление погоды

Гроза – комплексное атмосферное явления, включающее видимые и слышимые проявления в виде молний и грома. Грозы имеют два варианта происхождения: фронтальные и внутримассовые, и возникают исключительно в кучево-дождевых облаках. Благоприятными условиями для развития таких облаков является неустойчивое состояние атмосферы, наличие влаги в воздухе. Для грозы важными составляющими является сильные вертикальные токи в облаке, а наличие в облаке изотермы -22°C , так как выше нее формируются ледяные кристаллы и начинается активная генерация зарядов. Прохождение гроз сопровождается выпадением интенсивных ливневых осадков, сильный ветер, шквал, микропорывы, возможны сдвиги ветра.

1.2 Современные методы диагноза и прогноза гроз и их оправдываемость

Инструментальные методы обнаружения молний берут свое начало в первой половине - середине XX века. Рассматриваются однопунктные амплитудные системы и грозопеленгаторы-дальномеры.

Принцип работы однопунктных амплитудных систем основан на регистрации электромагнитных импульсов (преимущественно от обратных ударов "облако-земля") на одной точке. Расстояние определяется по амплитуде (силе) принятого сигнала. Из основных характеристик: простота и

дешевизна конструкции, ограниченная дальность действия (до ~50 км, хотя и расширяемая), низкая точность локализации.

Грозопеленгаторы-дальномеры основаны на комбинированном определении направления (пеленга) и расстояния до разряда.

Пеленгация работает на использовании двух ортогональных катушек (север-юг / запад-восток). Направление вычисляется по соотношению токов, наведенных магнитным полем разряда. Измерение расстояния на применении особенностей распространения электромагнитных волн в атмосфере. Наиболее распространенный метод - измерение временной задержки (сдвига) между приходом электрической и магнитной составляющих излучения молнии, которая увеличивается с расстоянием. В результате пеленгатор дает направление (луч), дальномер дает расстояние (окружность). Их комбинация позволяет определить точку локализации разряда.

В современном мире технологии обнаружения и распознавания электрических разрядов расширяются, улучшаются, модернизируются. Ниже представлены современные методы фиксации молниевых разрядов.

1. Многопунктные грозопеленгационные сети (Lightning Positioning Systems) представляют собой сети взаимосвязанных наземных датчиков, использующих комбинацию методов: время прибытия (точная синхронизация времени приема сигнала на разных датчиках для триангуляции положения), для определения направления используется магнитная пеленгация. Преимущества этого метода состоят в резкое повышение точности (до 100 м), охвата территории и способности детектировать различные типы разрядов.

Примеры:

Глобальные: NLDN (США), GLD360 (Vaisala).

Россия (Росгидромет): Системы "ALWES", "BLITZORTUNG" (дальномерные/ТОВА принципы), "Верея" (гибридные российские системы, аналогичные LS8000).

Гибридные системы (напр., LS8000): Работают в нескольких частотных диапазонах: в низкочастотном (1–350 кГц) регистрирует ~30% разрядов

(облако-облако, облако-земля), в высокочастотном (110–118 МГц) регистрирует практически все типы разрядов, включая внутриоблачные.

2. Спутниковый мониторинг:

Применяются приборы на геостационарных (например, GOES-R с GLM - Geostationary Lightning Mapper) и низкоорбитальных спутниках. Преимущества спутниковых систем - глобальный охват (особенно над океанами и удаленными регионами), возможность детектировать межоблачные и внутриоблачные разряды, недоступные многим наземным системам.

3. Радарные и лазерные технологии:

Метеорологические радары отслеживают развитие грозových ячеек (облака, осадки), косвенно указывая на потенциальную зону молниевой активности.

Экспериментальные лазерные системы (например, на горе Сентис, Швейцария) создают ионизированные каналы лазером для попыток перенаправления молний.

4. Активные системы предупреждения и защиты:

Датчики поля анализируют изменения напряженности атмосферного электрического поля перед ударом молнии (используются в системах типа ГИС "Гроза") для запуска предупреждений. Используются активные молниеотводы - мачты, генерирующие восходящий лидер (противоположный заряд) для перехвата нисходящей молнии.

5. Лабораторные и спектральные исследования:

Спектрометрия используется для анализа состава шаровых молний (выявляет элементы типа железа, кремния, кальция - вероятно, из почвы).

В настоящее время стало возможно создание искусственных молний. В контролируемых лабораторных условиях генерируют разряды для изучения их физики.

Несмотря на хорошую изученность атмосферных электрических явлений за последние десятилетия, постоянно появляются новые методы исследований, о чем свидетельствует ряд современных научных публикаций.

Например, в статье [2] представлен новый метод определения величины и местоположения центра чистого заряда и заряда, разрушенного вспышкой молнии в грозовом облаке. Метод основан на измерениях вектора электрического поля на поверхности земли во время вспышки молнии. Авторы описывают сферический измеритель, который фиксирует все три компоненты поля, и показывают, как это позволяет сократить количество измерительных станций. На примере грозы 21 мая 1996 года демонстрируются результаты: движение зарядов во время разрядов, их нейтрализация и важность учёта горизонтальной составляющей поля. Преимущество метода заключается в том, что полевые измерения проводятся только на одной станции, если одновременно проводится измерение расстояния до молнии с использованием метода времени до грома. На основе проведенных авторами измерений проанализированы типичные случаи разрядов от облака к облаку и от облака к земле. Полученные результаты:

1. Распределение зарядов и их нейтрализация во время разрядов. Облачные разряды вызывают движение зарядов вверх и вниз. Наземные разряды нейтрализуют большие заряды (до 3 Кл).

2. Сравнение зарядов, рассчитанных по вертикальной и полной составляющей электрического поля. Горизонтальная составляющая электрического поля играет важную роль в расчётах.

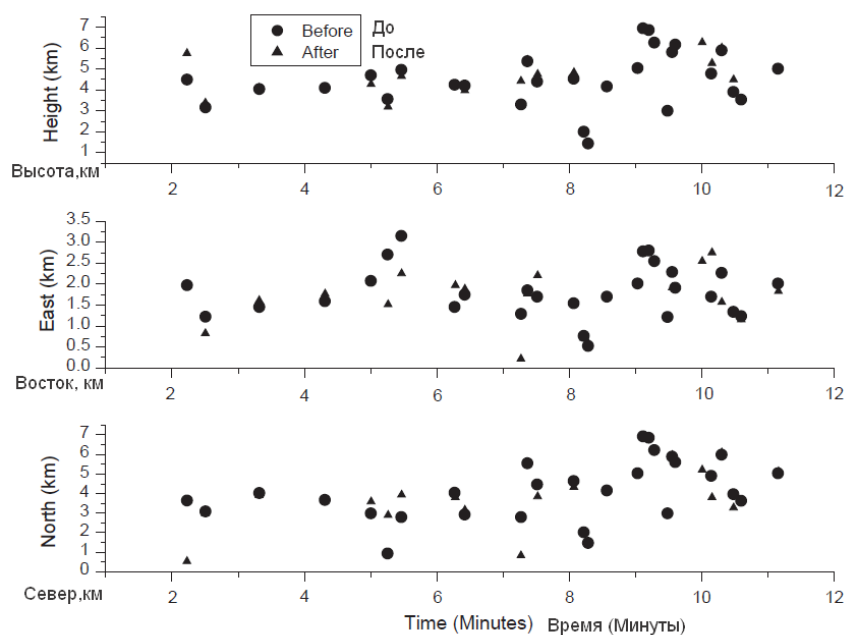


Рисунок Положение центра заряда до и после грозовых разрядов в течение 10-минутного периода во всех трех направлениях

В работе [3] представлен анализ электрических полей в грозовых облаках с использованием предложенного авторами метода, основанного на измерении радиоизлучений от обширных атмосферных ливней во время грозы. Этот метод можно рассматривать как томографию грозовых облаков с использованием космических лучей в качестве зондов. Для определенных комбинаций космических лучей, свидетельствующих о наличии сильных полей, авторы не обнаружили никакой грозовой активности в радиусе 100 км, что свидетельствует об эффективности предложенного метода. Статья посвящена исследованию электрических полей в грозовых облаках с помощью радиотелескопа LOFAR. Авторы предлагают метод CRCT, который использует космические лучи для томографии облаков. Анализ данных за 2011–2014 годы показал, что сильные электрические поля существуют даже в облаках без молний, а основной отрицательный заряд расположен около изотермы -10°C . Метод демонстрирует высокую точность и может быть полезен для изучения атмосферных явлений.

В этой статье представлен инновационный метод исследования электрических полей внутри грозовых облаков с помощью радиотелескопа LOFAR. Основная идея заключается в использовании космических лучей в качестве естественных зондов: когда высокоэнергетические частицы сталкиваются с атмосферой, они создают каскады вторичных частиц, чье радиоизлучение искажается под действием электрических полей в облаках.

Авторы проанализировали данные за период с 2011 по 2014 год, выделив 11 значимых событий. Главные выводы исследования:

Метод позволяет точно определять структуру электрических полей без физического вмешательства в облака (в отличие от традиционных способов с шарами-зондами или самолётами).

Обнаружены сильные горизонтальные компоненты электрических полей (до 70 кВ/м), причём не только в активных грозовых облаках, но и в облаках без молниевой активности.

Основной слой отрицательного заряда в облаках, как правило, располагается вблизи изотермы -10°C , что согласуется с классическими моделями.

В некоторых случаях удалось восстановить трёхмерную структуру электрического поля, комбинируя данные от нескольких космических ливней.

Исследование демонстрирует, что метод CRCT (Cosmic-Ray Cloud Tomography) открывает новые возможности для изучения атмосферного электричества и может быть полезен для понимания механизмов образования молний и других атмосферных явлений. Особенно ценно, что этот подход позволяет изучать относительно небольшие облака умеренных широт, которые ранее было сложно исследовать традиционными методами.

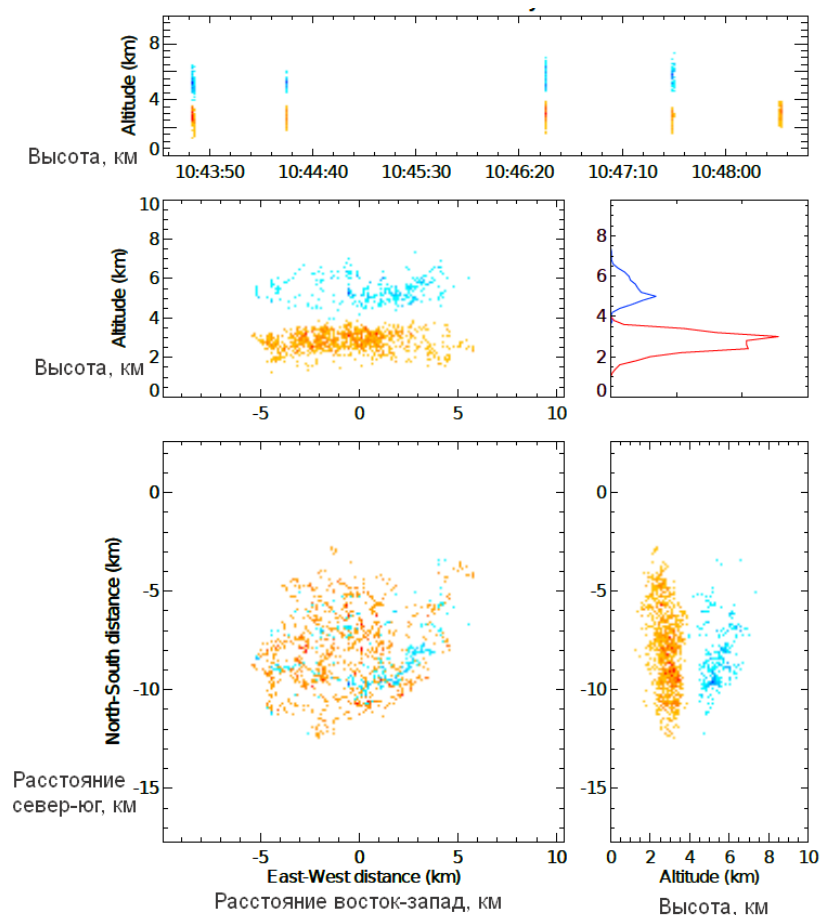


Рисунок 1.2 данные Lightning Mapping Arrays (массива отображения молний) о нескольких вспышках молний 20 июня 2019 г. Оранжевые точки показывают местоположение лидеров отрицательных молний, распространяющихся через положительный заряд облака. Синие точки показывают расположение положительных разрядов молний, распространяющихся через отрицательный заряд облака.

Машинное обучение и нейронные сети все чаще используются в современных исследованиях, как показано в [4]. Разработанная авторами двумерная модель частоты грозных разрядов для анализа двух случаев: SSCORE (1981) и CaPE (1991) была применена к нескольким тематическим исследованиям грозных облаков. Была показана тесная взаимосвязь между восходящим потоком и частотой грозных разрядов, а также были исследованы начальные условия окружающей среды, скорость восходящего потока и концентрация частиц. Результаты исследования продемонстрировали

ограничения используемой схемы параметризации переноса заряда по току, что требует совершенствования применяемой модели.

Основные факторы: скорость восходящего потока, концентрация граупеля, условия окружающей среды.

Полученные результаты

По SCOPE (1981):

Сравнение с наблюдениями: хорошее соответствие по структуре облака, скорости восходящих потоков, электрическим полям.

Модель воспроизвела две внутриоблачные молнии.

По CAP (1991):

Более энергичная гроза, но с ограниченной молниевой активностью.

Основные выводы: важность концентрации граупеля.

Модель успешно воспроизводит ключевые процессы электризации.

1.3 Современные методы исследования электрических процессов в конвективных облака (о радиолокации)

Понятие радиолокационной отражаемости [5]

Мощность отраженного от облачного объема радиолокационного сигнала пропорциональна общей эффективной отражающей поверхности совокупности частиц, находящихся в облучаемом объеме.

$$Z = \int_0^{\infty} n(r)r^6 dr \quad (1)$$

Величину Z называют радиолокационной отражаемостью. Получается, что сигнал от облака пропорционален шестому моменту распределения капель по размерам.

Основными носителями радиолокационного сигнала от облаков являются самые крупные капли, радиус которых превосходит 100 мкм. Вклад сверхкрупных капель в радиолокационную отражаемость обычно составляет

10^{-15} - 10^{-14} см³ для слоистых и слоисто-кучевых облаков и 10^{-13} - 10^{-12} см³ для слоисто-дождевых облаков. Однако величина Z очень изменчива и может варьироваться от 10^{-16} , характерных при отсутствии сверхкрупных частиц, до значений 10^{-13} - 10^{-12} см³.

Основными носителями радиолокационной информации в капельных облаках являются сверхкрупные капли (радиус больше 100 мкм). Этих капель нет только в кучевых облаках хорошей погоды и тонких облаках слоистых форм (мощностью не более 100-200м).

Контур облака сверхкрупных частиц, определяемый с помощью радиолокатора, может не совпадать с контуром визуально наблюдаемого облака. Поэтому при наличии осадков облако, видимое на радиолокаторе, простирается до поверхности Земли. Высоты верхних границ расходятся обычно не более чем на 100-200м.

			ТЕПЛЫЙ СЕЗОН			Но>0.5 км Тзем>+3°C								
ОБЛАЧНОСТЬ			Осадки обложные			Осадки ЛИВНЕВЫЕ			ГРОЗЫ			Град		
Alto-	St	Cu	Слабые	Умеренные	Сильные	Слаб	Умерен	Сильн	(R)	R)	R	Слаб	Умерен	Сильн
Ннг, км	>3													
Нвг, км														
Z1, дБZ			≥0	≥13	≥23	≥4.5	≥4.5	≥4.5	≥6	≥7	≥8	≥8	≥8	≥9
Z2, дБZ						≥28	≥37	≥44						
Z3, дБZ									≥28	≥34	≥34			
Zmin, дБZ	-5	-5							≥29	≥33	≥34	≥48	≥49	≥51
Zmax, дБZ												≥48	≥49	≥51
Y														
			ХОЛОДНЫЙ СЕЗОН			Н2=Но ≤0.2 км Тзем<-1°C								
ОБЛАЧНОСТЬ			Осадки обложные			Осадки ЛИВНЕВЫЕ			ГРОЗЫ			ГРАД		
Alto-	St	Cu	Слаб	Умерен	Сильн	слабые	Умерен	Сильн	(R)	R)	R	Слаб	Умерен	Сильн
Ннг, км	>3													
Нвг, км														
Z1, дБZ			≥0	≥13	≥23	≥ 3	≥ 3	≥ 3	4	Не должно быть	Не должно быть			
Z2, дБZ						≥ 14	≥ 23	≥ 30	≥ 28					
Z3, дБZ										≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
Zmin, дБZ	-5	-5												
Zmax, дБZ выше 2 км									≥34					
			ПЕРЕХОДНЫЙ СЕЗОН			ВСЁ, что не вошло в теплый и холодный сезоны								
ОБЛАЧНОСТЬ			Осадки обложные			Осадки ЛИВНЕВЫЕ			ГРОЗЫ			ГРАД		
Alto-	St	Cu	Слаб	Умерен	Сильн	слабые	Умерен	Сильн	(R)	R)	R	Слаб	Умерен	Сильн
Ннг, км	>4													
Нвг, км														
Z1, дБZ			≥0	≥13	≥23	≥ 3,5	≥ 3,5	≥ 3,5	≥4,5	Не должно быть	Не должно быть			
Z2, дБZ						≥ 23	≥ 32	≥ 39	≥ 28					
Z3, дБZ									≥ 29					
Zmin, дБZ	-5	-5								≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
Zmax выше 2 км, дБZ			Или ≥ 20						≥34					

Рисунок 1.3 Новые критерии ЦАО для определения атмосферных явлений в различные периоды

ГЛАВА 2 ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ.

Во второй главе работы кратко описаны процессы электризации кучево-дождевых облаков

Грозовые облака представляют собой сложные системы, состоящие из капель воды, ледяных кристаллов, града и других гидрометеоров. Их электрическая структура формируется под действием физических процессов, связанных с разделением зарядов. Распределение зарядов происходит таким образом, что в результате облако приобретает структуру триполя.

Ниже описана трипольная структура грозового облака [6]:

1. Верхний положительный заряд располагается в верхней части облака, где преобладают ледяные кристаллы и снежинки. Эта зона соответствует температурам ниже -25°C .

2. Центральный отрицательный заряд находится между изотермами -5°C и -25°C . Здесь доминируют переохлажденные капли, ледяная крупа и мелкие градины.

3. Нижний положительный заряд расположен вблизи основания облака, где температура выше 0°C . Здесь преобладают крупные капли воды и частицы, которые не успели замерзнуть.

Такое распределение объясняется процессами микро- и макроэлектризации, а также разделением частиц по массе под действием гравитации.

2.1 Микроэлектризация облаков

Электризация облаков происходит в два этапа:

1. Микроэлектризация: заряд отдельных частиц. Этот этап связан с взаимодействием частиц между собой и с окружающей средой. Основные механизмы:

- а) Ионная электризация

Атмосферные ионы (положительные и отрицательные) прилипают к частицам, изменяя их заряд. На ранних стадиях развития облака этот механизм доминирует.

Рассмотрим $\beta_i(x, r)$ – частоту прилипания (захвата) легкого иона частицей с радиусом r и зарядом x (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:

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

где x — заряд частицы, r — радиус частицы, ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; u – подвижность ионов.

б) Электризация при разрушении контакта между гидрометеорами
-Заморозка и раскалывание капель:

При взрывообразном замерзании капель ледяные осколки заряжаются положительно, а незамерзшая вода — отрицательно. Заряд зависит от размера капли.

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

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

-Разбрызгивание капель о градины:

При столкновении переохлажденных капель с ледяными частицами происходит разделение заряда. Зависимость значения разделяющегося заряда от размера капли может быть выражена следующим выражением:

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

где b – эмпирически найденный коэффициент.

в) Электризация при столкновении ледяных кристаллов

Отскок мелких кристаллов от крупных градин приводит к их взаимной электризации. Величина заряда зависит от площади контакта и скорости столкновения:

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

$$\Delta q_{\text{л-л}} = c \cdot d_{\text{л}}^2, \quad (5)$$

где c – экспериментально установленный коэффициент, $d_{\text{л}}$ – диаметр кристалла.

г) Индукционная электризация

Во внешнем электрическом поле частицы поляризуются. При разрыве контакта между ними происходит перераспределение заряда:

- 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; $r_{\text{ч}}$ – радиус облачной частицы (капли или кристаллика).

2.2 Макроэлектризация конвективных облаков

Этот процесс обеспечивает формирование крупномасштабной электрической структуры облака.

а) Роль гравитации и восходящих потоков - тяжелые частицы (градины, крупные капли) опускаются вниз, перенося отрицательный заряд, легкие частицы (ледяные кристаллы) увлекаются восходящими потоками в верхнюю часть облака, формируя положительный заряд.

б) Условия для устойчивой структуры - температурный градиент и толщина облака. Слой интенсивной электризации находится между -5°C и -25°C . Чем выше облако, тем больше зона генерации зарядов и выше электрическая активность.

в) Влияние турбулентности - сильные турбулентные потоки могут нарушать разделение зарядов, но мощные механизмы микроэлектризации быстро восстанавливают структуру (за 3–5 секунд после разряда молнии).

Факторы, влияющие на электризацию:

1. Размер частиц: крупные капли и градины генерируют большие заряды, мелкие кристаллы эффективнее переносятся восходящими потоками.

2. Температура при мокром росте градин (температура близка к 0°C) их поверхность заряжается положительно, при сухом росте (ниже -15°C) — отрицательно.

3. Внешнее электрическое поле усиливает индукционную электризацию и влияет на движение ионов, увеличивая скорость заряжения частиц в 5–10 раз.

4. Примеси в воде изменяют электрокинетический потенциал льда, влияя на знак и величину заряда.

Изучение электрической структуры грозовых облаков позволяет:

- Улучшить прогнозирование гроз и связанных с ними опасных явлений (шквалы, град, наводнения).

- Разрабатывать системы защиты от молний для авиации, энергетики и инфраструктуры.

- Исследовать влияние гроз на климат, включая генерацию озона и оксидов азота.

Электрическая структура грозовых облаков формируется за счет комбинации процессов микроэлектризации (ионная, контактная, индукционная электризация) и разделения в макромасштабе зарядов под действием гравитации и восходящих потоков. Ключевую роль играют взаимодействия между ледяными и водными частицами, а также температурные условия. Понимание этих механизмов критически важно для метеорологии, климатологии и защиты от опасных погодных явлений.

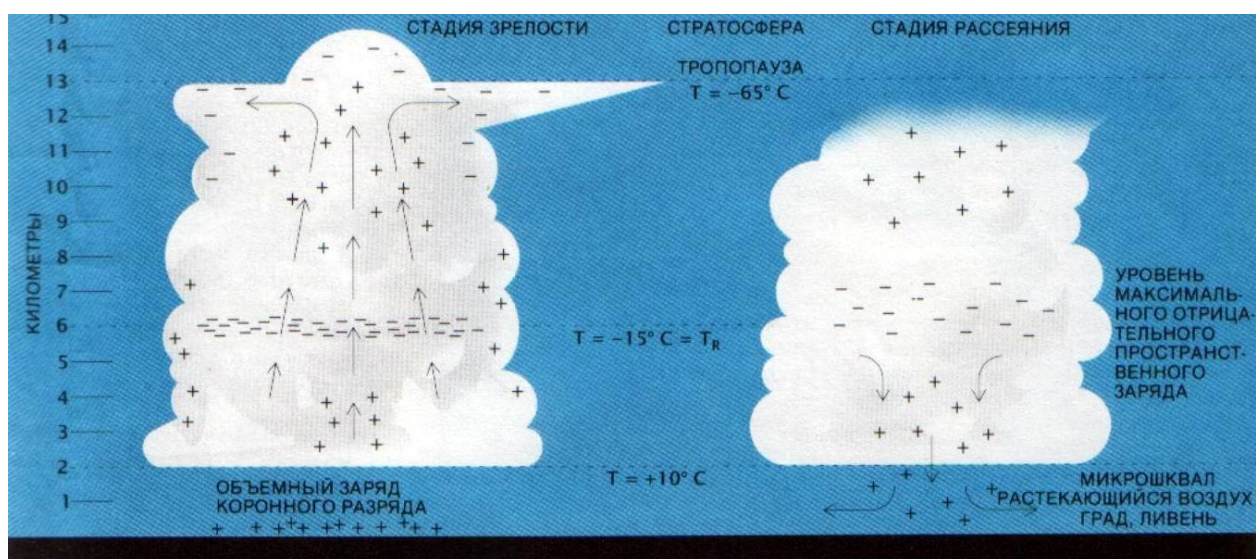


Рисунок 2.1 Электрическая структура грозового облака

ГЛАВА 3 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ И КЛИМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ.

В этой части работы будут описаны физико-географические особенности Санкт-Петербурга и Ленинградской области, приведено описание климата региона. Представлен гидрометеорологический обзор погодных условий за 2024 год на основе данных Гидрометцентра. Определены основные географические характеристики, которые благоприятно влияют на формирование и развитие грозовых процессов.

3.1 Физико-географическое описание города Санкт-Петербург и Ленинградской области

Область полностью лежит на территории Восточно-Европейской равнины, соответственно рельеф имеет преимущественно равнинный характер (абсолютные высоты 50-150 метров относительно уровня моря).



Рисунок 3.1 Физическая карта города Санкт-Петербурга и Ленинградской области

Однако, на территории области находятся возвышенности и низменности. Например, Лемболовские высоты (до 205 м), располагающаяся на Карельском перешейке и Ижорская возвышенность (до 175 м), находящаяся на юго-западе области. Низменности располагаются по берегам крупных водоемов – Ладожское озеро и Финский залив и в долинах рек: Нева, Свирь, Луга, Волхов.

3.2 Климатическое описание города Санкт-Петербург и Ленинградской области

Климат региона характеризуется активной циклонической деятельностью, с чем связана частое изменение воздушных масс и неустойчивое состояние погодных условий в течение всего года. В основном воздушные массы приходят с Атлантики, приносимые западными ветрами (в т.ч. юго- и северо-западными), они характеризуются ухудшением погоды: понижение нижнего края облачности, усиление ветра, ухудшение видимости. Летом с прохождением циклонов связывают похолодания, зимой – оттепели.

В летний период фронтальные циклоны, проходя по территории, несут ливневые осадки, шквалистый ветер и формирование грозových очагов. Основной грозовой сезон отмечается с конца апреля по сентябрь, отдельные случаи отмечаются в марте и редкие - зимой.

Говоря о температурном режиме, следует отметить, что восточные районы региона холоднее, а юго-западные теплее, это связано с увеличением континентальности климата с запада на восток.

Рельеф местности также оказывает влияние на формирование погоды, в частности на температуру и осадки: так максимум осадков наблюдается на возвышенностях, а низменности более засушливы.

3.3 Гидрометеорологический обзор погодных условий за 2024 год

Обзор погоды по 2024 года составляется для его сравнения с климатическим описанием и выявления особенностей года в отличии от многолетних наблюдений.

Зимние месяцы (Январь–Февраль 2024)

Январь характеризовался аномальными холодами с ночными минимумами до -35°C в отдельных районах Ленинградской области. Февраль был ещё суровее: к середине месяца температура опускалась до -25°C , а к концу месяца участились дожди с порывами ветра до 9 м/с. Снежный покров достигал 30–40 см, что привело к затруднениям в транспорте. В конце февраля снег сменился дождями.

Весенние месяцы (Март–Апрель 2024). В марте раннее вскрытие рек на 12–16 дней раньше нормы из-за аномально теплой погоды. Например, река Тихвинка очистилась ото льда уже к началу месяца. Температура воздуха колебалась от -4°C до $+5^{\circ}\text{C}$, осадки — смешанные (снег, мокрый снег). В апреле средняя температура: $+2,4...+7,9^{\circ}\text{C}$ (на $1,2-2,7^{\circ}\text{C}$ выше нормы в центральных районах).

Летние месяцы (Июнь–Август 2024). В июне: средние температуры: $+17^{\circ}\text{C}$ днём, $+9^{\circ}\text{C}$ ночью. Осадки: 72% влажности, ветер до 2,4 м/с 4. Локальные грозы из-за конвекции над Финским заливом и Ижорской возвышенностью. Июль–Август: Максимальные температуры: $+24^{\circ}\text{C}$ днём, $+18^{\circ}\text{C}$ ночью. Ливневые дожди с интенсивностью 1,3 мм/ч и градом диаметром 4–7 мм.

Осенние месяцы (Сентябрь–Ноябрь 2024). Сентябрь–Октябрь: температуры: $+21^{\circ}\text{C}$ днём, $+15^{\circ}\text{C}$ ночью в начале осени, к октябрю снижение до $+10^{\circ}\text{C}$ 4. Осадки: 77–82% влажности, усиление ветра до 3,0 м/с. Ноябрь: аномально тёплый: средняя температура $+3,0^{\circ}\text{C}$ (на $+2,1^{\circ}\text{C}$ выше нормы). Сильные осадки: 55,7 мм (близко к норме), снег и мокрый снег, ветер до 17 м/с.

Декабрь 2024 Температура: средняя: $-0,7^{\circ}\text{C}$ (аномалия $+1,8^{\circ}\text{C}$). Резкие колебания: от -27°C ночью до $+6^{\circ}\text{C}$ днём. Осадки: 63,2 мм (124% от нормы),

включая снег, дождь и мокрый снег. 30 декабря — штормовой ветер 24 м/с с риском наводнений.

Изучая гидрометеорологический обзор погодных условий, были выявлены ключевые тенденции 2024 года:

1. Температурные аномалии: Год стал теплее нормы на 1,5–2,5°C.
2. Экстремальные явления: Раннее вскрытие рек, наводнения (апрель), штормовые ветры (до 30 м/с в декабре).
3. Осадки: Летние ливни и зимние снегопады превышали норму, что привело к локальным подтоплениям.

3.4 Географические особенности Ленинградской области, благоприятно влияющие на развитие гроз

Территория Ленинградской области обладает неоднородным рельефом местности, из-за которого происходит неоднородный прогрев поверхности. Возвышенности нагреваются сильнее, формируя вертикальные токи и обеспечивая благоприятные условия для конвективной деятельности.

Еще одной благоприятной особенностью территории является наличие больших источников влаги – Финский залив, Ладожское озеро, густая речная сеть, а также озерно-болотные комплексы. Испарение с водоемов и болот насыщает воздух дополнительной влагой, что усиливает конденсацию и рост кучево-дождевых облаков.

Территория города Санкт-Петербург для Ленинградской области является «островом тепла» из-за нагрева асфальта, зданий и промышленных объектов, поэтому температура воздуха в городе выше на пару градусов, чем за городом. Такая особенность усиливает локальную конвекцию и увеличивает вероятность развития грозовых облаков.

ГЛАВА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ГРОЗОВОГО СЕЗОНА И ГРОЗОВЫХ ОБЛАКОВ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2024 ГОД.

В четвертой главе работы описывается процесс сбора и обработки исходных данных, проводится анализ сезонных особенностей грозовых явления Ленинградской области за 2024 год, представлены радиолокационные параметры грозовых облаков в различные сезоны.

В 2024 году сезон гроз в Ленинградской области начался 26 марта – гроза была зафиксирована в Кингисеппе в 11:53 utc, закончился 30 октября – последние грозы были зафиксированы в Киришах и Тихвине в 15:14 и 16:10 utc, таким образом продолжительность грозового сезона составила 219 календарных дней. Однако 30 декабря на территории Санкт-Петербурга, была отмечена гроза – характеристики грозовых явлений переходного и зимнего периодов представляют собой отдельный интерес для их изучения.

4.1 Исходные данные

В данной работе использованы данные Гидрометцентра по штормовым сообщениям, архив фактической погоды, данные ДМРЛ Воейково, а также данные радиозондирования с аэрологической станции Воейково за 2024 год.

Данные «штормового кольца» содержат в себе информацию факта наличия грозы (видимое или слышимое проявление грозы), времени (UTC) и места (станции) наблюдения явления. Создан архив сводок, который включает 440 сводок по 25 метеорологическим постам, время начала и окончания явления, скорость и направление ветра и температуры воздуха у поверхности земли во время прохождения грозы.

По данным ДМРЛ Воейково определены следующие параметры: высота верхней границы облака, отражаемость на трех уровнях – уровне под нижней границей облака и на уровнях изотерм 0 и -22°C. Рассчитаны высоты: уровней изотерм 0 и -22°C и уровня тропопаузы.

Данные радиозондирования атмосферы взяты с аэрологической станции Воейково, находящийся на исследуемой территории в ближайший к факту

грозы срок 00 или 12 часов utc, получена информация об распределении температуры с высотой, о температуре воздуха на верхней границе облака и значения расчетных индексов вероятностного прогноза гроз, рассчитан слой генерации электрического заряда облака.

В дополнение к имеющейся информации добавлены сведения о фактической погоде: температура у поверхности земли, облачность, тип осадков, скорость и направление ветра для уточнения особенностей формирования гроз Ленинградской области.

Таким образом, собран полный архив информации о грозовых явлениях за 2024 год на территории Ленинградской области. Далее следует перейти к анализу полученной информации.

На рис. 4.1 представлена карта распределения метеорологических станции по Ленинградской и смежным регионам, соответствующая списку метеостанций (табл. 1), представленной ниже.

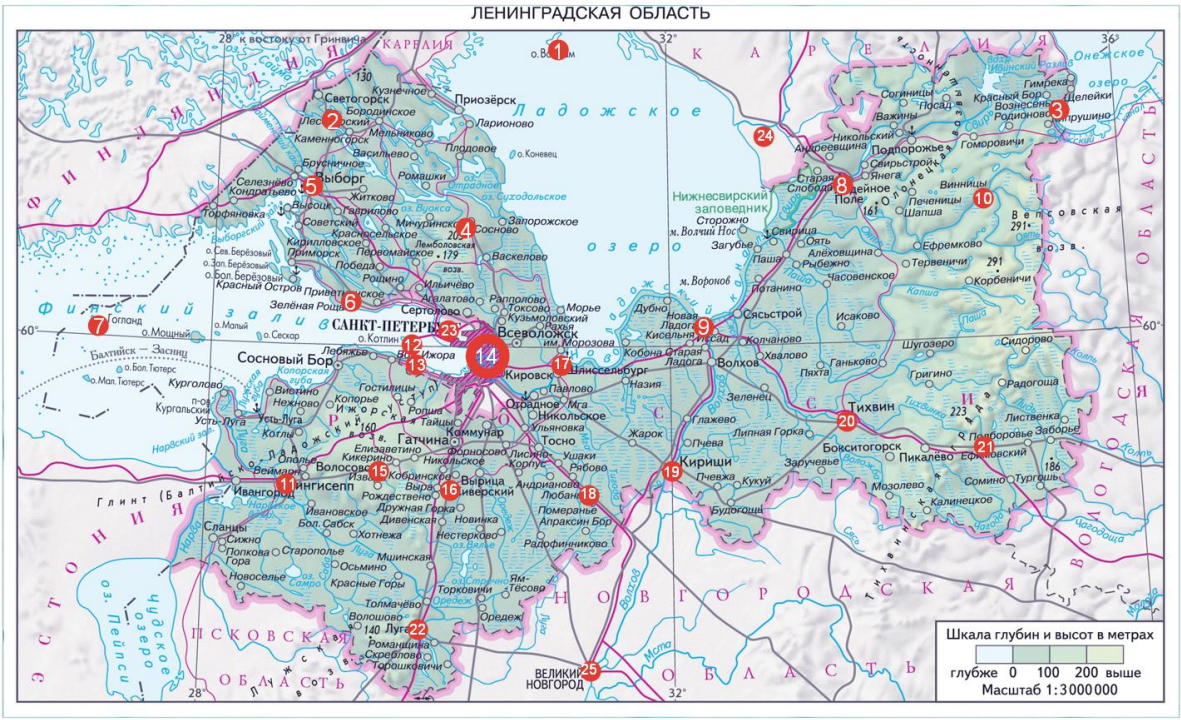


Рисунок 4.1 Карта распределения метеорологических станции по Ленинградской и смежным регионам

Таблица 4.1 Список метеостанций по Ленинградской области и *смежным районам

П/п	Индекс станции	Наименование станции	Широта (северная)	Долгота (восточная)
1*	22805	Валаам	61.23	30.57
2	22806	Лесогорский	61.02	28.56
3	22829	Вознесенья	61.01	35.29
4	22891	Сосново	60.33	30.19
5	22892	Выборг	60.43	28.48
6	22897	Озерки	60.13	29.00
7	22907	Гогланд остров	60.06	26.59
8	22913	Лодейное поле	60.43	33.33
9	22917	Новая Ладога	60.07	32.19
10	22925	Винницы	60.38	34.47
11	26059	Кингисепп	59.22	28.36
12	26060	Кронштадт	59.59	29.46
13	26064	Ломоносов	59.55	29.47
14	26065	Санкт-Петербург	59.58	30.18
15	26067	Волосово	59.26	29.29
16	26069	Белогорка	59.21	30.08
17	26072	Шлиссельбург	59.56	31.03
18	26078	Любань	59.21	31.16
19	26080	Кириши	50.21	32.00
20	26094	Тихвин	59.39	33.30
21	26099	Ефимовская	59.30	34.42
22	26167	Николаевская (Луга)	58.34	29.48
23	22899	Лисий Нос	60.01	29.97
24*	22912	Олонец	60.59	32.57
25*	26179	Новгород	58.31	31.20

4.2. Особенности грозового сезона в Ленинградской области в 2024 году

Для того, чтобы корректно сформулировать сезонные особенности гроз рассматриваемого года, следует определиться с понятием сезона. Метеорологические сезоны не привязаны к календарным временам года, а определяются устойчивыми климатическими изменениями.

Теплый сезон, или метеорологическое лето, — это период, когда среднесуточная температура устойчиво превышает отметку +15°C.

Холодный сезон, метеорологическая зима, — это период, когда среднесуточная температура устойчиво переходит отметку ниже 0°C.

Переходные сезоны, метеорологические осень и весна, - периоды между теплым и холодным сезоном.

4.2.1. Сезонность гроз в Ленинградской области

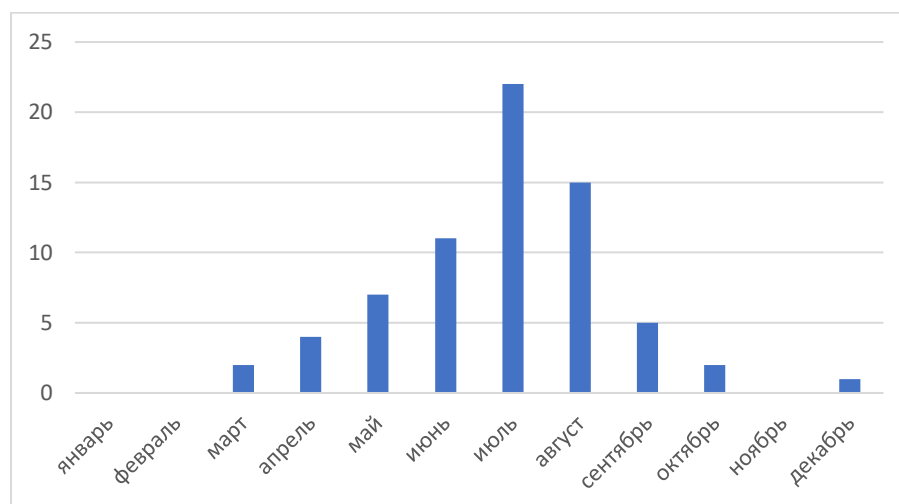


Рисунок 4.2 Распределение числа дней с грозой в течение 2024 года в Ленинградской области

На рис. 4.2 представлено распределение числа дней с грозой в течение 2024 года в Ленинградской области. Логично, что максимум грозовой активности приходится на теплый период года, для Ленинградской области это соответствует периоду с мая по сентябрь (87% от общего числа дней с грозой), оставшиеся сезоны составляют 13%. В марте дней с грозой - 2, в апреле - 4, в мае - 7, в июне - 11, в июле - 22, в августе - 15, в сентябре - 5, в октябре - 2, в декабре - 1, в январе, феврале и ноябре - 0.

Всего зафиксировано (рис. 4.3) гроз в марте - 3, в апреле - 18, в мае - 70, в июне - 89, в июле - 127, в августе - 104, в сентябре - 24, в октябре - 4, в декабре - 1. Всего в период с мая по сентябрь - 414 случаев (94%), в период с октября по апрель - 26 (6%).

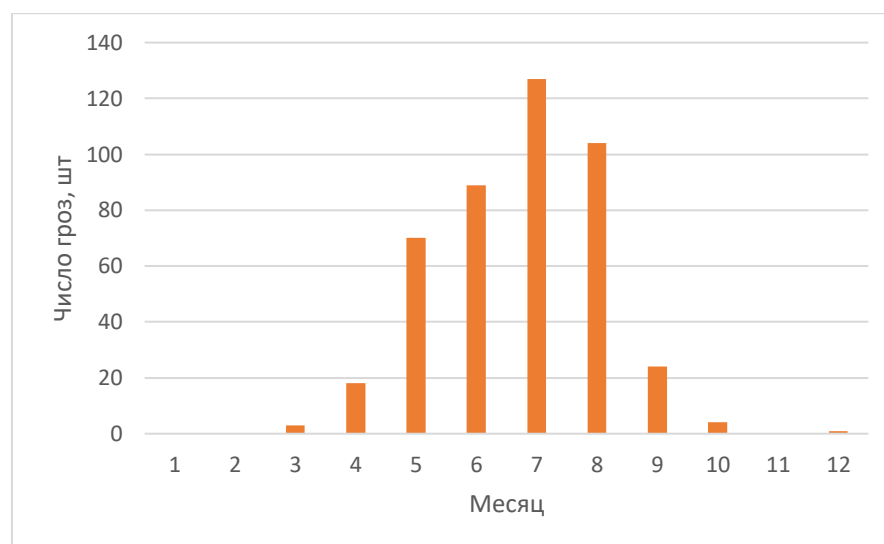


Рисунок 4.3 Число гроз по месяцам в течение 2024 года в Лен. области

В нехарактерное для грозовой активности время года формирование таких активных конвективных процессов может быть связано с тем, что на протяжении нескольких дней поверхность земли прогревается (например, в связи с установлением антициклона или широким теплым сектором циклона), а затем происходит интенсивный заток холода, на котором из-за больших контрастов температур могут возникать мощные вертикальные токи, что может приводить к развитию кучево-дождевой облачности и грозам.

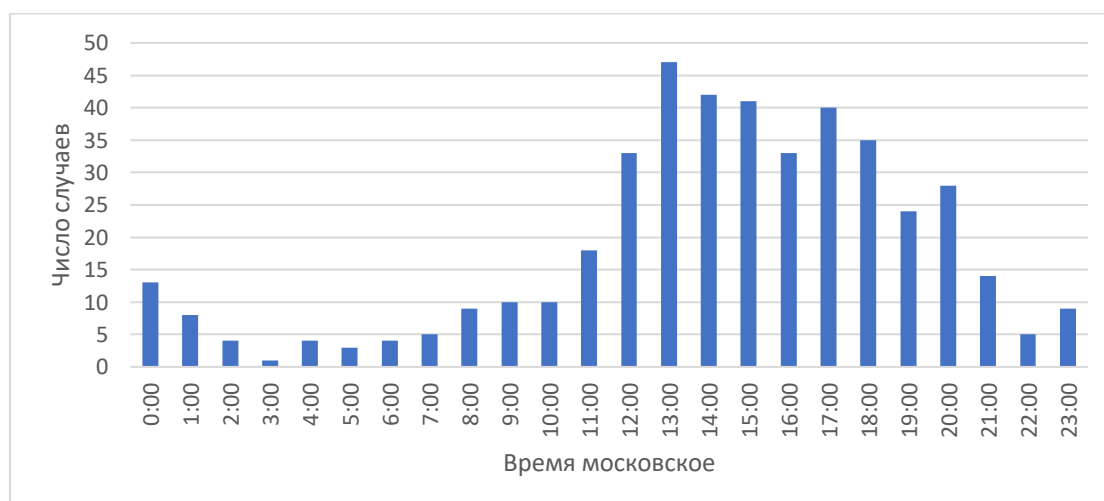


Рисунок 4.4 Распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области

На рис. 4.4 представлено распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области. График показывает, что пик грозовой активности проходит в послеполуденные часы с 13:00 до 16:00 местного времени, также видно пик активности в ночной период с 23:00 до 01:00. Максимум случаев в ночные часы связан с прохождением теплых фронтов, а также теплых участков на холодных фронтах. Максимум случаев в послеполуденные часы объясняется прохождением холодных фронтов, а также процессами образования внутримассовых гроз. Доля случаев в послеполуденные часы еще связана с прохождением фронтов окклюзии, однако они могут являться причиной возникновения гроз в любое время суток.

4.2.2 Температурная зависимость повторяемости гроз в Ленинградской области

Важным фактором развития гроз является неустойчивое состояние атмосферы, которое обеспечивается интенсивным нагреванием поверхности и контрастом температур из-за рельефа местности. По этой причине температурная зависимость повторяемости гроз в Ленинградской области рассматривается отдельно.

Данные о температуре поверхности взяты из архивов сайта gr5.ru. Температуры были разделены с градацией в один градус и было подсчитано число случаев в каждой градации, полученный результат представлен ниже на графике.

На рис. 4.5 представлена повторяемость факта грозы от температуры поверхности земли в 2024 году в Ленинградской области. Из графика видно, что большая часть гроз наблюдалась при температуре воздуха у земли в диапазоне от 18 до 22°C. Самые минимальные температуры, при которых отмечалась гроза, были зафиксированы 03 апреля в Санкт-Петербурге 0,3°C и в Кронштадте 0,5°C (случай рассмотрен отдельно в пункте 4.3.2 работы).

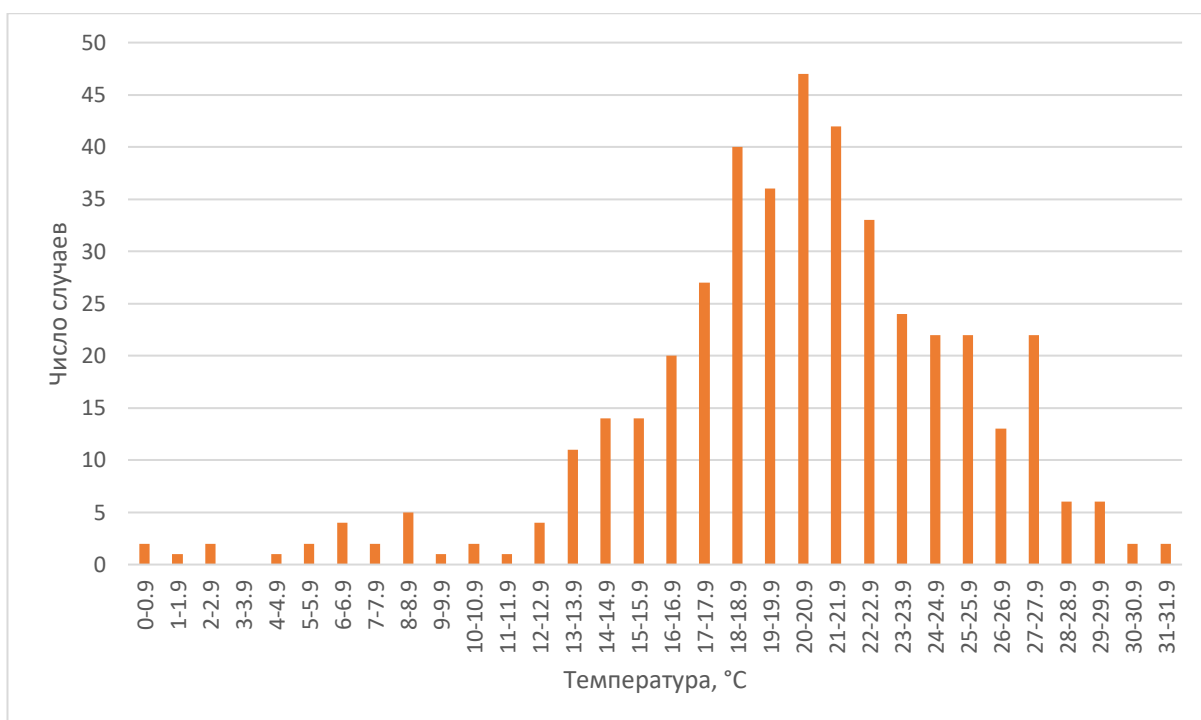


Рисунок 4.5 Повторяемость факта грозы от температуры поверхности земли в 2024 году в Ленинградской области

При температурах ниже 0°C и выше 32°C гроз зафиксировано не было. Можно сказать, что активизация интенсивных конвективных процессов, приводящих к развитию грозовых очагов начинается выше значений 13-14°C и снижается выше значений 28°C.

Ниже представлены графики повторяемости факта грозы от температуры поверхности земли в 2024 году в Ленинградской области отдельно для теплого периода (рис.4.6) и для холодного и переходного периодов (рис.4.7).

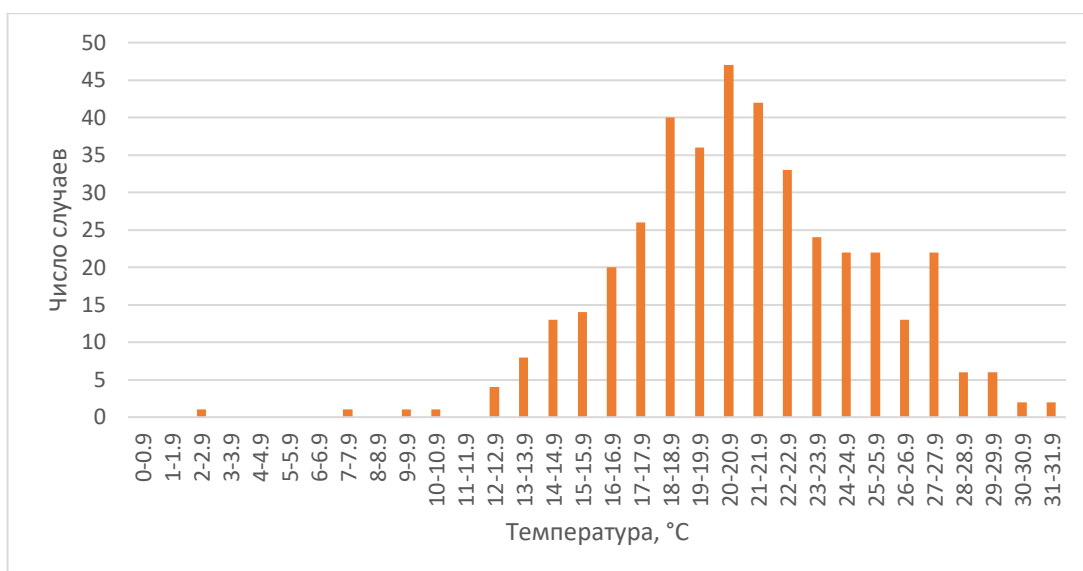


Рисунок 4.6 Повторяемость факта грозы от температуры поверхности земли в 2024 году в Лен. области в теплый период

На рис. 4.6 для теплого периода основной диапазон температур, от 12 до 32°C. Отдельные грозы наблюдались и при более низкой температуре (7 мая в Санкт-Петербурге 2,8°C – случай рассмотрен отдельно в пункте 4.3.2 работы, 10 июня на Валааме 7,2°C, 12 августа в Лодейном Поле 9,0°C, 20 августа в Николаевском 10,7°C). Максимальные температуры те же, что и для графика на рис.4.5.

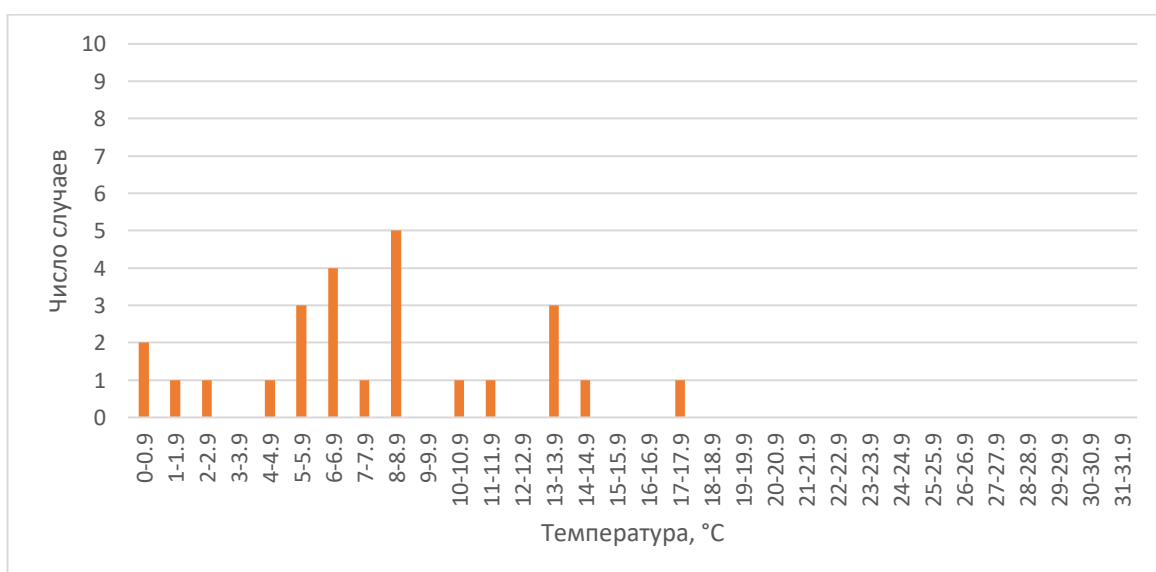


Рисунок 4.7 Повторяемость факта грозы от температуры поверхности земли в 2024 году в Лен. области в холодный и переходный период

На рис. 4.7 для холодного и переходного периода в основном все температуры, при которых наблюдалась гроза, находятся в диапазоне от 0°С до 15°С и максимальное значение 17,2°С зафиксировано 10 апреля на станции Новая Ладога. Минимальные значения те же, что и для графика на рис.4.5. Очевидно, что для гроз внутримассового происхождения температуры низкие и все представленные случаи происходили на атмосферных фронтах.

4.3. Синоптические условия возникновения гроз.

4.3.1 Анализ синоптических условий на территории Ленинградской области за 2024

По данным реанализа были проанализированы синоптические ситуации, при которых наблюдались грозы. Результаты анализа представлены в таблице 4.2. В таблице 4.3 указана повторяемость гроз по синоптическим ситуациям.

Таблица 4.2 Случаи гроз по синоптическим ситуациям

Происхождение гроз	Холодный и переходный период (октябрь – апрель)	Теплый период (май-сентябрь)
Фронт окклюзии	19	114
Холодный фронт	5	146
Теплый фронт	2	17
Вторичный ХФ	0	17
Теплая волна на ХФ	0	18
Внутримассовые	0	102

Таблица 4.3 Повторяемость гроз по синоптическим ситуациям

Происхождение гроз	Холодный и переходный период (октябрь – апрель), %	Теплый период (май-сентябрь), %
Фронт окклюзии	73,1	27,5
Холодный фронт	19,2	35,3
Теплый фронт	7,7	4,1
Вторичный ХФ	0	4,1
Теплая волна на ХФ	0	4,3
Внутримассовые	0	24,7

Таким образом, в холодный и переходный сезоны грозы наблюдались только на атмосферных фронтах (19 случаев на фронте окклюзии, 5 на холодных фронтах и 2 на теплых фронтах). В теплый период синоптические ситуации более разнообразны: атмосферные фронты (114 случаев на фронтах окклюзии, 146 на холодных фронтах, 17 на теплых фронтах), вторичные фронты (17 на вторичном холодном фронте), отдельные участки фронта (18 случаев на теплых волнах холодного фронта), а также грозы имели внутримассовое происхождение (102 случая). Синоптические ситуации при внутримассовых грозах включают в себя теплый сектор циклона, размытое барическое поле, ложбины циклонов.

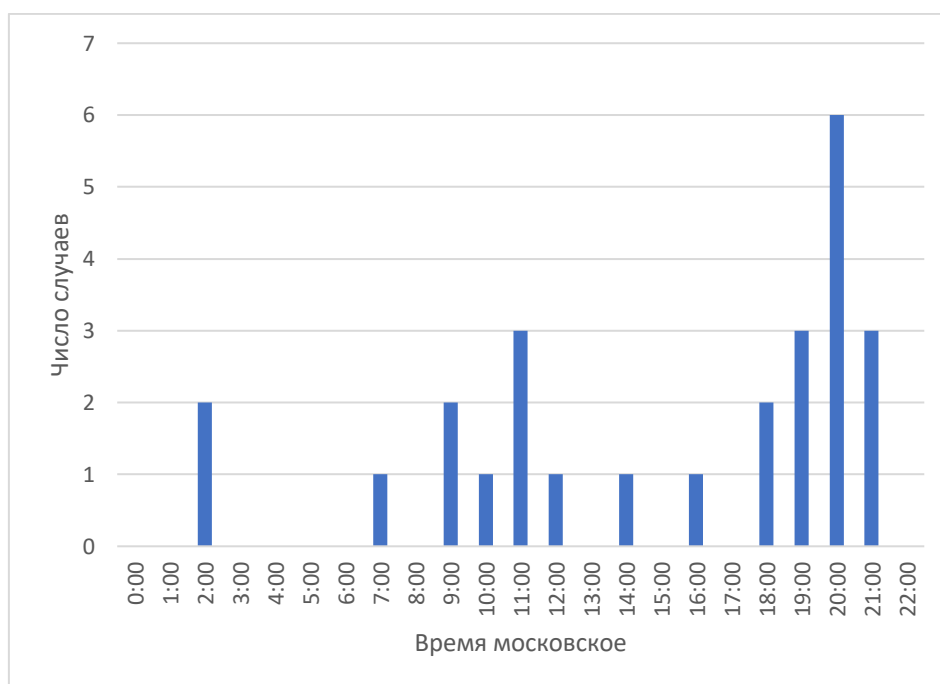


Рисунок 4.8 Распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области в холодный и переходный периоды.

Дальше для каждого сезона выявлены зависимости проявления грозовых процессов при различных условиях происхождения гроз и синоптических ситуациях.

Представлен график распределения числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области в холодный и переходный периоды на рис. 4.8.

В холодный и переходные периоды большинство гроз фиксировались с 18 до 21 часов, это связано с прохождением холодных фронтов и фронтов окклюзии, как и в диапазоне с 9 до 12 часов. Единичные случаи в 7, 14 и 16 часов связаны только с фронтами окклюзии. Два случая в 2 часа связаны с прохождением теплых фронтов.

В связи с тем, что в теплый период большая вариативность ситуаций, суточный ход гроз проанализирован отдельно по каждой синоптической ситуации и для внутримассовых гроз. Так получилось четыре графика представленных ниже.

На рис. 4.9 представлено распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области в теплый период на теплых фронтах и на теплых волнах холодных фронтов.

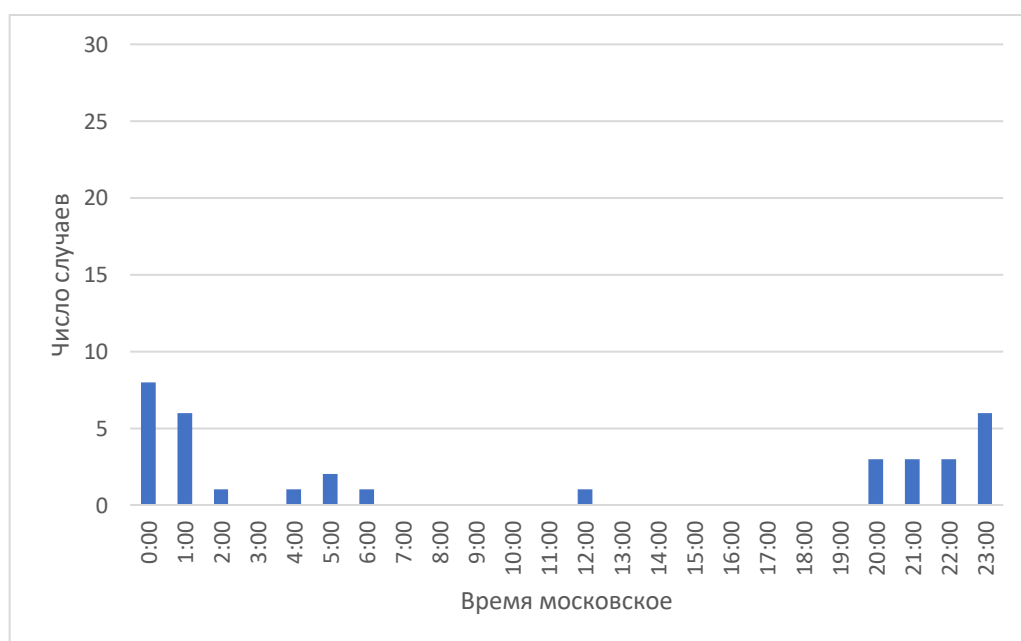


Рисунок 4.9 Распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области в теплый период на теплых фронтах и на теплых участках холодных фронтов.

На теплых фронтах и теплых волнах грозы возникают в ночные и утренние часы с 20 до 6 часов. В 12ч гроза на теплом фронте связана с интенсивным прогревом поверхности и усилением конвективных процессов.

На рис. 4.10 представлено распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области в теплый период на теплых фронтах и на теплых волнах холодных фронтов, на холодных фронтах и на вторичных холодных фронтах.

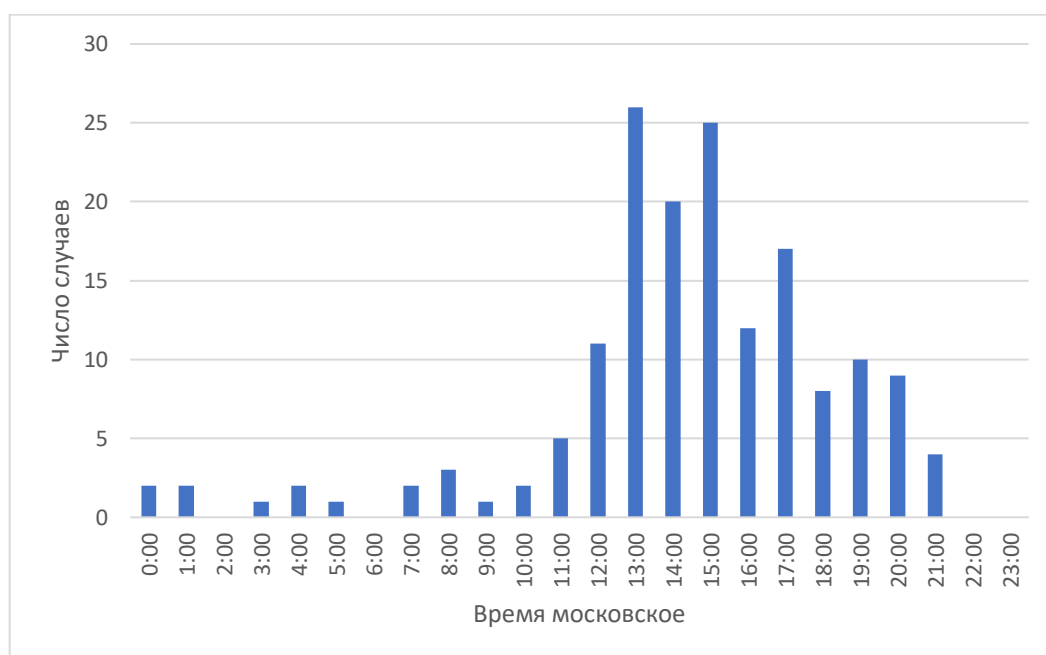


Рисунок 4.10 Распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области в теплый период на холодных фронтах и на вторичных холодных фронтах.

Пик активности холодных фронтов приходится на послеполуденные часы, соответственно грозы на этих фронтах будут также развиваться в эти часы (12-18ч). Ночью и в утренние часы грозовая активность связана с прохождением активных вторичных холодных фронтов над поверхностью неостывших водоемов.

На рис. 4.11 представлено распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области в теплый период на фронтах окклюзии.

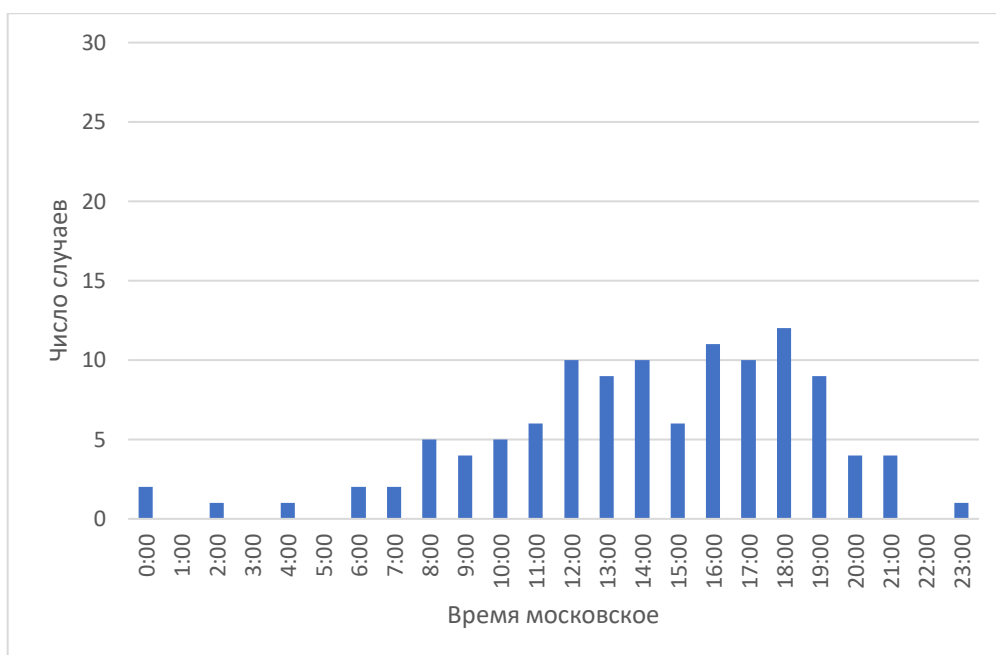


Рисунок 4.11 Распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области в теплый период на фронтах окклюзии.

По графику на рис.4.8 ярко выраженного суточного хода гроз на фронтах окклюзии нет, однако большинство гроз проходит с 8 до 20ч. В ночное время грозы возникают скорее всего на фронтах окклюзии по типу теплого, в дневные и послеобеденные часы окклюзии по типу холодного.

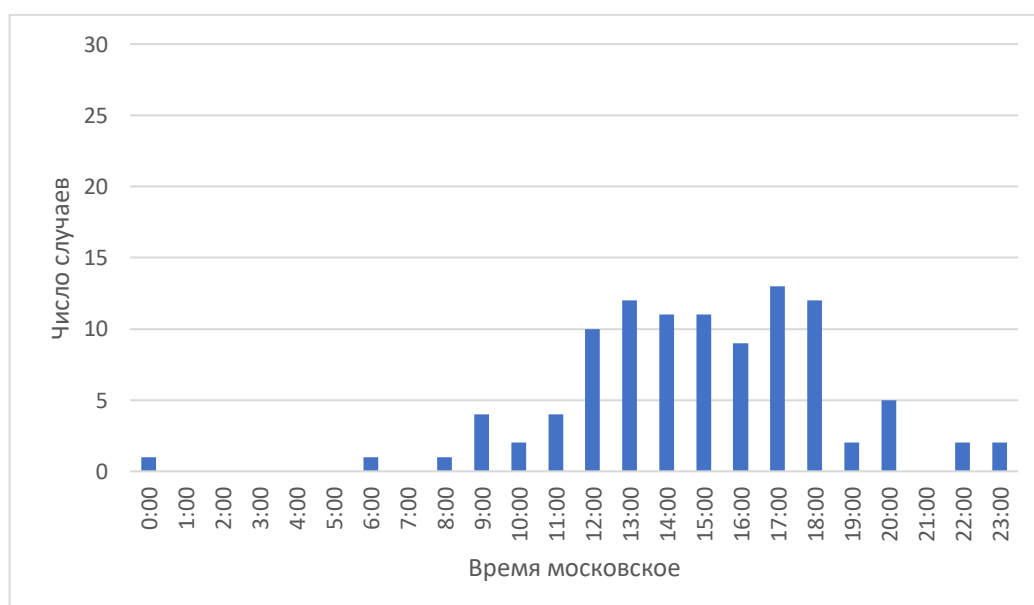


Рисунок 4.12 Распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области в теплый период для внутримассовых гроз.

На рис. 4.12 представлено распределение числа гроз по времени начала грозы в 2024 году в Ленинградской области в теплый период для внутримассовых гроз.

Внутримассовые грозы в 2024 году наблюдались в период с 26 мая по 14 августа. Внутримассовые грозы возникают, как правило, после 12ч, что связано с прогревом поверхности и развитием конвективной облачности, свой вклад также вносят водные объекты, располагающиеся на территории Ленинградской области. В ночные часы (22-00ч) внутримассовые грозы объясняются близостью пункта наблюдения к водоемам (Финский залив и Ладожское озеро) и их интенсивным парением, так обеспечиваются условия для формирования редких грозовых очагов: повышенная влажность воздуха и вертикальные токи.

Таким образом, в 2024 году в Ленинградской области грозовой сезон продолжался с марта по декабрь. Число дней с грозой достигло 69, число гроз за год – 440. При этом 87 % гроз возникли с мая по сентябрь, 13 % гроз – с октября по апрель. В июле было наибольшее число гроз – 127 случаев.

Грозы могут возникать в любое время суток. Пик грозовой активности проходит в послеполуденные часы с 13:00 до 16:00 местного времени, также видно пик активности в ночной период с 23:00 до 01:00.

Вероятность возникновения грозы зависит от температуры воздуха. Большая часть гроз наблюдалась при температуре воздуха у земли в диапазоне от 18 до 22°C. Самые минимальные температуры, при которых отмечалась гроза, были зафиксированы 03 апреля в Санкт-Петербурге 0,3°C и в Кронштадте 0,5°C. Повторяемость гроз при температуре ниже 14,0 °C менее 10%.

Анализ синоптических условий возникновения гроз показал, что в холодный и переходные периоды года грозы возникают лишь на атмосферных фронтах. В теплый период года возникали как фронтальные, так и внутримассовые грозы.

4.3.2 Анализ отдельных случаев формирования гроз

Случай грозы переходного сезона 3 апреля 2024 года [7]

3 апреля 2024 года погода по Ленинградской области определялась влиянием циклона Патриция и его системой фронтов (рис.4.3.1). Этот циклон принес уникальные погодные условия на территорию региона – на северо-западе области наблюдались отрицательные температуры до -2°C , а на юго-востоке воздух прогрелся до $+13-16^{\circ}\text{C}$. Грозы прогнозировались по юго-востоку зоны на фронте окклюзии. На картах АТ-850 за сроки 6 и 12utc (рис.4.3.2) представлено распределение температуры и геопотенциала в этот день.

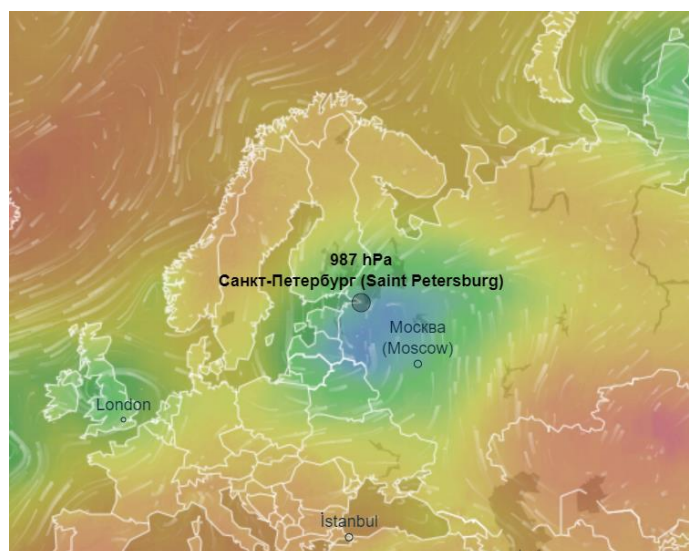


Рисунок 4.3.1 Приземный анализ 03.04 2024 за 09:00utc

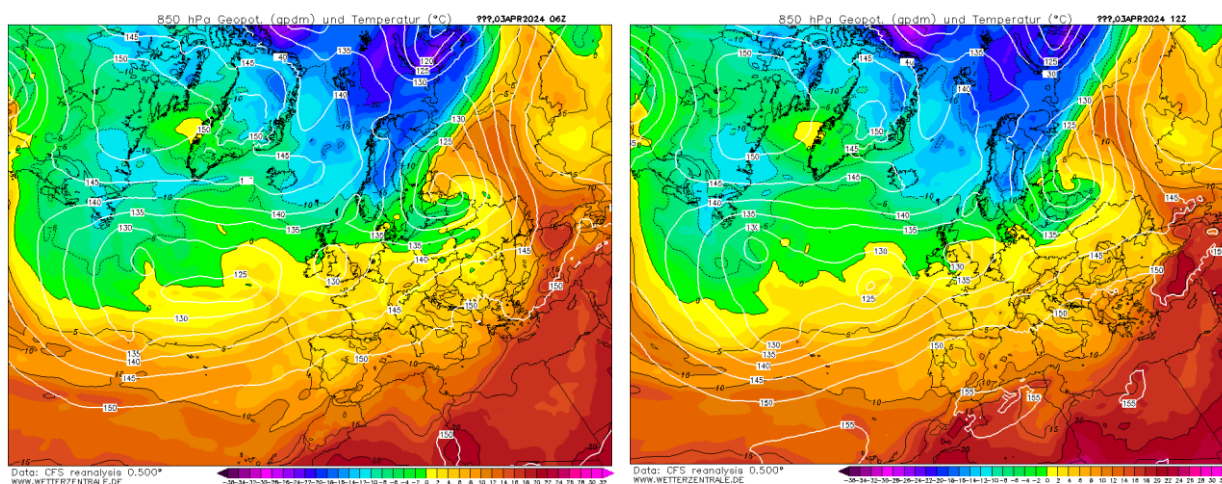


Рисунок 4.3.2 Карты АТ-850 03.04.2024 за 06:00 и 12:00utc

По данным Северо-Западного УГМС грозу в городе начали отмечать между сроками с 9 до 12ч мск (6-9 utc) и закончилась между сроками 12 и 15ч (9-12 utc). Данные представлены в таблице 4.3.1.

Таблица 4.3.1 Данные штормового кольца

Дата	Станция	Время начала	Время окончания
3.04	Санкт-Петербург	7:53	
3.04	Кронштадт	8:10	9:05
3.04	Ломоносов	8:20	8:45
3.04	Белогорка	6:56	7:30

Данные грозорегистрационной системы Blitzortung представлены на рис.4.3.3.

По радиолокационным данным (рис.4.3.4) максимальная отражаемость составила 40 дБZ. По критериям переходного сезона (если во время явления температура у поверхности земли ниже $+3^{\circ}\text{C}$ и выше -1°C , то сезон является переходным). Температура воздуха в Санкт-Петербурге в 9utc отмечалась $0,4^{\circ}\text{C}$, к 12utc понизилась до $-0,7^{\circ}\text{C}$. С грозой наблюдался дождь и/или снег. При этом по критериям переходного сезона грозы быть не должно. Однако по р/л критериям параметры облака соответствовали грозе теплого сезона.

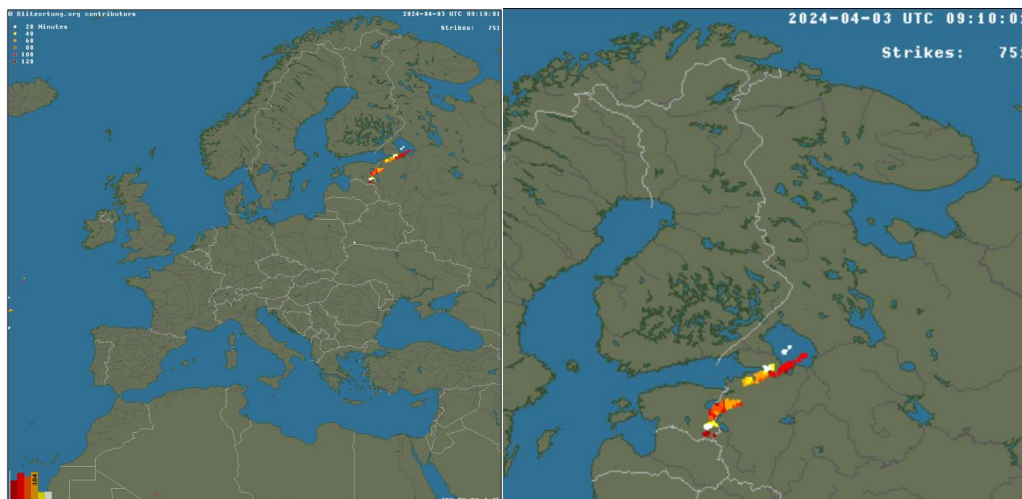


Рисунок 4.3.3 Данные Blitzortung 03.04.2024 за 09:00utc

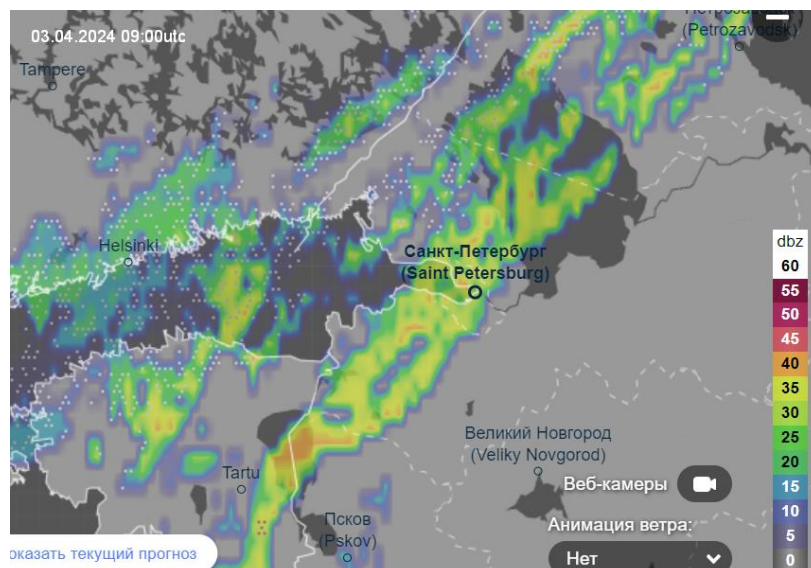


Рисунок 4.3.4 Данные радиолокации с веб-портала Ventusky 03.04.2024 за 09:00utc

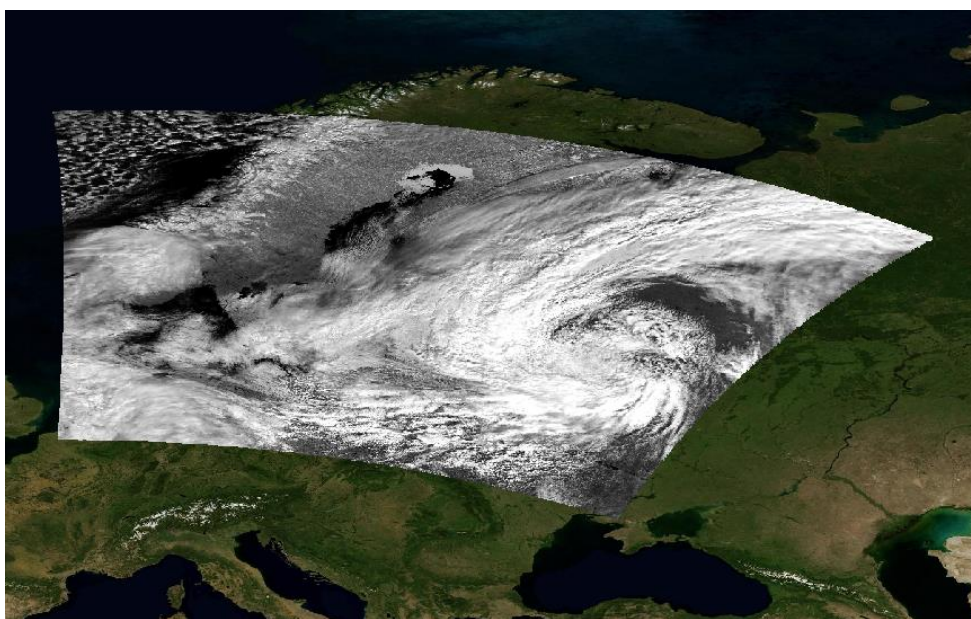


Рисунок 4.3.5 Спутниковый снимок в видимом диапазоне 03.04.2024 за 09:10utc

На рис. 4.3.5 представлен снимок спектро радиометра MODIS, установленного на спутниках Terra/Aqua. На снимке Европейская территория России за указанный срок. На снимке четко распознаваемы очертания материка и облачный массив. Облачный массив состоит из облаков волокнистой, матовой и зернистой текстуры, соответствующей перисто-, слоисто- и кучевообразной облачности. Также четко просматриваются

фронтальные системы циклона и массив кучево-дождевых облаков, совпадающий с местоположением линии грозовых разрядов (Приложение 1 рис.3). По теням, которые отбрасывает кучево-дождевая облачность можно предположить, что ее высота верхней границы значительно выше облаков этого же массива. Это говорит о повышении вероятности грозовой активности в этих облаках. Для более точного определения микрофизики облаков воспользуемся следующим методом обработки.

Для анализа спутникового изображения был выбран метод синтеза цветов, использующийся для дешифрования микрофизики облачности. В таблице 4.3.2 представлены использованные каналы для создания синтезированного RGB изображения.

Таблица 4.3.2 Комбинация каналов для дешифрирования микрофизики облаков

Цвет	Канал (мкм)	Физически относится к	Меньший вклад в сигнал	Больший вклад в сигнал
Красный	VIS0.8	Оптическая толщина облака	Тонкие облака	Густые облака
Зеленый	IR3.9	Микрофизические свойства облаков	Ледяные облака Крупные частицы	Водяные облака Мелкие частицы
Синий	IR10.8	Температура	Холодные густые облака	Теплая поверхность Теплые облака

Таким образом красной компоненте присваивается изображение в видимом диапазоне с длиной волны около 0,8 мкм, зеленой – в ИК-диапазоне с длиной волны 3,9 мкм, синей – ИК с 10,8 мкм.

На рис. 4.3.6 представлено синтезированное изображение в предложенных каналах.

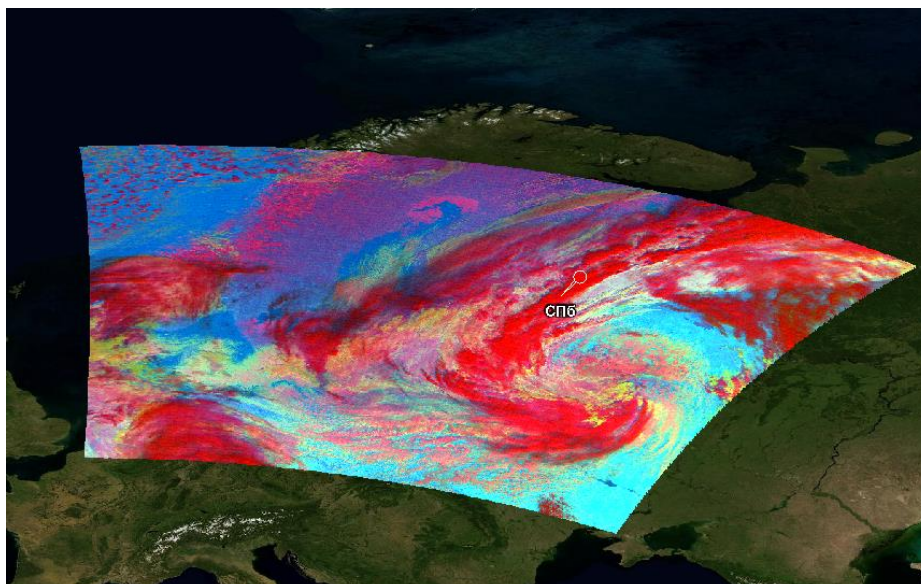


Рисунок 4.3.6 Синтезированное RGB изображение

На рис.4.3.7 интересующая область окрашена насыщенным красным цветом, указывающим на то, что вершина облачного массива представляет собой густые ледяные облака с крупными частицами льда. Насыщенный красный цвет свидетельствует о высокой оптической плотности облака, то есть облако содержит большое количество водности.

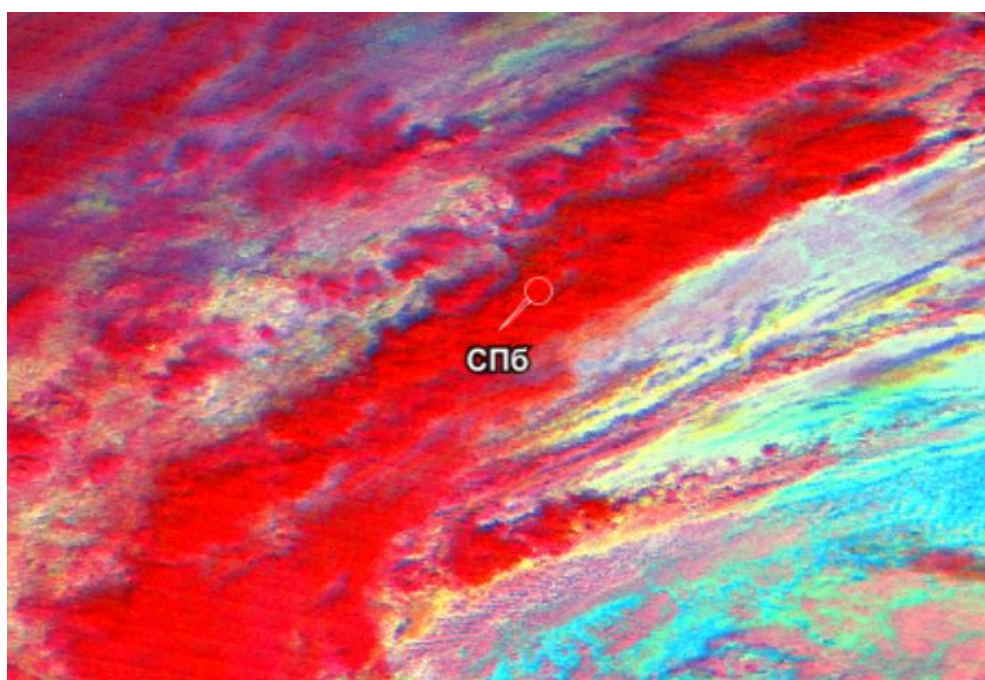


Рисунок 4.3.7 Увеличенное изображение с рис.4.3.7

Таблица 4.3.3 Комбинация каналов для дешифрирования конвективной облачности

Цвет	Канал (мкм)	Физически относится к	Меньший вклад в сигнал	Большой вклад в сигнал
Красный	HRV (красный)	Оптическая толщина облака Отражательная способность снега	Тонкие облака	Густые облака
Зеленый	HRV (зеленый)	Оптическая толщина облака Отражательная способность снега	Тонкие облака	Густые облака
Синий	1-IR10.8	Температура вершины облака Температура поверхности суши/воды	Теплые облака Теплая поверхность суши/воды	Холодные облака

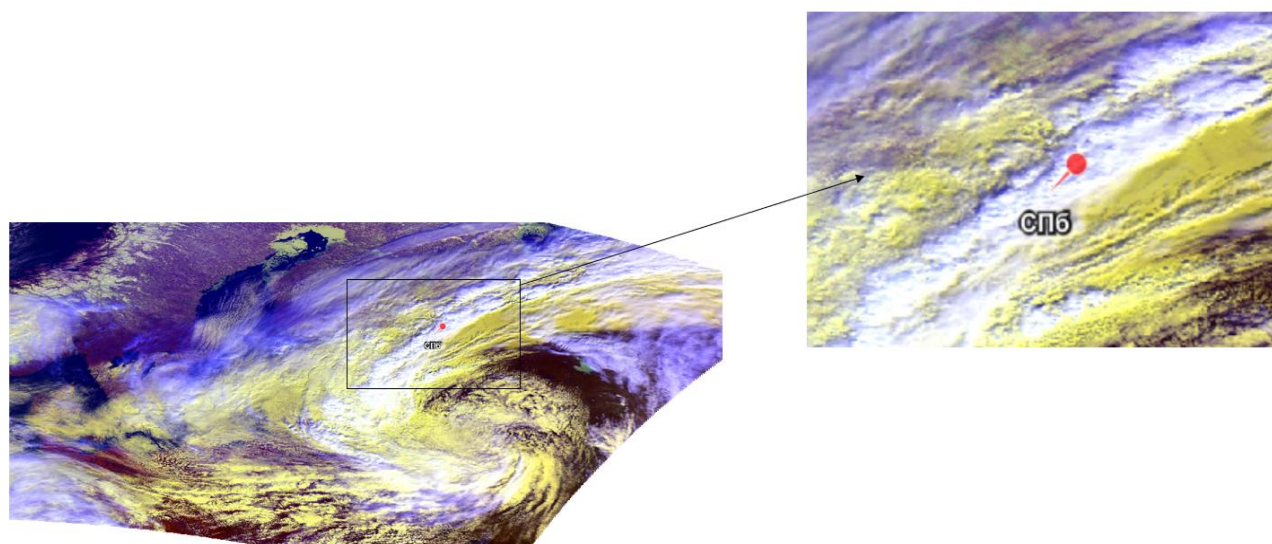


Рисунок 4.3.8 Синтезированный снимок в предложенных каналах из табл. 3

Далее были выполнены преобразования диапазонов RGB компонент, чтобы выделить внутри фронтальной облачности отдельные мезомасштабные комплексы. На рис. 4.3.9 выявлены отдельные конвективные ячейки.

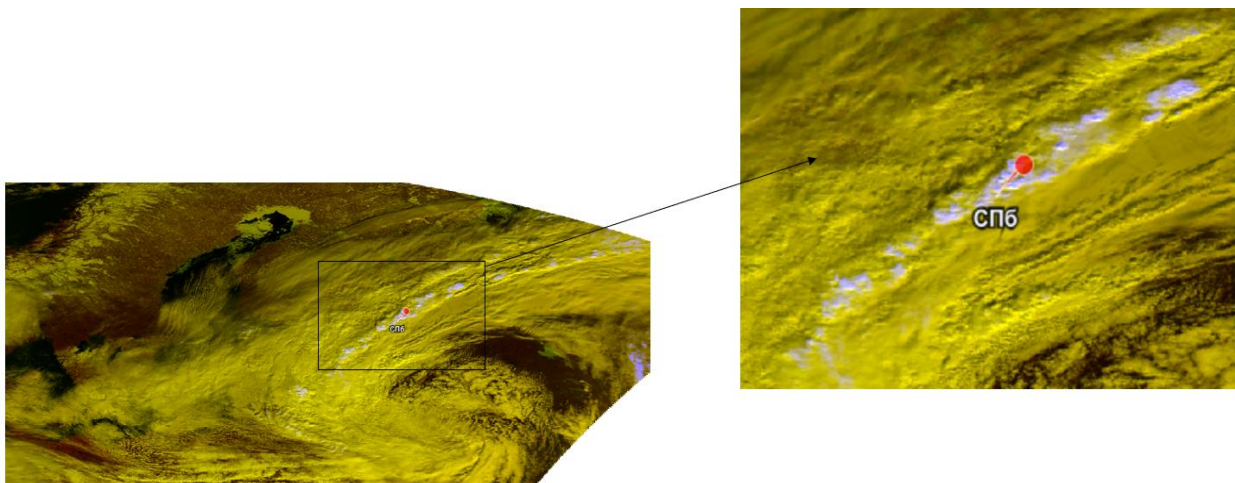


Рисунок 4.3.9 Измененный рис.4 с выделенными верхними границами кучево-дождевой облачности

Таким образом, был проведен комплексный анализ такого погодного явления как гроза переходного сезона 3 апреля 2024г. – исследована синоптическая ситуация, использованы данные радиолокации и грозорегистрации, обработаны данные спутниковых снимков спектрорадиометра MODIS, установленного на спутниках Terra/Aqua, в анализе не использовались данные радиозондирования атмосферы.

С помощью обработки спутниковых снимков удалось посмотреть микрофизическую структуру облака, а также выявить отдельные ячейки кучево-дождевых облаков в общей системе фронтальной облачности. Ячейки, расположенные вдоль фронта, находятся практически на одинаковом расстоянии друг от друга.

Случай грозы после переходного сезона 7 мая 2024 года [8]

7 мая 2024, погода по территории Санкт-Петербурга определяется тыловой частью циклона, 4-5 мая территория находилась в зоне влияния теплого сектора циклона, осуществлялся прогрев поверхности до максимальной температуры 14,1°C (табл.4.3.4), 6 мая температура воздуха начала понижаться, что говорит о прохождении ХФ – максимальная

температура в этот день составила 7,1°C. На рисунках 4.3.10 и 4.3.11 представлены кольцевые карты погоды за 07.05.2024 15:00 и 18:00utc.

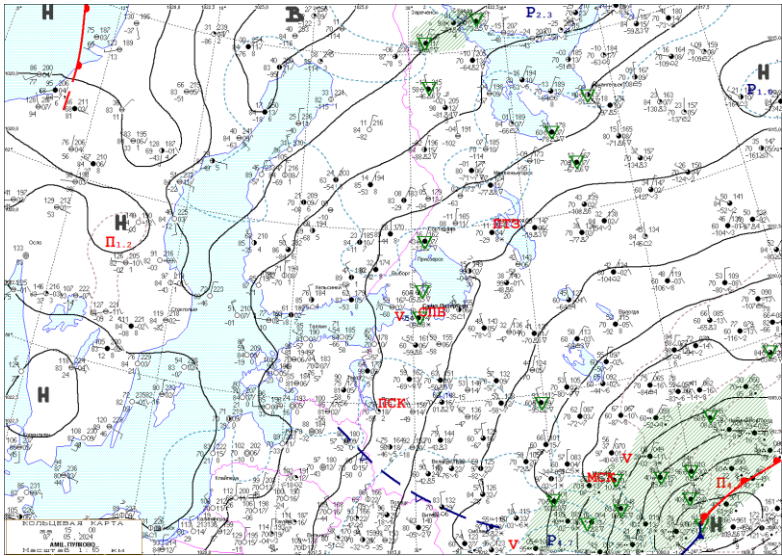


Рисунок 4.3.10 Кольцевая карта за 07.05.2024г. за 15:00utc

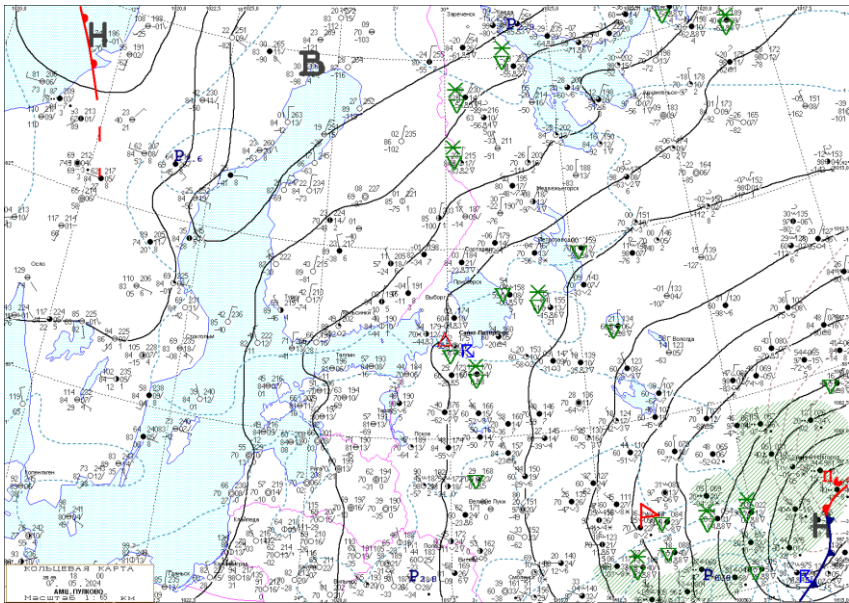


Рисунок 4.3.11 Кольцевая карта за 07.05.2024г. за 18:00utc

Таблица 4.3.4 - Температура воздуха в Санкт-Петербурге май 2024г.

Дата	Температура воздуха, °C				Осадки, мм
	Минимум	Средняя	Максимум	Отклонение от нормы	
1	4.2	8.0	11.9	-0.6	0.0

2	2.9	9.2	15.0	+0.4	0.0
3	5.0	7.2	10.9	-1.8	0.0
4	4.7	9.0	14.1	-0.2	0.3
5	4.5	6.3	10.0	-3.2	0.0
6	0.4	4.1	7.1	-5.6	0.0
7	0.6	3.2	6.7	-6.7	3.0
8	-1.1	1.6	5.0	-8.5	0.4

7 мая максимальная температура воздуха не превышала 7°C, средняя температура воздуха 3,2°C. Во второй половине дня по прогнозу Гидрометцентра ожидалось повышение интенсивности осадков в виде снега и дождя. Грозовая вспышка была зафиксирована в промежутке между 17:30 и 17:35utc (20:30 и 20:35 мск) по данным сайта Blitzortung (рис. 4.3.12).

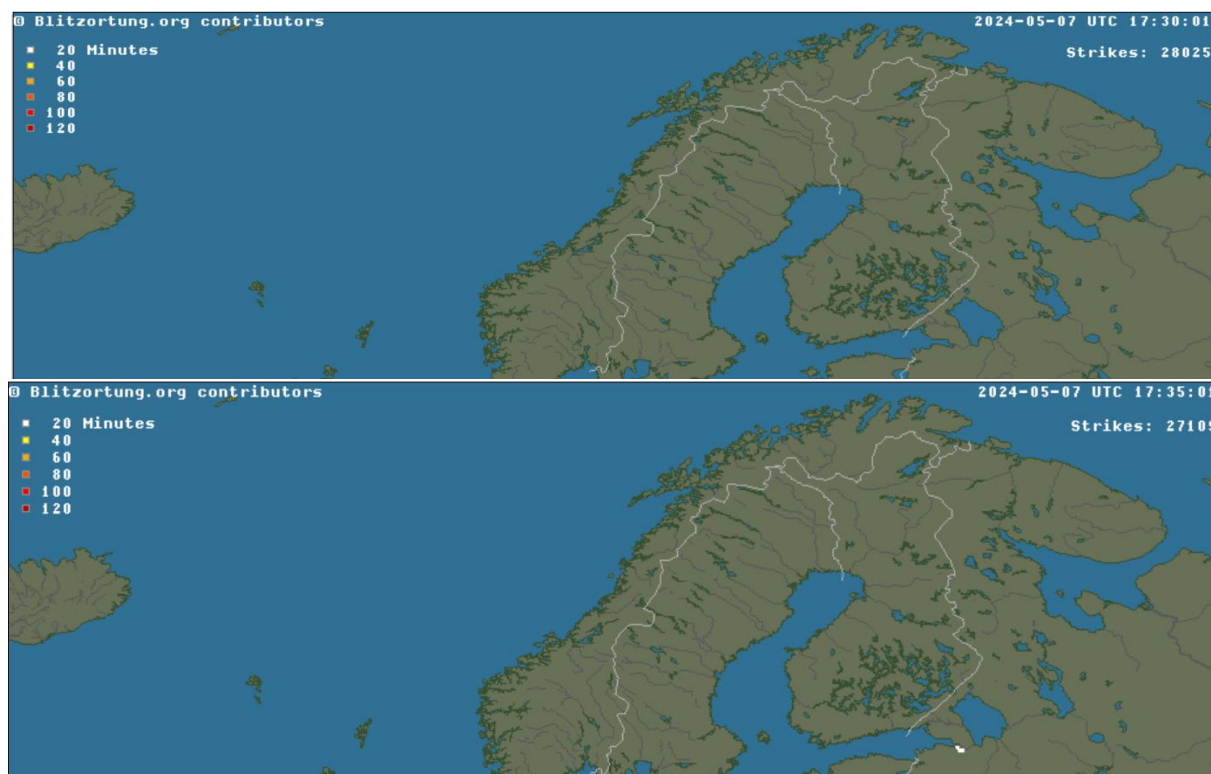


Рисунок 4.3.12 Вспышка на территории г. Санкт-Петербург

Дальше новых вспышек не наблюдалось, по градациям сайта через 120 минут (2ч) изображение вспышки с 17:30utc пропало.

Далее приведен список регулярных и специальных метеорологических сводок 07.05.2024 17:00 – 18:30utc по аэродрому Санкт-Петербург (Пулково):

METAR ULLI 071700Z 09003MPS 9999 -SHSN SCT025CB BKN040 03/M01 Q1016 R28L/190055 NOSIG=

17:00 видимость более 10км, слабый ливневый снег.

SPECI ULLI 071723Z 19002MPS 9000 0800NW +SHSN SCT013 BKN033CB 02/M01 Q1016 R28L/290050 TEMPO 0500 +SHSN BKN007 BKN015CB=

17:23 зона осадков подходит к зоне аэродрома, ухудшение видимости на северо-запад 800м, сильный ливневый снег. Поворот ветра с восточного на юго-западный.

SPECI ULLI 071724Z 20002G09MPS 8000 0900NW +SHSNRA SCT010 BKN033CB 02/M01 Q1016 R28L/290050 TEMPO 0500 +SHSN BKN007 BKN015CB=

17:24 усиление ветра юго-западного направления – порыв 9м/с. Видимость 900м на северо-запад (временами 500м). сильный ливневый дождь со снегом (временами сильный ливневый снег)

SPECI ULLI 071725Z 22003G11MPS 1000 0800NE +SHSNRA SCT010 BKN026CB 02/M01 Q1016 R28L/290050 TEMPO 0500 +SHSN BKN007 BKN015CB=

17:25 усиление ветра юго-западного направления – порыв 11м/с. Ухудшение преобладающей видимости 1000м, минимальная 800м на северо-восток (временами 500м сильный ливневый снег)

SPECI ULLI 071729Z 30005G11MPS 0750 0500SW R28L/1600D +SHSN SCT007 BKN020CB 01/M00 Q1017 R28L/290050 TEMPO 0200 +SHSN BKN007 BKN015CB RMK OBST OBSC=

17:29 поворот ветра с юго-западного на северо-восточный порыв 11м/с. Ухудшение преобладающей видимости 750м, минимальная 500м на юго-запад (временами 200м сильный ливневый снег)

METAR ULLI 071730Z 31005G11MPS 0900 0450SW R28L/P2000D +SHSN SCT004 BKN020CB 01/M00 Q1017 RESHRA R28L/290050 TEMPO 0200 +SHSN BKN007 BKN015CB RMK QBB120 OBST OBSC=

17:30 видимость 900м, минимальная 450м на юго-запад (временами 200м сильный ливневый снег), нижняя граница облачности 120м.

SPECI ULLI 071732Z 33006G11MPS 210V020 1400 0800SW R28L/P2000D +TSSNRA SCT004 BKN020CB 01/M00 Q1017 R28L/290050 NOSIG RMK QBB120 OBST OBSC=

17:32 видимость повышается (по полосе имеет тенденцию на спад), сильная гроза со смешанными осадками. (интенсивность грозы определяется значением видимости).

SPECI ULLI 071733Z 34006G11MPS 290V020 2100 1000SE R28L/1900D TSSNRA SCT005 BKN020CB 01/M00 Q1017 R28L/290050 NOSIG RMK OBST OBSC=

17:33 умеренная гроза со смешанными осадками. Нижняя граница облачности 150м.

SPECI ULLI 071735Z 35005G10MPS 290V030 3400 0900SE R28L/1800U +TSSNRA SCT008 BKN020CB 01/M00 Q1017 R28L/290050 NOSIG=

17:35 сильная гроза со смешанными осадками. Нижняя граница облачности повышается.

SPECI ULLI 071736Z 35005MPS 310V030 2300 R28L/P2000U -TSSNRA SCT004 BKN020CB 01/M00 Q1017 R28L/290050 NOSIG RMK QBB120 OBST OBSC=

17:36 ослабление ветра северной четверти. Слабая гроза со смешанными осадками. Нижняя граница облачности 120м.

SPECI ULLI 071738Z 36005MPS 330V030 2200 1300NW TSSNRA SCT010 BKN018CB OVC040 01/00 Q1017 R28L/650545 NOSIG=

17:38 ухудшение видимости 1300 на северо-запад. Умеренная гроза со смешанными осадками.

SPECI ULLI 071740Z 36005MPS 1700 0900NW R28L/P2000U +TSSNRA SCT008 BKN018CB OVC040 01/00 Q1017 R28L/650545 NOSIG=

17:40 ухудшение видимости 900 на северо-запад, сильная гроза со смешанными осадками.

SPECI ULLI 071742Z 36005MPS 1300 1000NW R28L/P2000U TSSNRA SCT007 BKN018CB OVC040 01/00 Q1017 R28L/650545 NOSIG RMK OBST OBSC=

17:42 видимость 1000 на северо-запад, умеренная гроза со смешанными осадками

SPECI ULLI 071753Z 35003MPS 320V030 6000 -SHSNRA SCT006 BKN020CB BKN040 01/M00 Q1017 R28L/650545 NOSIG RMK OBST OBSC=

17:53 видимость повышается, слабый ливневый дождь со снегом, грозы нет.

METAR ULLI 071800Z 01002MPS 320V050 9999 FEW011 SCT020CB BKN040 01/00 Q1017 RETSRA RESHSN R28L/650545 NOSIG=

18:00 ветер северной четверти 2 м/с. видимость более 10км, без осадков.

METAR ULLI 071830Z VRB01MPS 9999 SCT020CB BKN043 01/00 Q1017 R28L/650545 NOSIG=

18:30 ветер переменный 1 м/с. видимость более 10км, без осадков.

Таким образом, подробный анализ погоды за период с 17.00 до 18.30 показал, что в этот период через а/п Пулково проходил вторичный холодный фронт 2-го рода. Основные признаки фронта: Интенсивные ливневые осадки, разворот ветра при приближении фронта с северо-восточного на юго-западный перед грозовым облаком. Затем повторный разворот ветра с юго-западного на северо-западный, потом северо-восточный, начало грозы – видимо, прохождение фронта. По описанию погоды можно предположить, что кучево-дождевое облако было многоячейковым – в описании погоды активные электрические процессы возникли и возобновлялись трижды.

После прохождения фронта гроза прекратилась, видимость улучшилась, осадки ослабли и затем прекратились. Ветер слабый северной четверти как перед фронтом. За 3 минуты до наблюдения грозы на аэродроме атмосферное давление повысилось на 1гПа (QNH).

Ниже представлены карты приземного анализа за 07.05.2024 15:00 и 18:00utc, карта АТ-850 07.05.2024г. за 12:00utc,

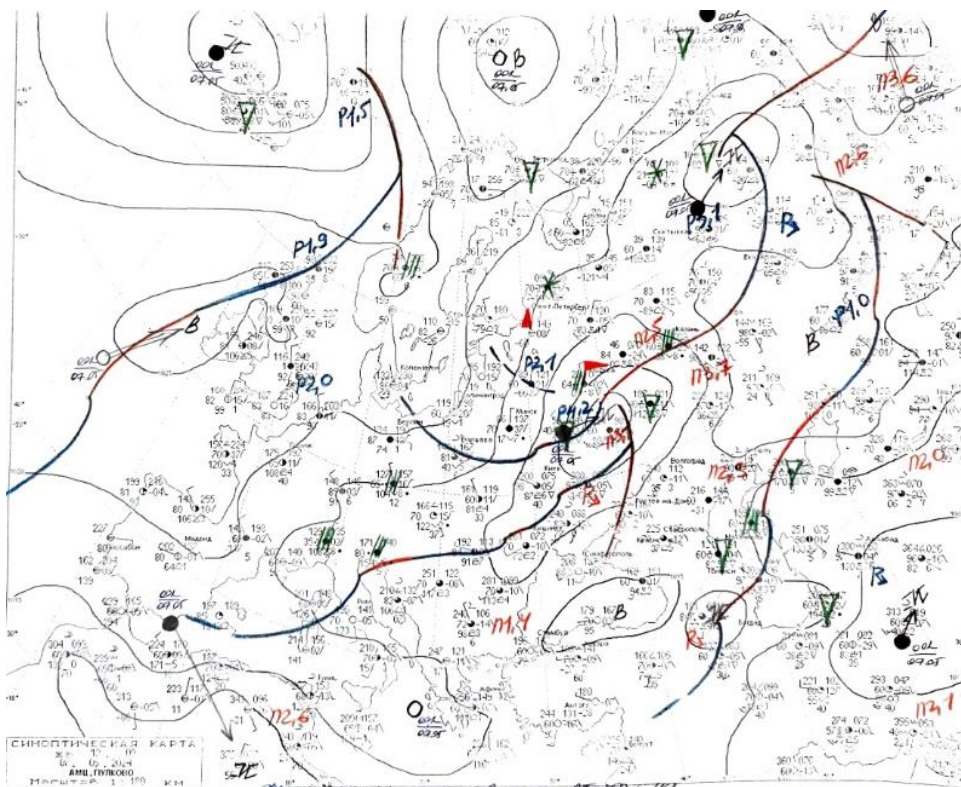


Рисунок 4.3.13 Карта приземного анализа 07.05.2024г. за 12:00utc

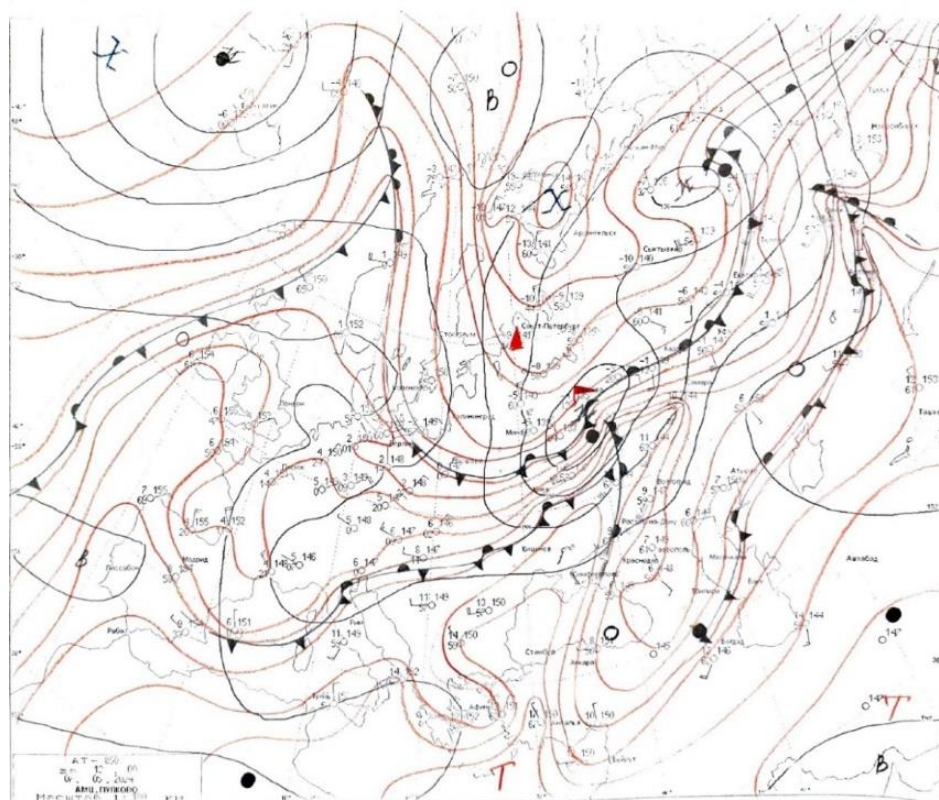


Рисунок 4.3.14 Карта АТ-850 07.05.2024г. за 12:00utc

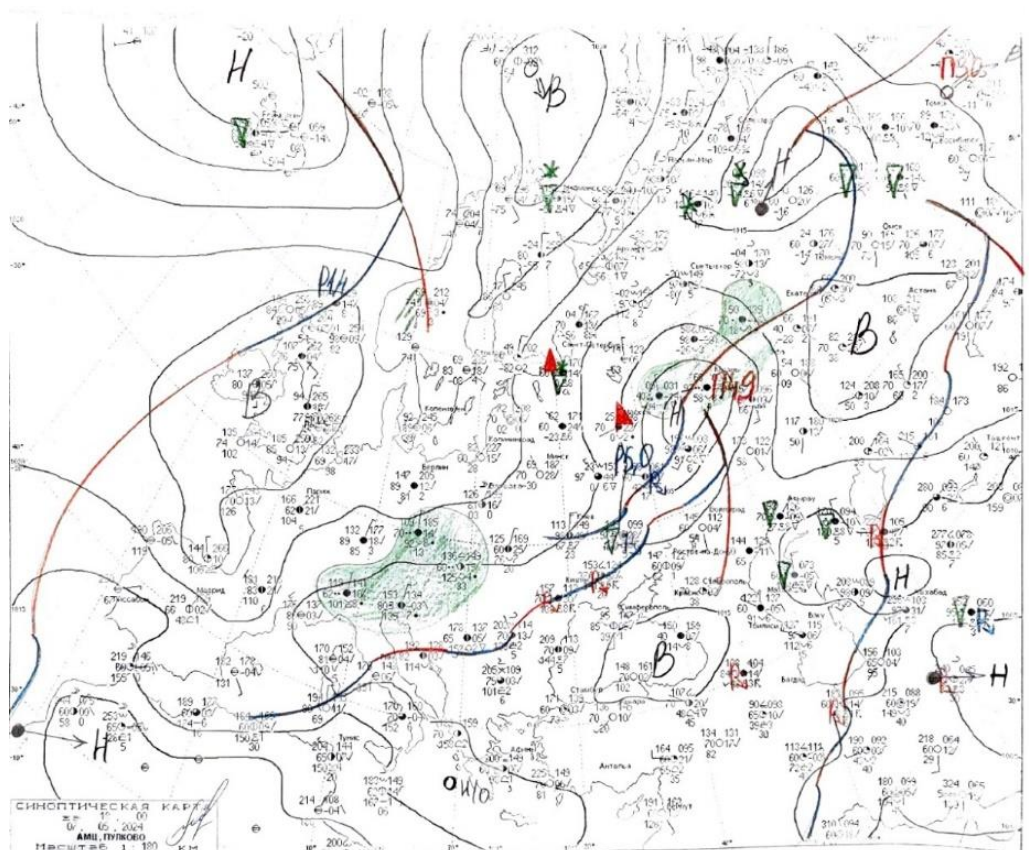
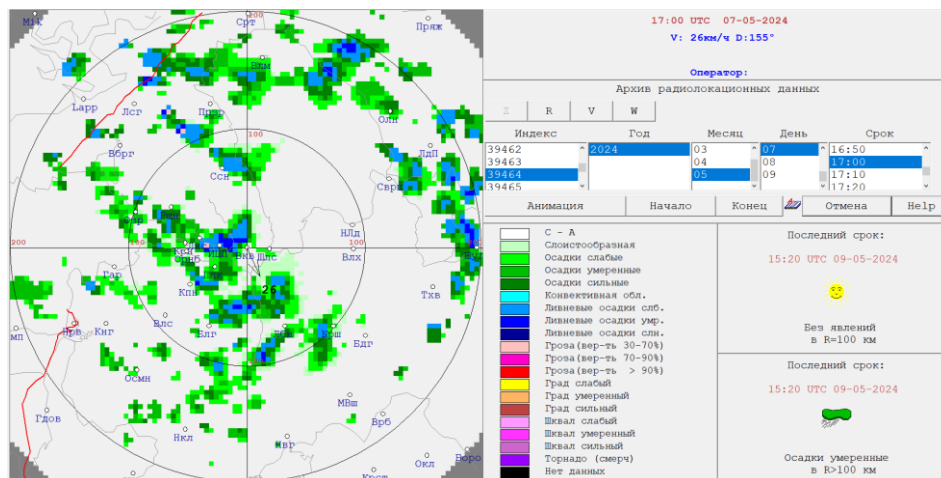
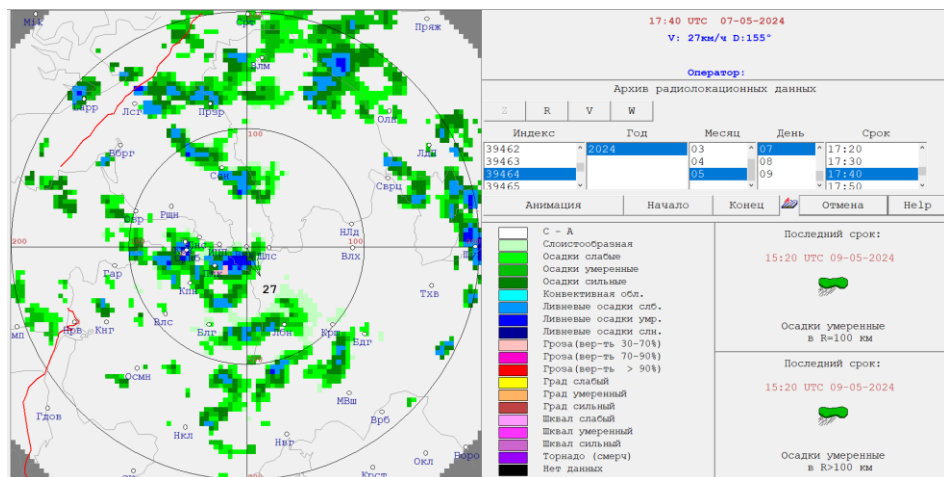
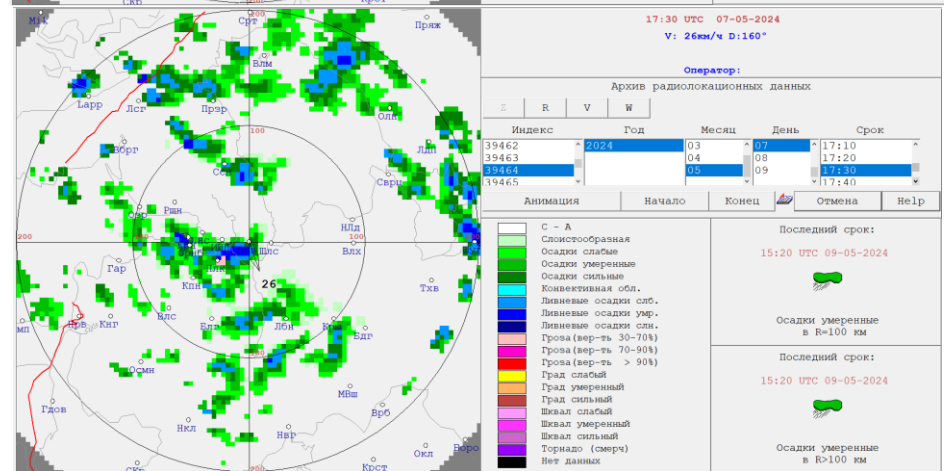
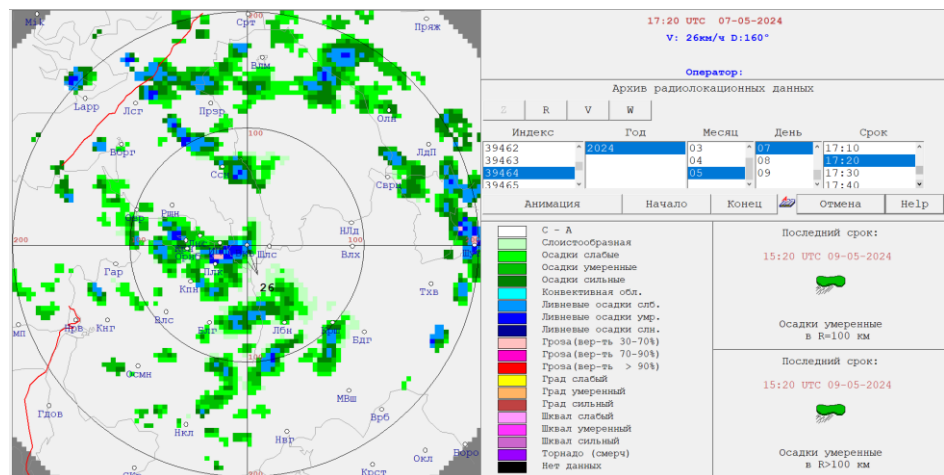
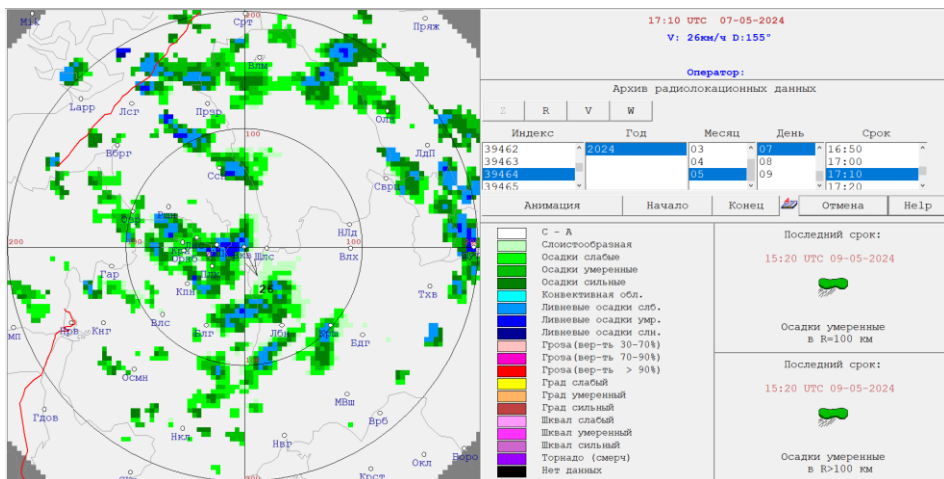


Рисунок 4.3.15 Карта приземного анализа 07.05.2024г. за 18:00utc

Ниже представлены данные ДМРЛ Воейково в период 07.05.2024 17:00 – 18:00utc с частотой каждые 10 минут. На всех изображениях ДМРЛ очаг грозы идентифицировался категорией «гроза (вероятность 30-70%)»





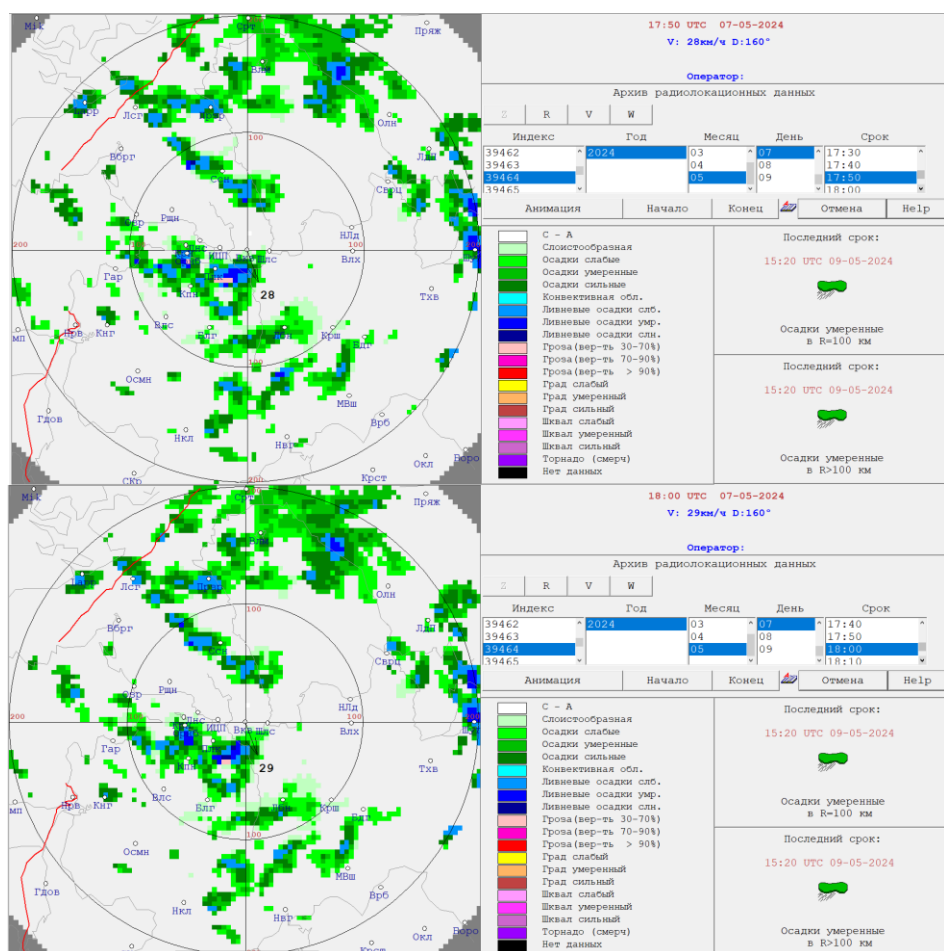


Рисунок 4.3.16 Данные ДМРЛ Воейково 07.05.2024 17:00-18:00utc

4.4 Анализ радиолокационных параметров грозовых облаков в Ленинградской области за 2024 год

Существуют радиолокационные критерии для определения вероятности гроз в различные сезоны. Эти критерии основаны на изменении фазы осадков в различные периоды, в том числе они зависят от температуры воздуха. Согласно [9], теплый период при температуре воздуха выше 3°C и высоте нулевой изотермы выше 0,5 км, при этом фаза осадков жидкая; холодный период при температуре ниже 1°C , осадки – твердые; переходный период при температуре в диапазоне от -1 до 3°C (включительно), а высота нулевой равна или меньше 0,5 км, осадки – смешанные и твердые.

В данной работе случаи разделялись тоже по значениям температуры воздуха у поверхности земли, градации выглядят следующим образом:

1 градация: от 0 до 14°C (не включительно) – отсутствие конвекции;
 2 градация: от 14 до 18°C (не включительно) – наличие конвекции, отсутствие развития внутримассовых гроз;

3 градация: от 18°C и выше – сильная конвекция и возможность формирования внутримассовых гроз.

Для каждой градации был посчитан критерий Y-параметр по следующей формуле:

$$Y = \lg Z_3 \cdot H_{\text{вго}} \quad (1)$$

где Z_3 - отражаемость на уровне -22°C, $H_{\text{вго}}$ – высота верхней границы облака.

Полученные результаты добавлены в общий архив, таблицы радиолокационных параметров для гроз для каждой градации (табл. 4.4, 4.5 и 4.6) представлены ниже, данные в таблице ранжированы по Y – параметру в порядке возрастания. Описание таблицы:

Дата, ВН и ВО – дата, время начала и окончания грозы, Пункт – пункт, где была зафиксирована гроза, ВВГО - Высота верхней границы облачности, Z1, Z2 (0), Z3 (-22) - отражаемость на трех уровнях – уровне под нижней границей облака и на уровнях изотерм 0 и -22°C, Твго - температура на верхней границе облака, Н(0), Н(-22), Нтрор - высоты уровней изотерм 0 и -22°C и уровня тропопаузы, Тв - температура воздуха у поверхности земли, Y - Y – параметр, $\Delta H = H_{\text{вг}} - H(-22)$ - Толщина слоя между уровнем изотермы -22°C и высотой верхней границы облака.

Таблица 4.4 Радиолокационные параметры для гроз, зафиксированных при температуре воздуха от 0 до 14°C

Дата	ВН	ВО	Пункт	ВВГО	Z1	Z2 (0)	Z3 (-22)	Твго	Н (-22)	ΔН	Тв	Y	Н(0)	Нтрор
3.04	8:10	9:05	Кронштадт	5.1	36.0	3.0	-26.0	-16.9	5.69	-0.59	0.3	-	2.55	11.33
23.10	8:21	9:08	Новая Ладога	4.4	17.0	22.0	8.0	-15.9	5.23	-0.83	8.3	3.97	1.69	10.73
7.05	16:56	17:00	СПб	3.5	30.0	46.5	21.0	-23.3	3.00	0.50	2.8	4.63	0.17	7.49
23.10	13:17	13:48	Кириши	5.2	25.5	23.5	13.5	-30.3	5.23	-0.03	8.8	5.88	1.69	10.73
7.05	17:30		Пулково	4.3	29.0	28.5	28.5	-26.9	3.00	1.30	2.8	6.26	0.17	7.49
22.04	18:36	19:10	СПб	5.9	38.0	26.0	17.0	-20.9	6.05	-0.15	6.9	7.26	2.49	10.47

7.05	17:30		Пулково	5.5	37.5	54.5	32.5	-36.5	3.00	2.50	2.8	8.32	0.17	7.49
30.10	16:10		Тихвин	6.5	25.5	25.5	21.5	-38.1	4.04	2.46	4.3	8.66	1.00	7.96
30.10	15:14	15:45	Кириши	8.0	9.5	19.0	15.5	-46.5	4.04	3.96	6.9	9.52	1.00	7.96
22.04	17:05	17:25	Волосово	6.6	50.5	42.0	28.0	-26.0	6.05	0.55	6.0	9.55	2.49	10.47
22.04	16:56	17:30	Белогорка	6.5	49.5	43.0	32.5	-25.4	6.05	0.45	7.7	9.83	2.49	10.47
22.04	17:33	18:46	Тихвин	7.3	43.0	43.0	25.0	-31.4	6.05	1.25	13.0	10.20	2.49	10.47
22.04	16:30	17:30	Кириши	7.0	28.5	39.5	30.0	-29.1	6.05	0.95	13.5	10.34	2.49	10.47
22.04	18:05	18:50	Шлиссельбург	6.6	20.0	25.5	38.0	-26.1	6.05	0.55	5.7	10.43	2.49	10.47
3.04	6:56	7:30	Белогорка	8.0	31.0	28.5	20.5	-39.9	5.69	2.31	1.0	10.49	2.55	11.33
10.06	8:51	9:15	Валаам	7.1	38.5	38.5	34.5	-39.0	5.15	1.95	7.2	10.92	1.94	9.81
10.06	5:05	5:36	Выборг	7.4	43.0	43.0	31.5	-40.5	5.15	2.25	12.5	11.09	1.94	9.81
22.04	17:15	17:38	Кингисепп	7.5	46.0	43.5	35.5	-32.9	6.05	1.45	5.9	11.63	2.49	10.47
26.03	11:53	12:30	Кингисепп	7.0	45.5	45.5	47.0	-51.5	3.60	3.40	6.3	11.70	0.00	8.21
2.09	3:21	4:45	Волосово	8.2	29.5	39.0	36.0	-36.0	6.55	1.65	12.0	12.76	3.21	9.72
22.04	17:00	17:25	Любань	8.0	40.0	52.5	43.5	-37.0	6.05	1.95	8.4	13.11	2.49	10.47
3.04	8:20	8:45	Ломоносов	10.4	20.0	15.0	19.0	-56.6	5.69	4.71	2.4	13.30	2.55	11.33
2.09	6:02	7:00	Волосово	8.8	44.5	45.5	36.0	-40.8	6.55	2.25	13.1	13.70	3.21	9.72
22.04	15:10	16:40	Николаевское	8.9	43.0	43.5	38.0	-45.1	6.05	2.85	11.1	14.06	2.49	10.47
31.03	23:46	0:10	Волосово	8.9	35.0	44.5	42.0	-48.8	5.35	3.55	8.6	14.45	2.17	10.52
1.04	4:35	5:30	Волосово	9.1	34.0	45.0	39.5	-50.9	5.58	3.52	10.0	14.53	2.48	10.80
31.03	23:04	23:25	Кингисепп	9.5	24.0	34.0	36.0	-53.5	5.35	4.15	8.2	14.78	2.17	10.52
22.04	17:00		Ефимовский	9.6	38.5	38.5	36.5	-51.8	6.05	3.55	13.0	15.00	2.49	10.47
3.04	7:53		ИЦП	10.4	42.5	37.0	31.5	-56.6	5.69	4.71	0.5	15.58	2.55	11.33
2.09	5:42	6:46	Лисий Нос	10.9	30.5	48.0	47.5	-50.0	6.55	4.35	13.4	18.28	3.21	9.72

Для каждой градации были построены графики зависимости Y -параметра от температуры воздуха у поверхности земли, зависимости высоты верхней границы облака от температуры воздуха у земли, повторяемости гроз от Y – параметра, накопленной повторяемости, зависимости температуры воздуха на верхней границе облака от ее высоты, также эти графики были построены для всей выборки и дополнительно общий график зависимости Y – параметра от толщины слоя генерации в облаке.

Результаты для первой градации представлены ниже на графиках (рис.4.13-4.17).

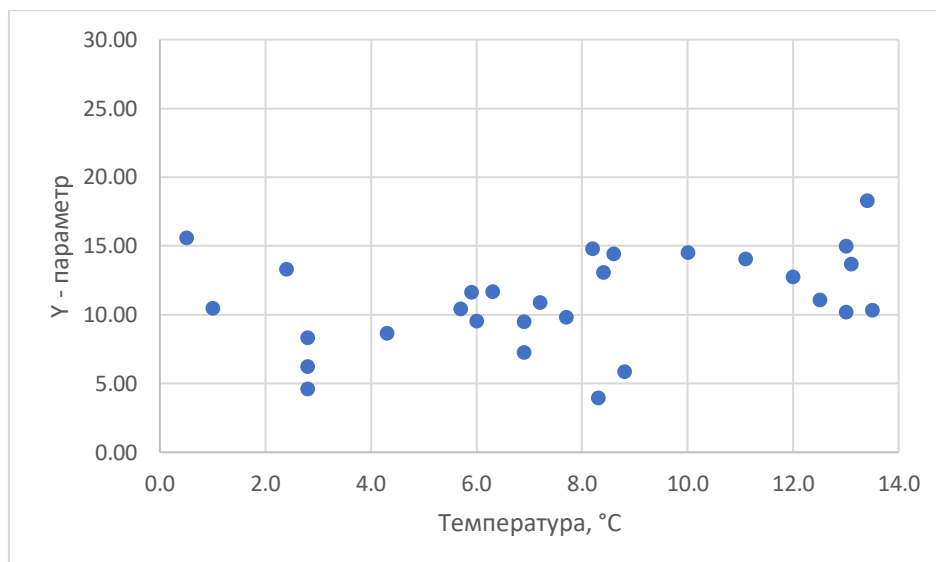


Рисунок 4.13 График зависимости Y - параметра от температуры воздуха у земли в диапазоне 0-13.9°C

По графику на рис. 4.13 видно, что для диапазона температур 0-13.9°C Y – параметр находится между значениями 3,97 и 18,28, явной зависимости не выявлено, однако, можно сказать, что значение Y - параметра увеличивается с увеличением температурой воздуха у поверхности земли.

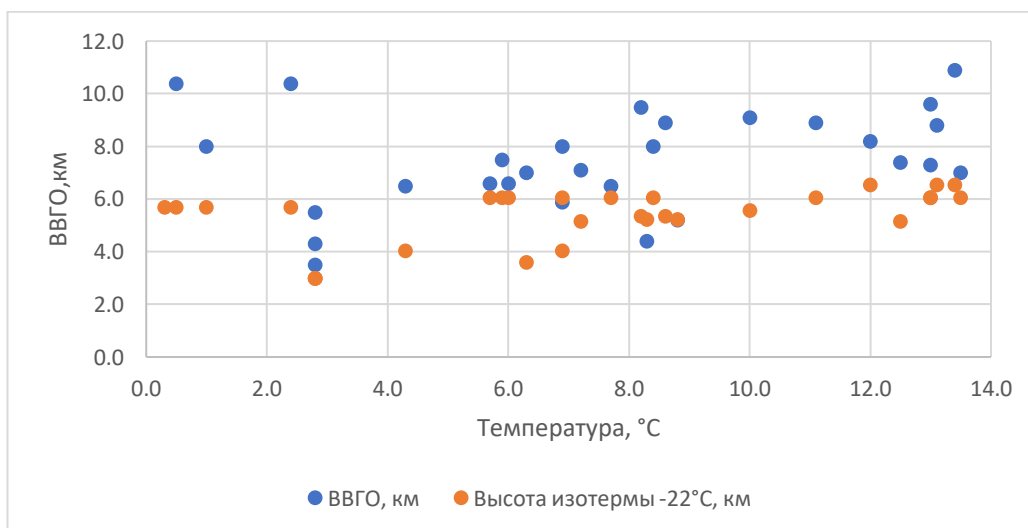


Рисунок 4.14 График зависимости высоты верхней границы облака от температуры воздуха у земли в диапазоне 0-13.9°C

По данным графика на рис 4.14 высота верхней границы облака увеличивается с увеличением температуры воздуха у земли, оранжевым цветом на графике выделена высота изотермы -22°C , она должна быть ниже ВВГО для того, чтобы в облаке существовал слой генерации заряда. ВВГО располагается на уровнях от 5,1 до 10,9 км. Высота изотермы -22°C лежит на высоте от 3 до 6,5 км.

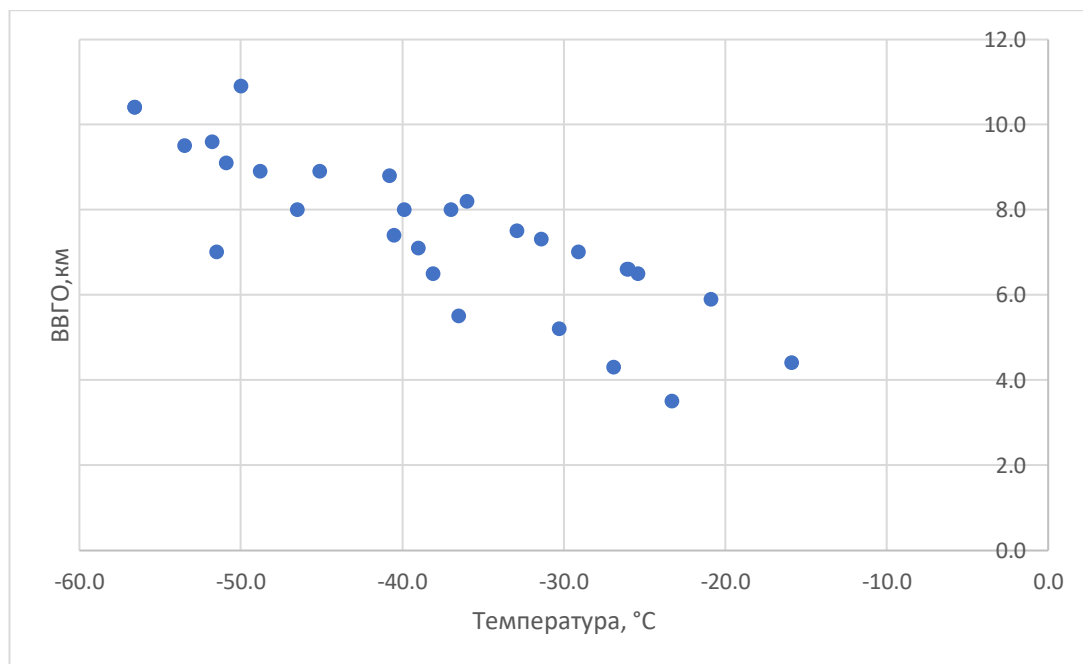


Рисунок 4.15 График зависимости температуры воздуха на верхней границе облака от ее высоты для температуры воздуха у земли $0-13.9^{\circ}\text{C}$

Очевидно, что с увеличением высоты верхней границы облака уменьшается температура воздуха на ней, хотя этот параметр зависит от стратификации атмосферы, также температуры ниже, чем значение -22°C . Для диапазона температур воздуха у земли $0-13.9^{\circ}\text{C}$ температура на ВВГО варьируется от -15.9 до 56.6°C .

На графике 4.16 представлена повторяемость факта грозы от Y – параметра, большая повторяемость находится в диапазоне значений от 10 до 12 и 14 до 15, минимальная повторяемость при значениях 3-8, 12, 15-19.

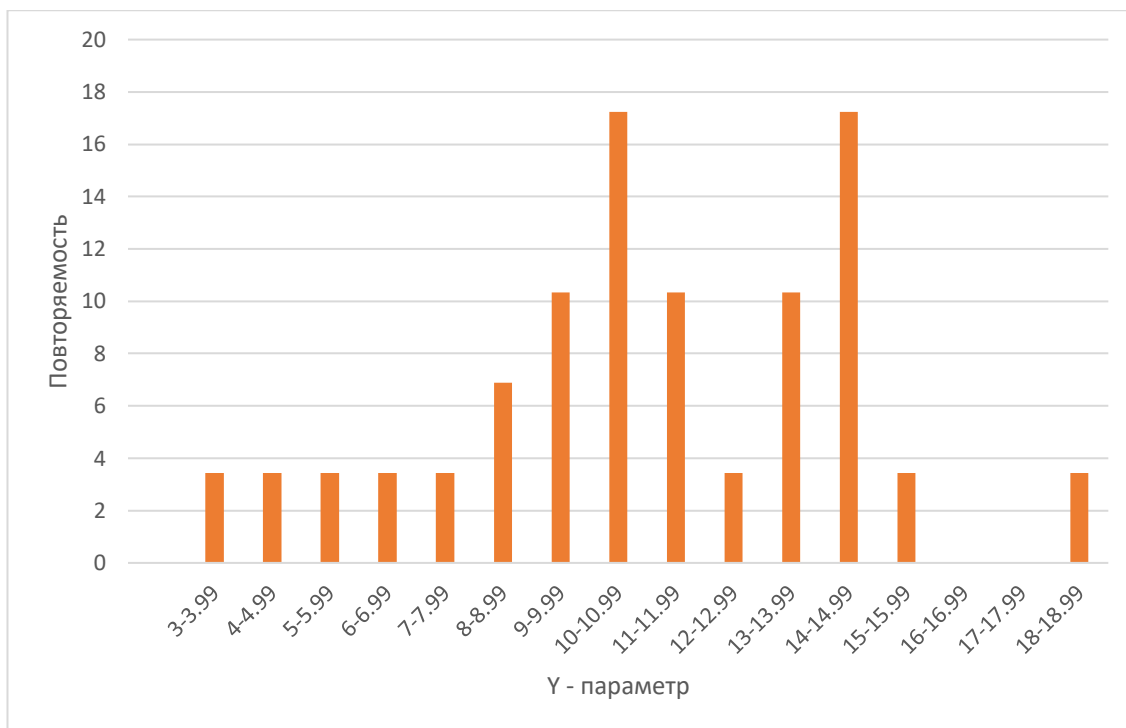


Рисунок 4.16 График повторяемости гроз от Y – параметра для температуры воздуха у земли в диапазоне 0-13.9°C

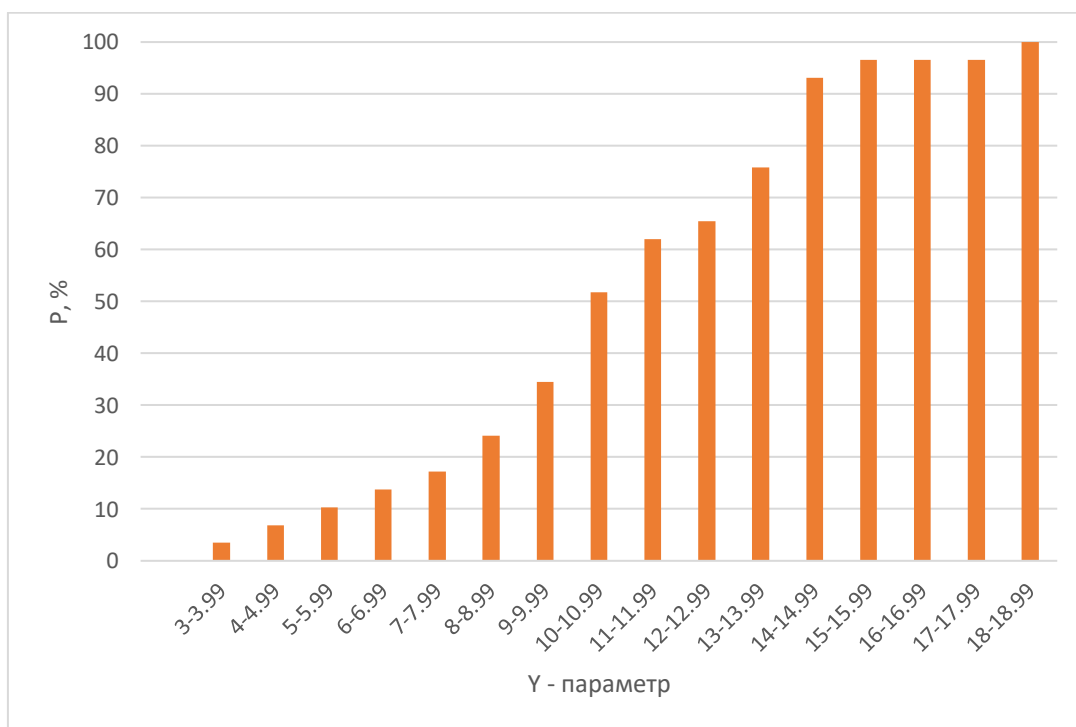


Рисунок 4.17 График накопленной повторяемости для температуры воздуха у земли в диапазоне 0-13.9°C

На рис. 4.17 представлена накопленная повторяемость Y – параметра, накопленная повторяемость выше 50% достигается от значения 10, выше 90% от 14.

Аналогичный анализ проведен для второй и третьей градации.

Таблица 4.5 Радиолокационные параметры для гроз, зафиксированных при температуре воздуха от 14 до 18°C

Дата	ВН	ВО	Пункт	ВВГ О	Z1	Z2 (0)	Z3 (- 22)	ТвГО	Н(- 22)	ΔН	Тв	Y	Н(0)	Нтро р
8.06	16:3 1	17:2 5	Винницы	6.7	29. 0	29.0	19.0	- 31.6	5.28	1.4 2	15. 7	8.57	2.09	8.93
12.0 6	6:12	6:35	Выборг	7.3	33. 0	39.5	31.5	- 28.6	6.35	0.9 5	15. 0	10.9 4	2.25	10.80
2.06	4:48	5:45	Озерки	7.9	52. 5	47.0	26.5	- 32.9	6.49	1.4 1	17. 6	11.2 4	3.48	11.04
12.0 6	6:02	6:36	Озерки	7.5	50. 5	46.0	33.0	- 31.3	6.35	1.1 5	15. 3	11.3 9	2.25	10.80
26.0 9	12:1 0	12:5 0	Ломоносов	8.5	25. 0	30.5	22.0	- 41.7	6.13	2.3 7	17. 6	11.4 1	2.34	11.43
8.06	11:3 0	12:2 0	СПб	8.0	38. 5	40.0	28.5	- 43.7	5.28	2.7 2	14. 0	11.6 4	2.09	8.93
3.06	8:38		Лодейное Поле	8.1	50. 5	45.5	27.5	- 34.0	6.60	1.5 0	17. 0	11.6 6	3.16	11.49
1.06	21:3 0	21:4 0	Лесогорский	7.8	36. 0	47.0	36.5	- 31.6	6.60	1.2 0	16. 4	12.1 9	3.14	11.64
2.06	21:4 0	22:1 5	Олонец	8.1	41. 5	43.0	33.0	- 34.7	6.49	1.6 1	16. 1	12.3 0	3.48	11.04
26.0 9	9:55	10:2 5	Николаевское	9.4	10. 5	25.5	23.0	- 48.9	6.13	3.2 7	17. 0	12.8 0	2.34	11.43
1.04	9:15	9:20	Шлиссельбург	8.0	11. 5	40.0	47.5	- 41.3	5.58	2.4 2	14. 1	13.4 1	2.48	10.80
31.0 7	17:0 6	17:3 5	Кириши	8.9	51. 0	52.5	33.5	- 43.4	6.30	2.6 0	17. 6	13.5 7	2.67	10.24
2.06	21:3 4	22:5 4	Лодейное Поле	9.4	40. 5	44.0	31.5	- 46.6	6.49	2.9 1	16. 5	14.0 8	3.48	11.04
3.07	11:2 3	12:0 5	Белогорка	9.5	48. 5	46.5	31.5	- 39.0	6.99	2.5 1	17. 0	14.2 3	5.55	11.69
1.07	14:5 6		Валаам	10.9	37. 5	17.0	21.5	- 53.0	7.36	3.5 4	17. 7	14.5 2	4.04	12.21
22.0 8	17:3 0		Николаевское	9.7	32. 5	41.0	33.0	- 40.0	7.51	2.1 9	16. 6	14.7 3	3.77	12.35
2.09	7:15	7:45	Кронштадт	9.4	36. 0	42.5	37.0	- 48.6	6.55	2.8 5	16. 5	14.7 4	3.21	9.72
2.08	8:14	10:3 2	Лодейное Поле	9.4	46. 5	46.5	38.0	- 47.2	6.35	3.0 5	16. 9	14.8 5	2.78	10.35
4.07	23:3 8	0:29	Валаам	10.5	35. 5	47.0	29.5	- 49.5	6.99	3.5 1	14. 8	15.4 3	5.55	11.69
26.0 9	12:1 3	12:4 0	Кронштадт	10.5	30. 5	32.0	33.5	- 55.8	6.13	4.3 7	17. 8	16.0 1	2.34	11.43
4.07	19:3 6		Кингисепп	10.4	36. 0	35.5	35.0	- 49.0	6.99	3.4 1	16. 2	16.0 6	5.55	11.69
4.07	21:2 5	22:3 5	Белогорка	11.7	39. 5	43.0	24.5	- 55.9	6.99	4.7 1	17. 2	16.2 5	5.55	11.69
2.09	6:32	7:15	Сосново	10.2	22. 0	43.5	44.5	- 50.0	6.55	3.6 5	14. 7	16.8 1	3.21	9.72
23.0 8	2:48	3:20	Лодейное Поле	11.0	53. 5	52.0	34.0	- 51.4	7.01	3.9 9	15. 0	16.8 5	3.54	11.88
2.09	5:33	6:27	ИЦП	11.5	35. 6	46.5	38.5	- 49.5	6.55	4.9 5	15. 6	18.2 3	3.21	9.72
4.07	20:4 0	21:5 0	Николаевское	11.8	36. 5	45.0	36.0	- 53.4	6.99	4.8 1	17. 2	18.3 6	5.55	11.69
2.06	4:49		Озерки	11.6	48. 0	48.5	44.0	- 50.8	6.60	5.0 0	17. 6	19.0 6	3.16	11.49
4.07	22:1 9	23:2 3	Сосново	13.0	49. 5	44.5	30.0	- 48.6	6.99	6.0 1	16. 3	19.2 0	5.55	11.69

3.06	3:49	5:02	Лодейное Поле	12.5	44.0	37.0	38.0	-50.3	6.60	5.90	16.3	19.75	3.16	11.49
2.09	5:28	6:30	Кронштадт	12.6	37.5	46.5	40.5	-49.4	6.55	6.05	14.8	20.25	3.21	9.72
10.04	18:02	18:18	Новая Ладога	12.7	44.0	49.0	43.0	-60.7	6.50	6.20	17.2	20.75	2.94	11.54

Результаты для второй градации представлены ниже на графиках (рис.4.18-4.22).

На рис. 4.18 представлен график зависимости Y - параметра от температуры воздуха у земли в диапазоне 14-17.9°C. Для данной градации Y находится между значениями 8,57 и 20,75.

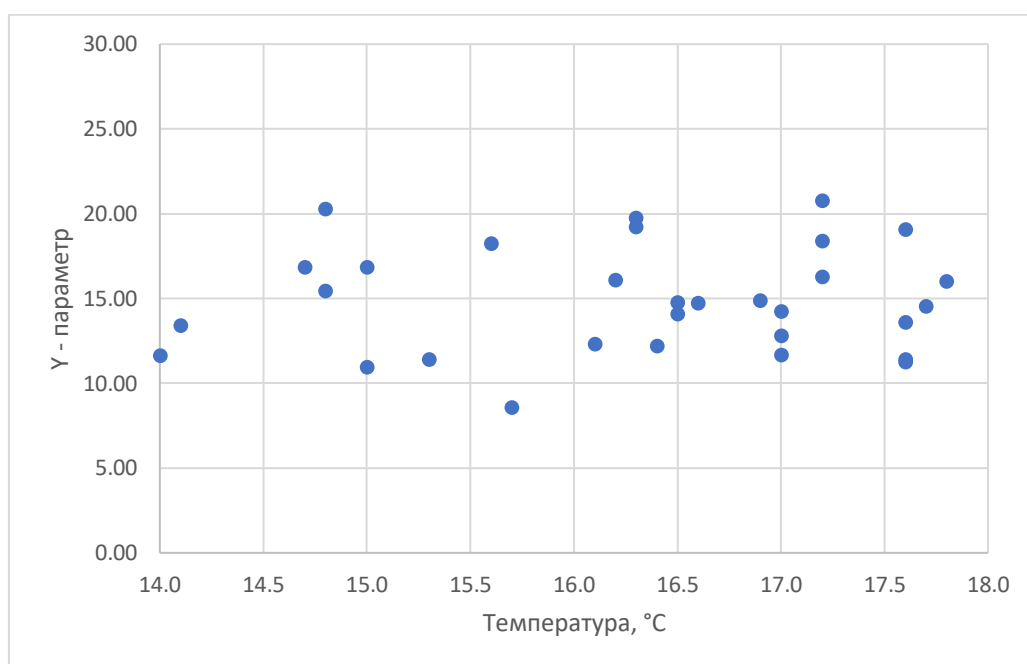


Рисунок 4.18 График зависимости Y - параметра от температуры воздуха у земли в диапазоне 14-17.9°C

Из рис. 4.19 высота ВГО для второй градации находится в диапазоне от 6,7 до 12,7 км, для проведения соответствия нанесены значения высоты изотермы - 22°C. Высота изотермы - 22°C варьируется от 5 до 7,5км.

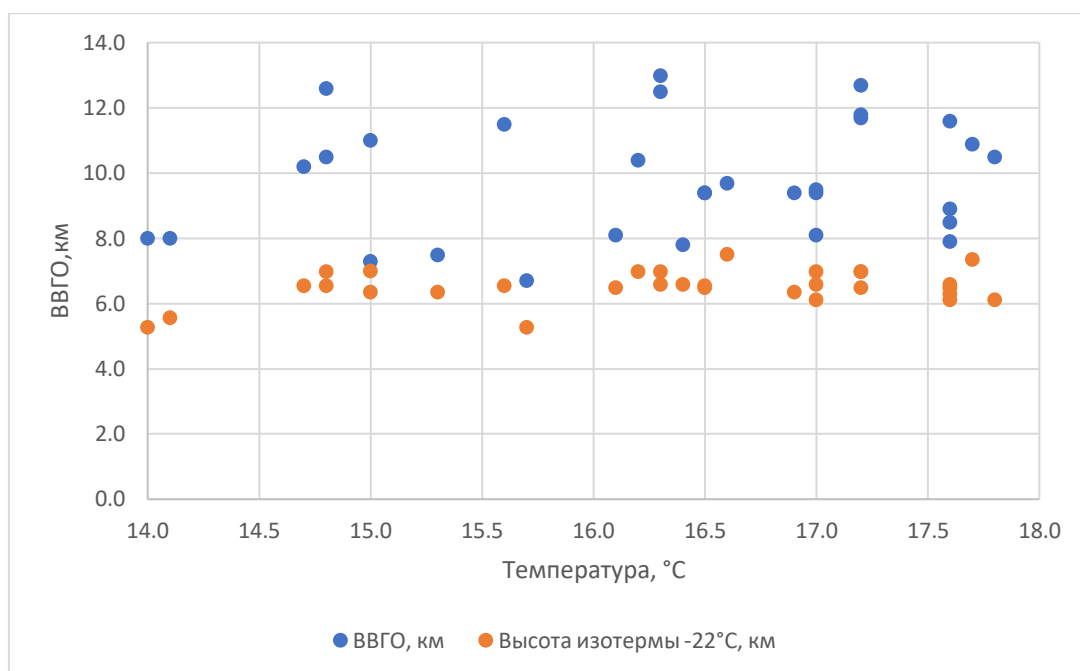


Рисунок 4.19 График зависимости высоты верхней границы облака от температуры воздуха у земли в диапазоне 14-17.9°C

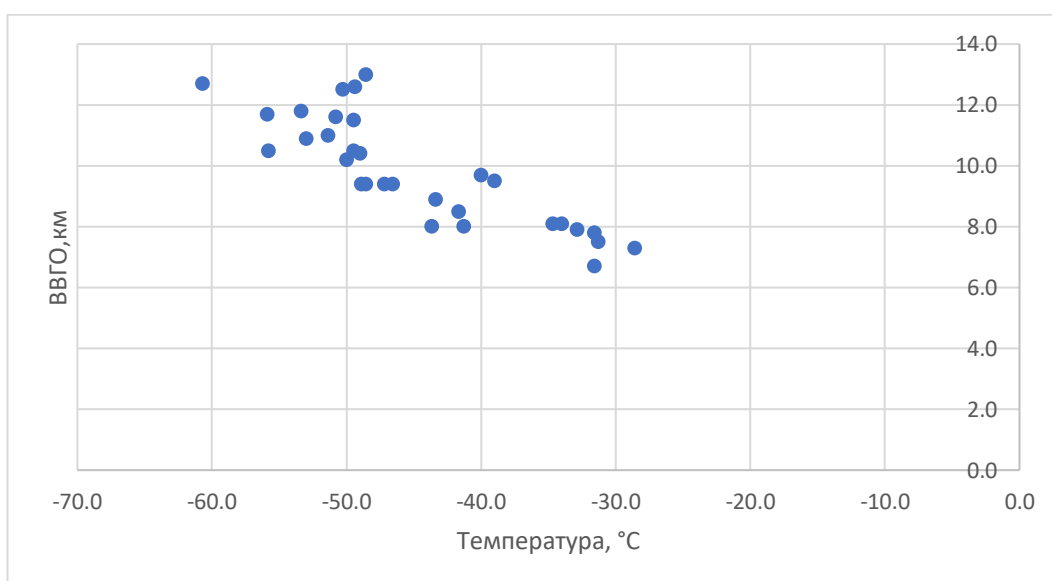


Рисунок 4.20 График зависимости температуры воздуха на верхней границе облака от ее высоты для температуры воздуха у земли в диапазоне 14-17.9°C

Для второй градации температура на ВВГО (рис. 4.20) располагается в диапазоне от -28,6 до -60.7 при ВВГО от 6,7 до 12,7 км, С повышением ВВГО температура на ней понижается.

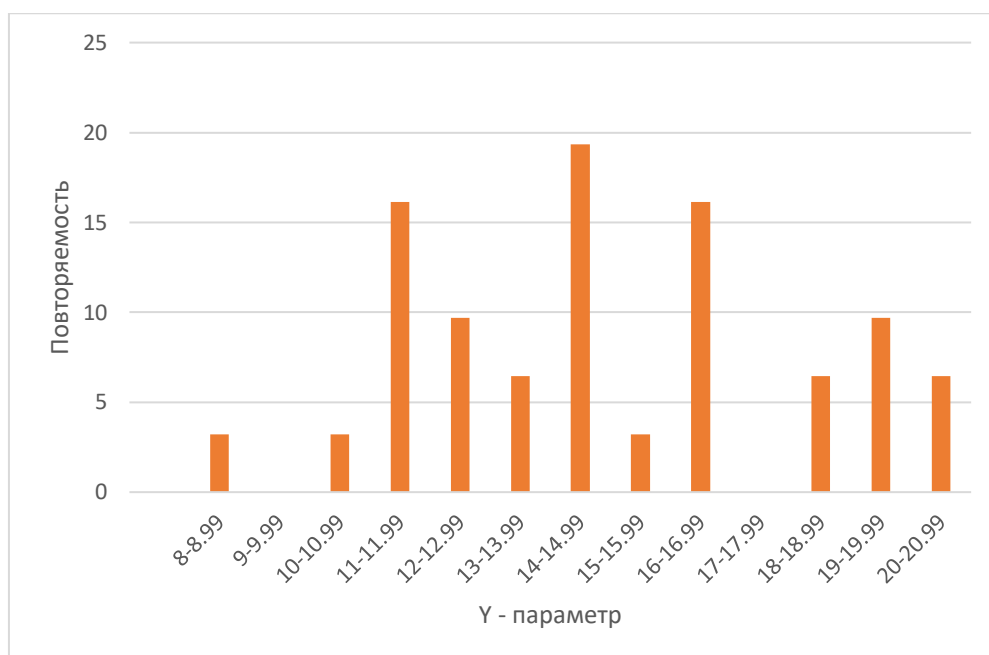


Рисунок 4.21 График повторяемости гроз от Y – параметра для температуры воздуха у земли в диапазоне 0-13.9°C

На рис. 4.21 представлен график повторяемости факта грозы от Y – параметра, большая приходится на значения 11-13, 14-15, 16-17, минимальная на 8-11, 17-18.

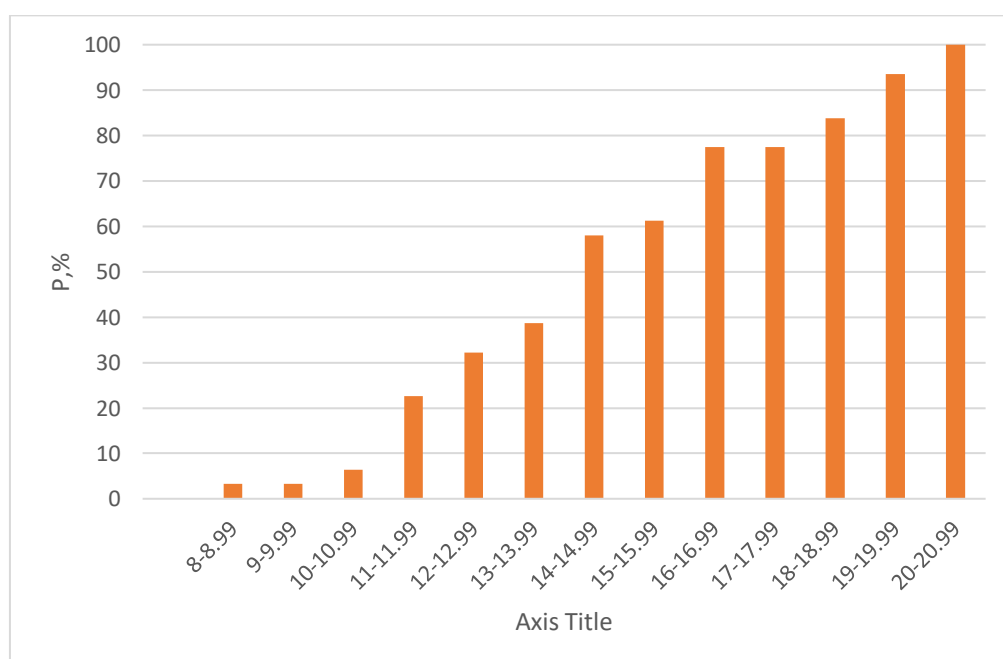


Рисунок 4.22 График накопленной повторяемости для температуры воздуха у земли в диапазоне 0-13.9°C

На рис. 4.22 представлена накопленной повторяемость Y – параметра, накопленная повторяемость выше 50% достигается от значения 14, выше 90% от 15.

Таблица 4.6 Радиолокационные параметры для гроз, зафиксированных при температуре воздуха от 18°C

Дата	ВН	ВО	Пункт	ВВГ О	Z1	Z2 (0)	Z3 (- 22)	Твго	Н(- 22)	ΔН	Тв	Y	Н(0)	Нтро р
12.0 6	10:0 4	10:2 0	Лудейное Поле	5.6	42. 0	42.0	19.0	- 17.9	6.35	- 0.75	20. 2	7.16	2.25	10.80
1.07	14:2 3	15:0 5	Сосново	7.3	6.5	7.5	10.5	- 21.3	7.36	- 0.06	27. 5	7.45	4.04	12.21
6.06	12:5 7		Лудейное Поле	7.4	40. 0	40.0	18.5	- 28.6	6.58	0.82	25. 0	9.38	3.04	11.12
31.0 7	13:1 2	13:3 3	Гогланд	7.0	44. 5	45.0	22.5	- 27.6	6.30	0.70	20. 8	9.47	2.67	10.24
12.0 6	12:1 1	12:3 7	Винницы	6.8	41. 0	41.0	26.0	- 19.9	6.35	0.45	20. 2	9.62	2.25	10.80
1.07	16:0 2	17:2 5	Выборг	9.4	11. 5	15.5	11.0	- 40.3	7.36	2.04	23. 8	9.79	4.04	12.21
20.0 7	7:40	9:08	Винницы	6.6	39. 0	39.0	31.0	- 24.3	6.31	0.29	19. 5	9.84	3.06	9.48
3.06	15:0 3	18:5 5	Тихвин	7.3	48. 0	46.5	30.0	- 25.8	6.60	0.70	23. 3	10.7 8	3.16	11.49
31.0 7	14:3 6	15:0 8	Гогланд	7.3	48. 5	50.5	32.0	- 30.0	6.30	1.00	19. 8	10.9 9	2.67	10.24
2.06	9:10	11:0 0	Ломоносов	7.5	41. 0	42.5	33.5	- 29.2	6.49	1.01	24. 0	11.4 4	3.48	11.04
6.06	8:47	9:16	Кингисепп	8.0	41. 5	45.0	27.0	- 33.1	6.58	1.42	20. 5	11.4 5	3.04	11.12
26.0 9	12:4 3	13:3 0	Лудейное Поле	7.7	45. 5	45.0	32.0	- 33.8	6.13	1.57	18. 0	11.5 9	2.34	11.43
17.0 6	13:1 5	13:3 5	Кингисепп	8.9	41. 5	45.0	20.5	- 36.7	6.98	1.92	19. 9	11.6 7	3.15	11.66
31.0 5	17:5 9		Озерки	7.6	42. 0	43.5	34.5	- 39.4	6.45	1.15	24. 3	11.6 9	2.94	11.12
31.0 7	9:16	9:45	Шлиссельбург	7.7	56. 0	43.0	36.5	- 33.4	6.30	1.40	18. 6	12.0 3	2.67	10.24
17.0 6	14:2 3	14:5 8	Кингисепп	9.1	42. 0	43.5	21.5	- 38.4	6.98	2.12	18. 2	12.1 3	3.15	11.66
22.0 8	21:2 0	21:4 1	ИЦП	10.8	38. 0	31.5	13.5	- 39.5	7.51	3.29	18. 8	12.2 1	3.77	12.35
6.06	13:2 4	14:3 7	СПб	9.9	39. 0	43.0	18.5	- 49.0	6.58	3.32	20. 0	12.5 5	3.04	11.12
3.06	10:4 9		Кингисепп	8.1	42. 0	41.5	35.5	- 32.7	6.60	1.50	20. 3	12.5 6	3.16	11.49
3.06	17:0 0		Ефимовская	7.9	52. 5	52.5	40.0	- 31.0	6.60	1.30	20. 0	12.6 6	3.16	11.49
3.07	13:0 2	13:3 5	Кириши	8.1	49. 0	45.5	37.0	- 28.9	6.99	1.11	18. 5	12.7 0	5.55	11.69
2.08	15:0 5	15:4 0	Выборг	8.2	49. 5	44.0	36.0	- 37.0	6.35	1.85	20. 0	12.7 6	2.78	10.35
6.06	9:36	10:2 9	Тихвин	8.3	49. 5	42.0	35.0	- 35.3	6.58	1.72	26. 1	12.8 2	3.04	11.12
25.0 9	15:5 1	16:1 8	Новая Ладога	8.6	47. 0	44.5	31.5	- 43.3	6.11	2.49	19. 3	12.8 9	2.79	11.53
1.07	13:5 8	15:0 2	Кингисепп	9.8	3.0	27.0	22.0	- 44.9	7.36	2.44	26. 0	13.1 6	4.04	12.21
2.08	9:20	9:55	Шлиссельбург	8.6	52. 5	57.5	35.5	- 40.4	6.35	2.25	21. 7	13.3 3	2.78	10.35
5.06	9:30	10:0 0	Новая Ладога	8.2	34. 5	52.5	42.5	- 36.2	6.49	1.71	22. 2	13.3 5	3.11	10.73
2.08	13:0 5	13:5 0	Новая Ладога	8.8	58. 0	47.5	33.5	- 42.1	6.35	2.45	22. 5	13.4 2	2.78	10.35
3.06	5:40		Лудейное Поле	8.8	42. 5	43.5	34.0	- 39.4	6.60	2.20	23. 6	13.4 8	3.16	11.49

19.0 7	11:4 0	11:5 5	Ломоносов	8.4	49. 0	50.0	42.0	- 34.4	5.85	2.55	22. 0	13.6 4	3.01	9.91
26.0 9	12:1 8	13:0 2	Винницы	9.4	16. 0	16.0	28.5	- 48.9	6.13	3.27	20. 6	13.6 8	2.34	11.43
1.07	17:2 7	18:0 6	Новая Ладога	12.5	27. 5	27.0	12.5	- 53.4	7.36	5.14	22. 3	13.7 1	4.04	12.21
1.07	16:4 5	17:3 0	Лесогорский	10.7	16. 0	22.5	19.5	- 51.9	7.36	3.34	24. 0	13.8 0	4.04	12.21
17.0 7	18:4 0		Кингисепп	9.1	50. 5	51.0	33.0	- 31.5	7.51	1.59	21. 7	13.8 2	4.02	11.44
6.06	12:0 6	13:0 0	Белогорка	9.7	25. 5	45.0	27.0	- 47.1	6.58	3.12	18. 7	13.8 8	3.04	11.12
2.06	11:5 2	14:3 5	Новая Ладога	8.8	50. 0	45.5	39.0	- 39.8	6.49	2.31	23. 3	14.0 0	3.48	11.04
2.09	7:10	7:35	Ломоносов	8.9	34. 0	38.5	38.0	- 43.0	6.55	2.35	19. 5	14.0 6	3.21	9.72
4.06	12:1 0	14:0 9	Тихвин	8.7	52. 5	54.0	42.0	- 40.0	6.67	2.03	24. 7	14.1 2	3.11	11.10
22.0 8	18:5 7	19:2 5	Кингисепп	10.2	45. 0	32.0	24.5	- 43.5	7.51	2.69	18. 1	14.1 7	3.77	12.35
2.06	18:0 6		Ефимовский	9.3	36. 5	36.5	34.0	- 42.3	6.49	2.81	22. 0	14.2 4	3.48	11.04
22.0 8	18:3 0		Любань	8.8	31. 5	52.0	43.0	- 32.3	7.51	1.29	21. 7	14.3 7	3.77	12.35
4.06	8:35	12:1 5	Кириши	9.4	50. 5	45.5	34.0	- 44.0	6.67	2.73	21. 3	14.4 0	3.11	11.10
3.06	11:0 5	12:2 0	Волосово	9.7	50. 0	43.5	30.5	- 46.8	6.60	3.10	18. 5	14.4 0	3.16	11.49
20.0 7	13:5 0	14:1 5	Винницы	9.2	49. 0	49.0	37.0	- 46.1	6.31	2.89	22. 7	14.4 3	3.06	9.48
3.07	10:5 0	11:0 5	Волосово	9.4	47. 0	37.0	34.5	- 38.2	6.99	2.41	18. 0	14.4 6	5.55	11.69
6.06	14:3 0	16:2 7	Лудейное Поле	9.3	44. 0	44.5	36.0	- 43.3	6.58	2.72	23. 7	14.4 7	3.04	11.12
1.06	15:0 3	16:0 5	Лудейное Поле	8.9	53. 5	52.0	42.5	- 41.1	6.60	2.30	20. 4	14.4 9	3.14	11.64
2.06	8:50		Лесогорский	9.0	45. 0	45.0	42.5	- 40.6	6.49	2.51	24. 8	14.6 6	3.48	11.04
2.06	16:5 5	17:3 0	Белогорка	9.3	55. 5	54.5	38.5	- 42.3	6.49	2.81	20. 5	14.7 4	3.48	11.04
20.0 7	16:0 0	16:3 0	Винницы	8.9	53. 0	53.0	46.0	- 43.5	6.31	2.59	21. 7	14.8 0	3.06	9.48
1.07	16:0 9	17:4 5	Шлиссельбург	11.2	43. 0	36.0	21.0	- 54.6	7.36	3.84	29. 0	14.8 1	4.04	12.21
6.06	14:0 3	15:1 5	Шлиссельбург	9.4	57. 5	48.5	38.0	- 44.3	6.58	2.82	19. 0	14.8 5	3.04	11.12
31.0 5	12:4 5	13:0 4	Кингисепп	9.6	48. 0	46.0	36.0	- 47.5	6.45	3.15	27. 5	14.9 4	2.94	11.12
2.06	11:5 0	14:3 5	Лесогорский	9.3	44. 5	48.5	40.5	- 42.3	6.49	2.81	20. 6	14.9 5	3.48	11.04
1.08	11:4 5	14:1 5	Лесогорский	9.8	37. 5	39.0	35.0	- 50.1	6.13	3.67	19. 8	15.1 3	2.80	9.93
3.06	12:1 6		Винницы	9.9	42. 5	42.5	35.5	- 48.6	6.60	3.30	18. 7	15.3 5	3.16	11.49
3.06	9:06	9:47	Выборг	9.9	39. 0	40.0	35.5	- 48.6	6.60	3.30	25. 1	15.3 5	3.16	11.49
1.08	12:0 8	12:3 0	Винницы	9.5	48. 0	48.0	41.5	- 49.5	6.13	3.37	19. 6	15.3 7	2.80	9.93
2.08	13:2 9	17:2 0	СПб	9.1	54. 0	61.0	51.0	- 44.7	6.35	2.75	22. 0	15.5 4	2.78	10.35
19.0 7	14:4 5	15:2 5	Николаевское	9.5	41. 5	56.5	43.5	- 40.9	2.75	6.75	20. 1	15.5 7	1.09	6.83
1.06	9:06		Лудейное Поле	9.7	53. 5	49.5	40.5	- 48.2	6.60	3.10	29. 0	15.5 9	3.14	11.64
2.08	10:1 9	10:4 5	Сосново	9.9	51. 0	49.0	38.5	- 51.3	6.35	3.55	21. 0	15.7 0	2.78	10.35
4.07	22:0 4	23:2 0	СПб	10.3	44. 0	50.0	34.5	- 51.9	6.99	3.31	18. 7	15.8 4	5.55	11.69
17.0 7	20:3 5	21:4 0	Волосово	10.8	29. 0	26.5	29.5	- 50.1	7.51	3.29	20. 4	15.8 7	4.02	11.44
31.0 7	11:0 2	12:0 2	Кириши	9.8	51. 0	60.5	42.0	- 50.4	6.30	3.50	18. 1	15.9 1	2.67	10.24
3.07	10:2 0	10:4 0	Николаевское	10.3	44. 5	50.0	35.3	- 41.4	6.99	3.31	19. 8	15.9 4	5.55	11.69
3.06	8:40		Винницы	10.0	40. 5	40.5	40.0	- 48.6	6.60	3.40	24. 4	16.0 2	3.16	11.49

1.06	10:0 2		Винницы	10.4	42. 5	42.5	35.0	- 54.6	6.60	3.80	24. 0	16.0 6	3.14	11.64
6.06	10:5 6	12:1 0	Николаевское	10.2	32. 0	40.5	38.5	- 51.8	6.58	3.62	18. 4	16.1 7	3.04	11.12
1.06	20:4 7	21:2 0	Гогланд	10.4	45. 5	46.0	36.5	- 54.6	6.60	3.80	19. 0	16.2 5	3.14	11.64
6.06	14:4 0		Кириши	10.3	49. 0	53.5	39.0	- 52.7	6.58	3.72	21. 5	16.3 9	3.04	11.12
1.07	18:3 0	19:1 0	Лодейное Поле	12.3	16. 5	15.5	21.5	- 55.2	7.36	4.94	27. 0	16.3 9	4.04	12.21
31.0 5	12:4 0	13:4 0	Волосово	10.1	52. 0	50.5	42.5	- 51.6	6.45	3.65	25. 0	16.4 5	2.94	11.12
20.0 7	17:3 0	18:1 5	Ломоносов	10.4	44. 5	41.0	39.0	- 45.1	6.31	4.09	21. 7	16.5 5	3.06	9.48
2.06	17:3 8	18:4 7	Тихвин	10.5	39. 5	47.5	38.0	- 55.0	6.49	4.01	19. 2	16.5 9	3.48	11.04
4.06	10:0 3	12:1 1	Винницы	10.2	52. 5	52.5	42.5	- 52.0	6.67	3.53	21. 0	16.6 1	3.11	11.10
6.06	12:5 7	13:4 4	Тихвин	10.7	46. 0	46.5	36.5	- 55.4	6.58	4.12	24. 3	16.7 2	3.04	11.12
1.08	13:1 0	14:2 0	Выборг	10.6	36. 0	48.0	38.0	- 45.4	6.13	4.47	19. 4	16.7 5	2.80	9.93
20.0 7	11:4 5		Ломоносов	11.3	38. 5	38.0	30.5	- 43.0	6.31	4.99	23. 2	16.7 7	3.06	9.48
1.07	16:5 5	17:0 3	Кириши	12.5	20. 0	22.5	22.0	- 53.4	7.36	5.14	25. 0	16.7 8	4.04	12.21
31.0 7	16:5 9	17:1 0	Кингисепп	10.4	49. 0	46.5	42.0	- 53.0	6.30	4.10	18. 2	16.8 8	2.67	10.24
2.06	10:4 4	11:3 9	ИЦП	10.7	59. 0	38.5	39.0	- 56.4	6.49	4.21	24. 6	17.0 2	3.48	11.04
2.08	13:5 5	14:3 0	Сосново	10.9	56. 5	48.5	37.0	- 50.6	6.35	4.55	19. 5	17.0 9	2.78	10.35
20.0 7	10:5 8	12:4 7	Лодейное Поле	10.9	48. 5	46.5	38.0	- 43.1	6.31	4.59	20. 0	17.2 2	3.06	9.48
4.06	10:0 8	12:0 3	Кингисепп	10.6	50. 5	51.0	43.0	- 53.4	6.67	3.93	22. 4	17.3 1	3.11	11.10
31.0 5	13:3 0	15:1 0	Тихвин	10.9	44. 0	46.5	40.5	- 57.6	6.45	4.45	25. 6	17.5 2	2.94	11.12
4.06	8:16	9:33	Сосново	10.9	56. 0	53.0	41.0	- 54.3	6.67	4.23	21. 8	17.5 8	3.11	11.10
2.08	12:5 6	13:4 0	Волосово	11.3	47. 0	45.0	37.0	- 48.0	6.35	4.95	18. 1	17.7 2	2.78	10.35
1.06	17:4 2	21:4 5	Гогланд	11.2	43. 0	45.5	38.5	- 60.3	6.60	4.60	21. 7	17.7 6	3.14	11.64
31.0 5	14:1 1	14:4 7	Кингисепп	11.2	38. 5	42.5	38.5	- 59.5	6.45	4.75	27. 5	17.7 6	2.94	11.12
1.07	18:1 3	19:0 0	Тихвин	12.6	16. 0	29.0	26.5	- 52.6	7.36	5.24	27. 0	17.9 3	4.04	12.21
25.0 9	14:3 7	15:5 0	Шлиссельбург	10.7	40. 0	55.0	48.5	- 59.2	6.11	4.59	18. 0	18.0 4	2.79	11.53
6.06	11:1 0	12:4 0	Ломоносов	11.4	48. 0	41.0	38.5	- 53.2	6.58	4.82	19. 9	18.0 7	3.04	11.12
6.06	9:50	12:4 5	Волосово	10.9	44. 5	49.5	46.0	- 56.5	6.58	4.32	18. 7	18.1 2	3.04	11.12
5.06	13:0 6	16:5 8	Тихвин	11.5	40. 0	38.0	38.0	- 52.6	6.49	5.01	25. 0	18.1 7	3.11	10.73
31.0 5	15:5 2	17:1 7	Кингисепп	11.2	51. 0	53.0	42.0	- 59.5	6.45	4.75	24. 5	18.1 8	2.94	11.12
13.0 9	7:10	8:05	Гогланд	11.3	53. 0	51.5	41.0	- 56.2	7.08	4.22	18. 8	18.2 2	3.48	12.54
1.07	14:2 5	15:3 5	Николаевское	12.9	1.0	28.0	26.0	- 52.6	7.36	5.54	22. 7	18.2 5	4.04	12.21
31.0 7	12:3 7	13:5 6	Тихвин	11.9	48. 0	43.0	34.5	- 43.8	6.30	5.60	19. 0	18.3 0	2.67	10.24
31.0 5	15:0 7	15:4 3	Новая Ладога	11.1	47. 5	51.5	45.0	- 59.8	6.45	4.65	23. 7	18.3 5	2.94	11.12
31.0 5	16:2 0	17:0 5	Николаевское	11.3	45. 0	51.0	42.5	- 59.2	6.45	4.85	23. 0	18.4 0	2.94	11.12
4.07	21:2 1	23:1 0	Шлиссельбург	11.8	22. 0	42.5	37.0	- 49.6	6.99	4.81	19. 0	18.5 0	5.55	11.69
1.06	10:5 8		Выборг	11.1	50. 5	55.5	47.0	- 59.7	6.60	4.50	26. 9	18.5 6	3.14	11.64
2.08	11:3 0		Лесогорский	11.2	48. 0	53.0	45.5	- 48.6	6.35	4.85	18. 5	18.5 7	2.78	10.35
2.08	10:4 1	11:0 9	СПб	12.0	49. 0	51.5	37.0	- 45.0	6.35	5.65	22. 0	18.8 2	2.78	10.35

20.0 7	15:2 1	16:0 0	Шлиссельбург	11.5	50. 4	40.0	43.5	- 43.0	6.31	5.19	21. 2	18.8 4	3.06	9.48
2.06	15:0 5	16:0 0	Ломоносов	12.1	50. 0	50.5	36.5	- 52.0	6.49	5.61	30. 1	18.9 0	3.48	11.04
17.0 7	18:3 3	19:3 0	Озерки	12.6	40. 0	48.5	32.5	- 50.3	7.51	5.09	25. 3	19.0 5	4.02	11.44
31.0 5	14:1 5	16:2 5	Волосово	11.9	25. 0	38.5	40.0	- 55.3	6.45	5.45	23. 0	19.0 6	2.94	11.12
31.0 5	11:4 4	12:0 8	Кингисепп	11.5	48. 0	48.5	45.5	- 58.6	6.45	5.05	27. 6	19.0 7	2.94	11.12
5.06	12:1 8	13:5 6	Новая Ладога	11.7	39. 0	42.0	43.0	- 51.6	6.49	5.21	23. 3	19.1 1	3.11	10.73
4.06	11:2 1	12:1 5	Волосово	11.5	48. 5	61.0	46.5	- 53.0	6.67	4.83	21. 0	19.1 8	3.11	11.10
2.08	10:0 6	11:0 5	Волосово	11.6	40. 5	61.5	47.5	- 46.1	6.35	5.25	18. 3	19.4 5	2.78	10.35
19.0 7	13:5 5	14:4 0	Новая Ладога	12.1	43. 5	49.0	40.5	- 45.0	4.30	7.80	22. 0	19.4 5	2.05	8.37
2.07	17:0 0	18:1 0	Ефимовская	12.5	45. 0	45.0	36.0	- 51.5	6.88	5.62	20. 0	19.4 5	3.45	11.34
31.0 5	22:4 9	23:2 3	Лодейное Поле	11.7	48. 5	54.5	46.5	- 58.0	6.45	5.25	18. 0	19.5 1	2.94	11.12
1.06	14:4 4	15:3 5	Новая Ладога	11.4	57. 0	52.5	52.0	- 58.3	6.60	4.80	28. 6	19.5 6	3.14	11.64
18.0 7	10:4 0	12:0 0	Тихвин	12.4	38. 5	44.5	39.0	- 46.8	7.40	5.00	21. 0	19.7 3	3.97	11.45
2.06	13:4 5	16:1 5	Шлиссельбург	12.6	53. 5	39.5	37.0	- 50.9	6.49	6.11	19. 5	19.7 6	3.48	11.04
2.08	11:3 1	12:4 7	Тихвин	12.6	50. 5	48.5	37.5	- 45.3	6.35	6.25	21. 5	19.8 3	2.78	10.35
1.07	15:4 8	16:2 4	СПб	14.4	30. 0	20.5	25.5	- 50.9	7.36	7.04	28. 5	20.2 5	4.04	12.21
2.06	9:03	9:37	Белогорка	11.9	48. 0	51.0	50.5	- 50.6	6.49	5.41	24. 2	20.2 7	3.48	11.04
20.0 7	14:0 0	15:0 2	СПб	13.6	57. 0	44.5	31.5	- 45.6	6.31	7.29	20. 4	20.3 8	3.06	9.48
17.0 7	17:4 7		Кингисепп	12.3	44. 0	50.0	45.5	- 49.0	7.51	4.79	23. 1	20.3 9	4.02	11.44
22.0 8	17:1 1		Белогорка	12.1	39. 5	52.5	49.5	- 58.9	7.51	4.59	20. 2	20.5 0	3.77	12.35
31.0 5	19:1 5	21:4 7	Лодейное Поле	11.8	48. 0	56.5	55.0	- 56.9	6.45	5.35	21. 8	20.5 4	2.94	11.12
17.0 7	18:2 5	19:0 7	Выборг	12.6	53. 5	52.5	43.0	- 50.3	7.51	5.09	20. 3	20.5 8	4.02	11.44
3.06	11:2 6		Кингисепп	12.8	42. 5	51.5	41.0	- 49.3	6.60	6.20	18. 6	20.6 4	3.16	11.49
1.06	13:3 0	14:1 4	Кириши	13.2	49. 5	45.5	37.0	- 50.0	6.60	6.60	25. 3	20.7 0	3.14	11.64
31.0 5	13:3 0	15:0 5	Белогорка	12.0	50. 5	59.0	54.0	- 53.9	6.45	5.55	25. 9	20.7 9	2.94	11.12
2.08	8:45	12:2 0	Выборг	12.3	50. 5	55.5	51.0	- 45.1	6.35	5.95	21. 5	21.0 0	2.78	10.35
1.06	20:1 5	21:4 5	Гогланд	12.7	49. 0	51.0	46.0	- 50.6	6.60	6.10	19. 6	21.1 2	3.14	11.64
4.07	22:4 0	23:2 4	Винницы	12.5	50. 0	50.0	49.0	- 51.2	6.99	5.51	18. 3	21.1 3	5.55	11.69
2.06	11:0 2	12:2 5	Сосново	12.8	51. 0	56.0	45.5	- 50.3	6.49	6.31	23. 4	21.2 2	3.48	11.04
1.06	14:4 9	17:3 4	Тихвин	13.0	43. 5	48.5	43.0	- 50.2	6.60	6.40	27. 5	21.2 4	3.14	11.64
1.06	15:1 0	16:0 5	Шлиссельбург	13.3	61. 0	46.5	41.0	- 49.9	6.60	6.70	23. 8	21.4 5	3.14	11.64
22.0 8	20:4 4	21:5 0	Шлиссельбург	14.2	40. 5	37.5	33.0	- 53.2	7.51	6.69	18. 5	21.5 6	3.77	12.35
20.0 7	14:4 5	16:2 5	Ломоносов	13.2	50. 5	56.0	44.0	- 45.0	6.31	6.89	24. 6	21.6 9	3.06	9.48
1.06	15:4 2	16:1 0	СПб	13.3	51. 5	50.0	44.5	- 49.9	6.60	6.70	26. 0	21.9 2	3.14	11.64
3.06	14:4 7	15:5 5	Лодейное Поле	13.2	48. 5	48.5	46.0	- 49.0	6.60	6.60	24. 0	21.9 5	3.16	11.49
31.0 8	11:4 6	12:4 0	Сосново	12.4	51. 5	59.0	59.5	- 44.4	7.10	5.30	21. 8	22.0 0	4.27	12.29
1.06	11:2 5	13:2 0	Лесогорский	12.6	54. 0	57.5	57.5	- 50.7	6.60	6.00	25. 8	22.1 7	3.14	11.64
2.06	11:3 4	12:1 5	Шлиссельбург	13.6	47. 0	55.5	43.5	- 48.4	6.49	7.11	25. 7	22.2 8	3.48	11.04

4.07	21:19		СПб	13.4	26.0	36.5	47.0	-51.3	6.99	6.41	18.8	22.41	5.55	11.69
3.06	9:12	9:27	СПб	14.2	40.5	50.5	42.5	-48.0	6.60	7.60	22.1	23.12	3.16	11.49
31.05	15:20	17:10	Шлиссельбург	13.6	56.5	54.5	51.0	-50.7	6.45	7.15	24.0	23.22	2.94	11.12
4.07	22:15	23:20	Лудейное Поле	13.9	18.0	38.5	48.5	-50.3	6.99	6.91	18.3	23.43	5.55	11.69
22.08	17:35		Любань	14.0	33.0	50.0	48.0	-53.3	7.51	6.49	22.3	23.54	3.77	12.35
22.08	20:04	20:25	ИЦП	15.2	59.0	40.0	36.5	-52.9	7.51	7.69	19.7	23.75	3.77	12.35
2.06	9:25	10:20	Волосово	14.0	45.0	53.5	50.0	-50.0	6.49	7.51	22.5	23.79	3.48	11.04
31.05	15:55	17:15	Ломоносов	13.8	45.0	52.0	53.5	-51.2	6.45	7.35	31.0	23.85	2.94	11.12
31.05	12:55	14:25	Кириши	13.9	47.0	53.0	52.0	-51.4	6.45	7.45	26.6	23.85	2.94	11.12
1.06	9:58		Выборг	14.3	53.0	56.5	47.0	-51.0	6.60	7.70	27.0	23.91	3.14	11.64
4.07	20:45		Кириши	14.3	41.5	54.0	51.0	-49.6	6.99	7.31	20.0	24.42	5.55	11.69
1.07	15:30	16:40	Ломоносов	16.0	32.0	32.0	40.0	-52.7	7.36	8.64	28.7	25.63	4.04	12.21
4.07	21:21	22:55	Новая Ладога	14.7	39.5	51.5	56.5	-49.7	6.99	7.71	19.9	25.76	5.55	11.69
1.06	10:28		Выборг	15.5	46.0	52.0	57.5	-51.4	6.60	8.90	26.3	27.27	3.14	11.64

Результаты для третьей градации представлены ниже на графиках (рис.4.23-4.27).

По данным графика на рис.4.23 Y -параметр для данной градации варьируется от 7,16 до 27,27. Y – параметр имеет тенденцию на увеличение с увеличением температуры воздуха у поверхности земли.

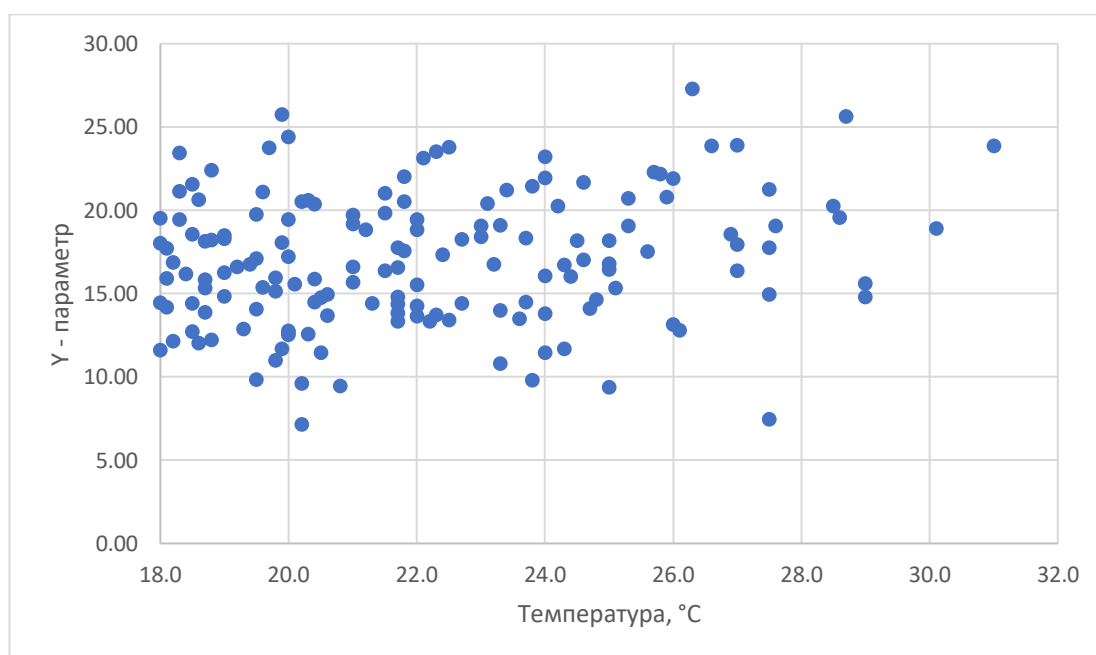


Рисунок 4.23 График зависимости Y - параметра от температуры воздуха у земли выше 18°C

По данным графика на рис 4.24 для данной градации ВВГО варьируется от 5,6 до 15,5 км. Высота изотермы - 22°C лежит в основном в диапазоне 6-8 км.

На рис. 4. 25 представлен график зависимости температуры воздуха на ВГО от ее высоты, температура с высотой понижается. Температура ВВГО варьируется от -17,9 до -59.8.

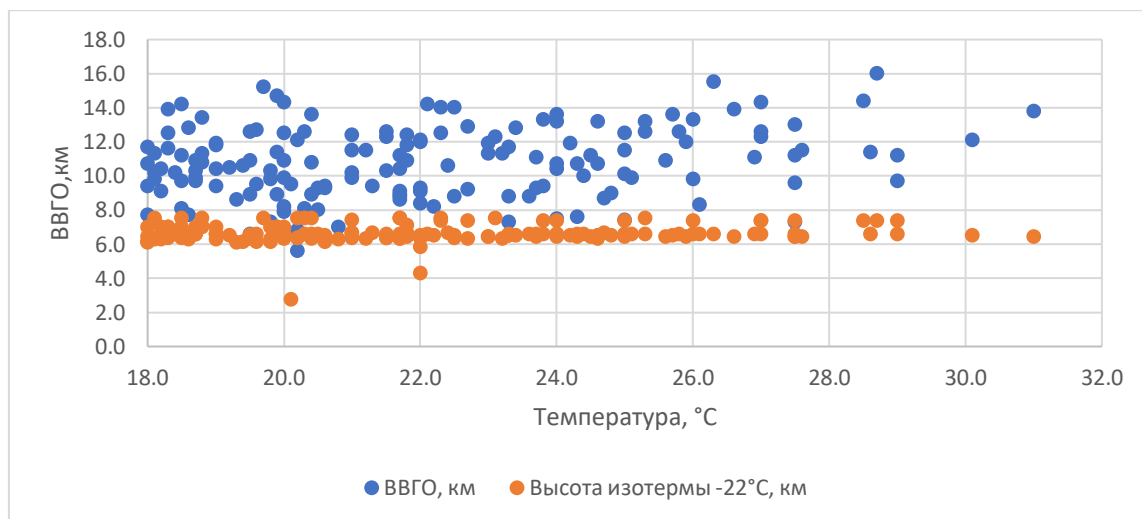


Рисунок 4.24 График зависимости высоты верхней границы облака от температуры воздуха у земли выше 18°C

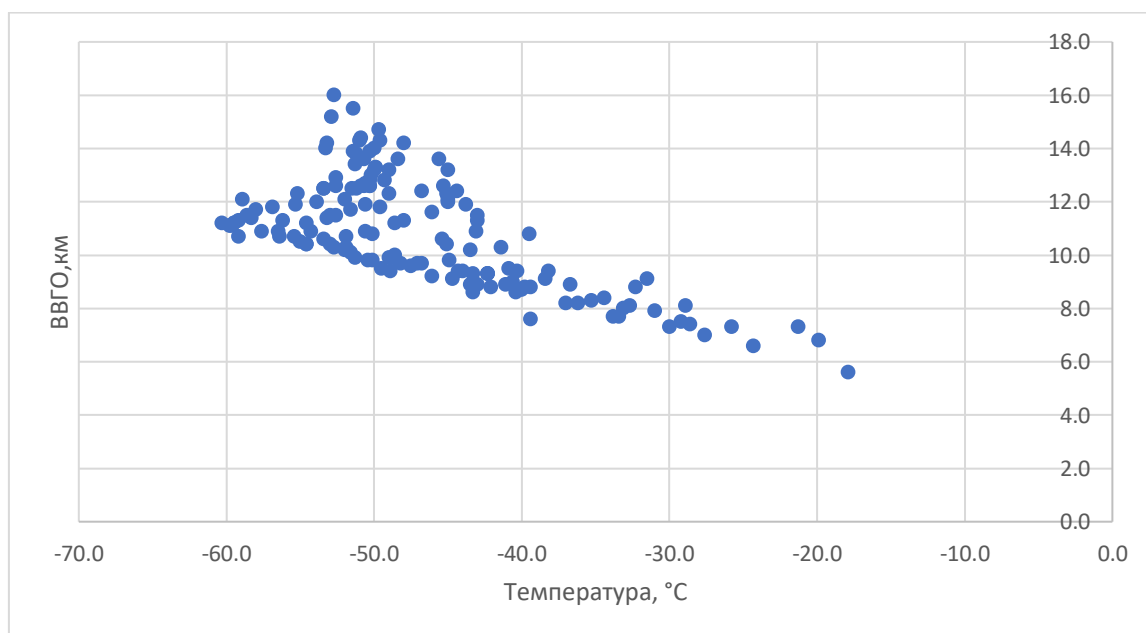


Рисунок 4.25 График зависимости температуры воздуха на верхней границе облака от ее высот для температуры воздуха у земли выше 18°C

По данным на рис. 4.26 наибольшие повторяемости при значениях параметра наблюдаются в диапазоне от 14 до 20, наименьшие от 7 до 12, 22-23 и выше 24.

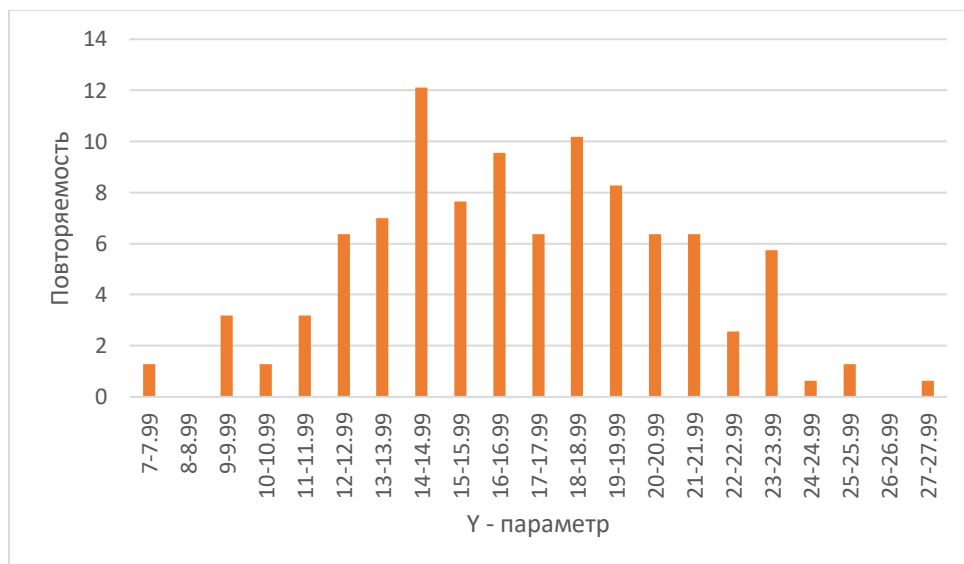


Рисунок 4.26 График повторяемости гроз от Y – параметра для температуры воздуха у земли выше 18°C

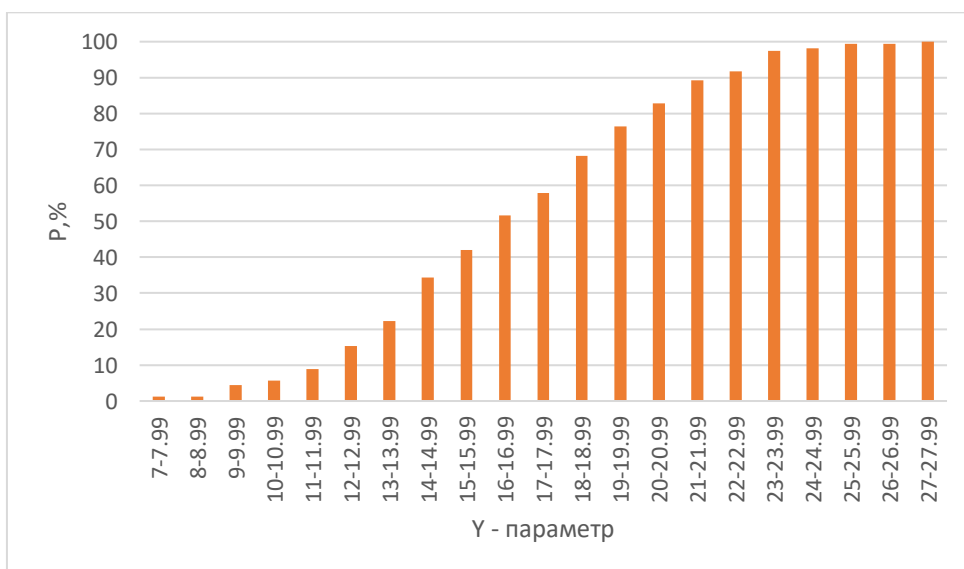


Рисунок 4.27 График накопленной повторяемости для температуры воздуха у земли выше 18°C

По данным на рис. 4.27 накопленная повторяемость выше 50% достигается от значения 16, выше 90% от 22.

Дальше будут представлены результаты совместно для всех градаций
(рис. 4.28-4.33).

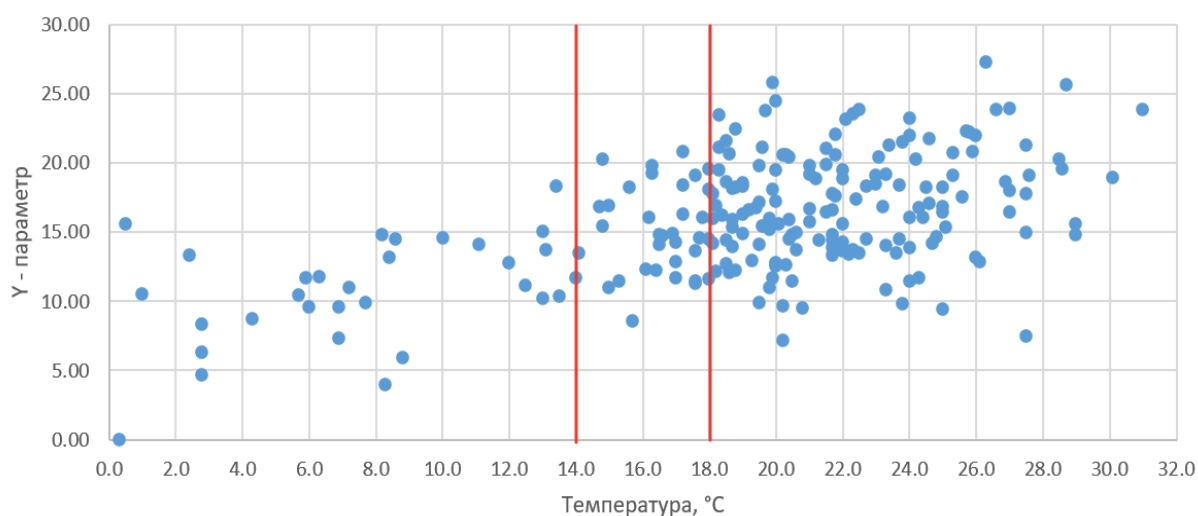


Рисунок 4.28 График зависимости Y – параметра от температуры воздуха у земли (общий)

На общем графике зависимость выражена лучше, видно, что значение критерия увеличивается с повышением температуры воздуха у поверхности земли.

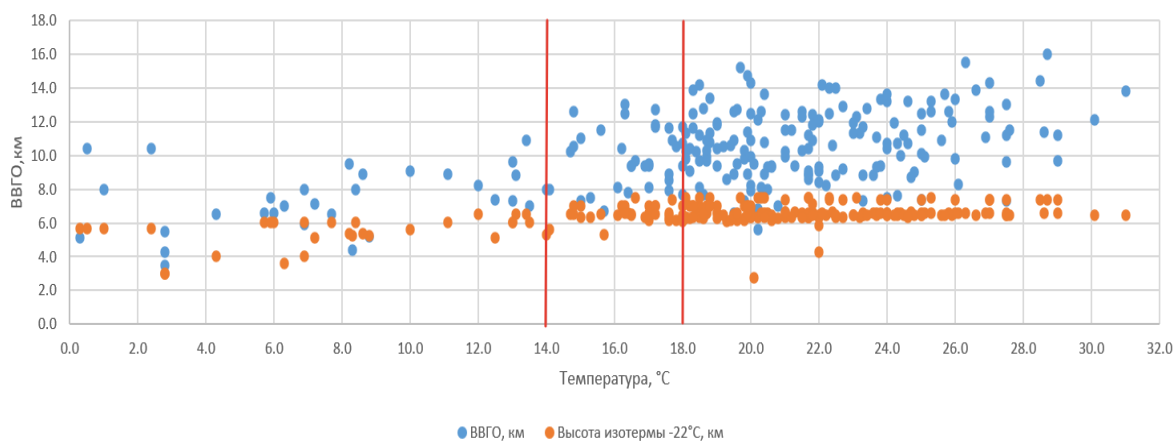


Рисунок 4.29 График зависимости высоты верхней границы облака от температуры воздуха у земли (общий)

Согласно графику на рис. 4.29 ВВГО увеличивается с увеличением температуры воздуха у поверхности земли, высота изотермы -22°C растет с повышением температуры воздуха и с годовым ходом в целом.

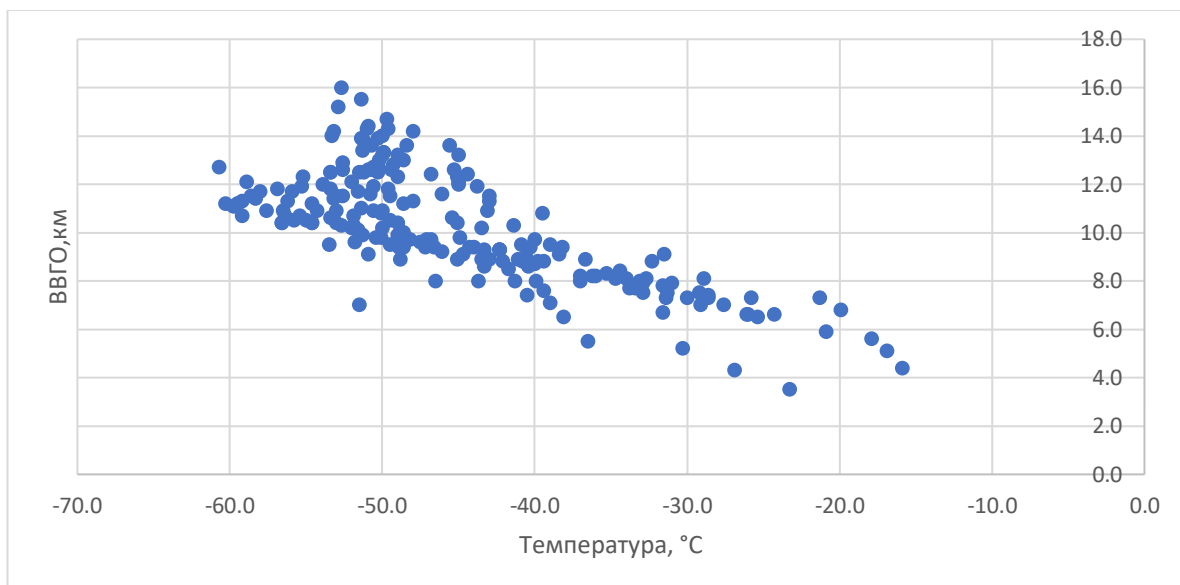


Рисунок 4.30 График зависимости температуры воздуха на верхней границе облака от ее высоты (общий)

На общем графике зависимости температуры воздуха на ВГО от ее высоты на рис 4.30 ТВГО варьируется от $-15,9$ до $-60,7^{\circ}\text{C}$ при высотах от 3,5 до 16км.

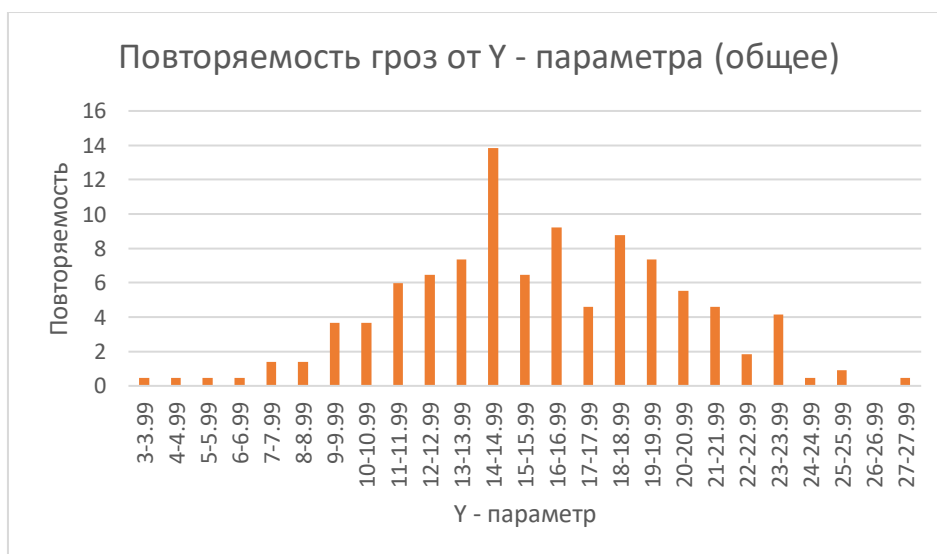


Рисунок 4.31 График повторяемости гроз от Y – параметра (общий)

По данным на рис. 4.31 максимальная повторяемость при значении параметра 14-15, наибольшие повторяемости при γ равном от 11 до 17 и 18-20.

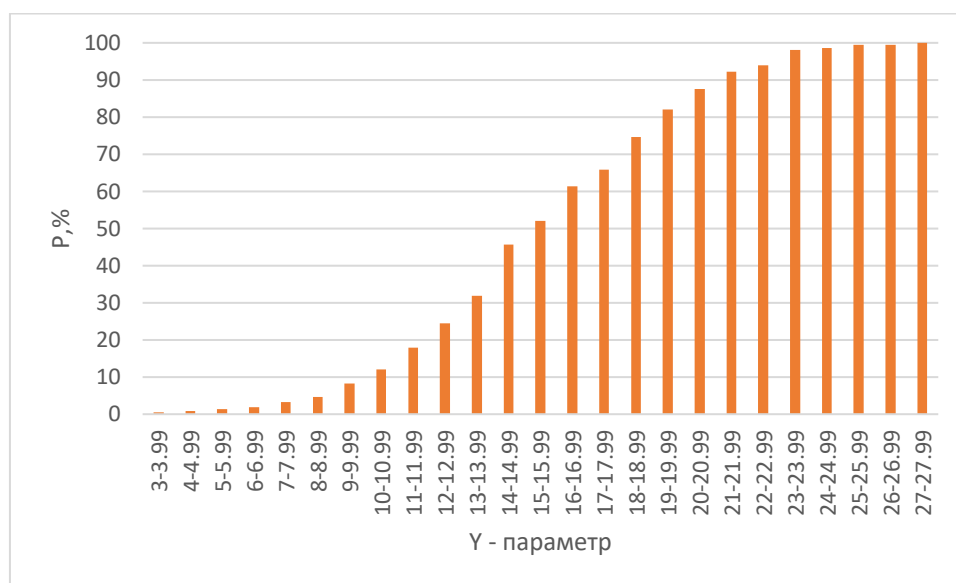


Рисунок 4.32 График накопленной повторяемости (общий)

По данным на рис. 4.32 накопленная повторяемость выше 50% достигается от значения 15, выше 90% от 21.

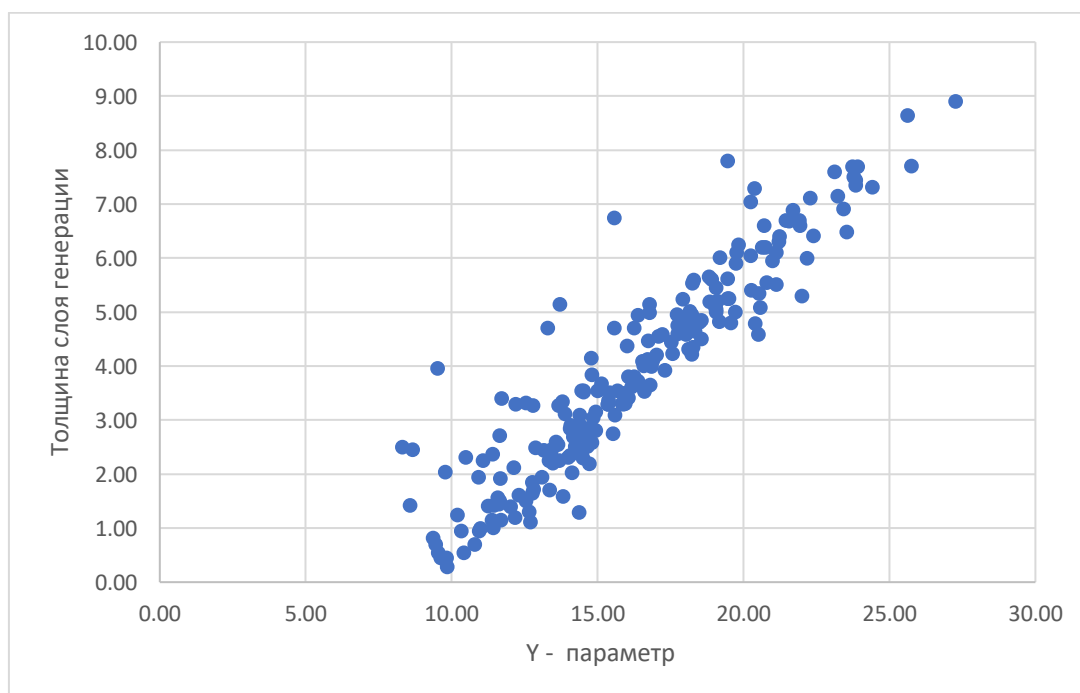


Рисунок 4.33 Зависимость γ – параметра от толщины слоя генерации в облаке

На графике на рис 4.33 представлена зависимость Y – параметра от толщины, хорошо видно, что с увеличением толщины генерации слоя зарядов увеличивается и значение параметра Y .

Выводы по главе

В результате работы над четвертой главой был собран архив данных по грозовым явлениям за 2024 год по Ленинградской области, включая данные «штормового кольца», радиозондирования, радиолокации, данные фактической погоды, реанализ.

Были исследованы сезонность гроз и суточный ход времени начала грозы. Грозы для Ленинградской области характерны в теплый период с мая по сентябрь, отдельные грозы наблюдаются в апреле и октябре, совсем редкие грозы с ноября по март. В основном грозы отмечаются в послеполуденные часы – внутримассовые и на холодных фронтах, на теплых фронтах и на теплых волнах более активны в ночные часы, на фронте окклюзии грозы могут образовываться практически в любое время суток. Исследована также температурная зависимость гроз, большее число гроз фиксируется при температуре у земли от 18 до 23°C.

По данным реанализа проведено разделение случаев по синоптическим ситуациям. В результате было выяснено, что грозы в холодный период формируются исключительно на атмосферных фронтах, в теплый период грозы могут иметь как фронтальное происхождение, так и внутримассовое. Для каждой группы синоптических ситуаций построены графики суточного хода начала грозы. Приведен анализ интересных случаев отдельных гроз с минимальной температурой как для холодного (03 апреля), так и для теплого периода (07 мая).

Далее проводился анализ радиолокационных параметров грозовых облаков с использованием данных ДМРЛ Воейково. Случаи гроз были разделены на градации по значениям температуры воздуха у поверхности земли. Для каждой градации и каждого случая считался радиолокационный критерий Y – параметр. Представлены архивы данных, снятых с локатора для

каждой градации, архив в себя включает: дата, время начала и окончания грозы, пункт наблюдения, высота верхней границы облачности, отражаемость на трех уровнях – уровне под нижней границей облака и на уровнях изотерм 0 и -22°C, температура на верхней границе облака, высоты уровней изотерм 0 и -22°C и уровня тропопаузы, температура воздуха у поверхности земли, Y – параметр, толщина слоя между уровнем изотермы -22°C и высотой верхней границы облака.

Были построены графики зависимости Y - параметра от температуры воздуха у поверхности земли, зависимости высоты верхней границы облака от температуры воздуха у земли, повторяемости гроз от Y – параметра, накопленной повторяемости Y - параметра, зависимости температуры воздуха на верхней границе облака от ее высоты, для каждой градации и для всей выборки, а также дополнительно общий график зависимости Y – параметра от толщины слоя генерации в облаке.

Для 1 градации 0 до 14°C (не включительно):

Y – параметр находится между значениями 3,97 и 18,28. Высота верхней границы облака увеличивается с увеличением температуры воздуха у земли, ВВГО располагается на уровнях от 5,1 до 10,9 км. Высота изотермы - 22°C располагается на высоте от 3 до 6,5км. Температура на ВВГО варьируется от - 15,9 до 56.6°C. Большая повторяемость факта грозы в зависимости от Y – параметра находится в диапазоне значений от 10 до 12 и 14 до 15, минимальная повторяемость при значениях 3-8, 12, 15-19. Накопленная повторяемость Y – параметра выше 50% достигается от значения 10, выше 90% от 14.

2 градация: от 14 до 18°C (не включительно):

Для данной градации Y находится между значениями 8,57 и 20,75. ВВГО расположена в диапазоне от 6,7 до 12,7 км, высота изотермы - 22°C варьируется от 5 до 7,5км. Температура на ВВГО располагается в диапазоне от -28,6 до -60.7. С повышением ВВГО температура на верхней границе понижается. Большая повторяемость факта грозы в зависимости от Y – параметра приходится на значения 11-13, 14-15, 16-17, минимальная на 8-11,

17-18. Накопленная повторяемость Y – параметра, Накопленная повторяемость выше 50% достигается от значения 14, выше 90% от 15.

3 градация: от 18°C и выше:

Y -параметр для данной градации варьируется от 7,16 до 27,27. Y – параметр имеет тенденцию на увеличение с увеличением температуры воздуха у поверхности земли. ВВГО варьируется от 5,6 до 15,5 км. Высота изотермы - 22°C лежит в основном в диапазоне 6-8 км. Температура воздуха на ВГО с увеличением высоты понижается. Температура ВВГО варьируется от -17,9 до -59.8. Наибольшие повторяемости факта грозы в зависимости от Y – параметра наблюдаются в диапазоне от 14 до 20, наименьшие от 7 до 12, 22-23 и выше 24. Накопленная повторяемость выше 50% достигается от значения 16, выше 90% от 22.

Общие результаты по всем трем градациям.

На общем графике зависимость Y - параметра от температуры воздуха у поверхности земли выражена лучше, значение критерия увеличивается с повышением температуры воздуха у поверхности земли. ВВГО увеличивается с увеличением температуры воздуха у поверхности земли. Высота изотермы - 22°C растет с повышением температуры воздуха и с годовым ходом в целом. Температура воздуха на ВГО варьируется от -15,9 до -60,7°C при высотах от 3,5 до 16км. Максимальная повторяемость факта грозы в зависимости от Y – параметра при значении 14-15, наибольшие повторяемости при Y равном от 11 до 17 и 18-20. Накопленная повторяемость выше 50% достигается от значения 15, выше 90% от 21. На представленном графике (4.33) показана зависимость Y – параметра от толщины, взаимосвязь четко определяется: с увеличением толщины генерации слоя зарядов увеличивается и значение параметра Y .

Таким образом, в практической части данной работы был проведен комплексный анализ грозовых явлений 2024 года в Ленинградской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Гроза представляет собой комплексное явление, имеющее разномасштабный характер, его формирование и развитие зависит от многих факторов. Именно поэтому в работе это атмосферное явление рассмотрено с различных сторон: с точки зрения физики, радиолокации, синоптики.

В работе был описан процесс формирования электрической структуры грозового облака, рассмотрены процессы микро- и макромасштабов электризации облаков. Показано, какие факторы определяют особенности слоя генерации основных зарядов. Представлены современные методы оценки молниевой активности грозового облака: многопунктные грозопеленгационные сети, спутниковый мониторинг, радарные и лазерные технологии, активные системы предупреждения и защиты, спектрометрия и искусственная генерация облаков. Проведен обзор современных исследований об атмосферных электрических процессах, в том числе о метод исследования электрических полей внутри грозовых облаков с помощью проведения их томографии.

В работе представлено физико-географические и климатические особенности Санкт-Петербурга и Ленинградской области, просмотрен гидрометеорологический обзор погодных условий за 2024 год, выявлены отличительные черты года по сравнению с нормой, которые могли привести к более раннему началу грозового сезона на территории Ленинградской области:

1. Температурные аномалии: Год стал теплее нормы на 1,5–2,5°C.
2. Экстремальные явления: Раннее вскрытие рек, наводнения (апрель), штормовые ветры (до 30 м/с в декабре).

3. Осадки: Летние ливни и зимние снегопады превышали норму, что привело к локальным подтоплениям.

Приведены географические особенности Ленинградской области, благоприятно влияющие на развитие гроз: неоднородный рельеф, наличие источников влаги, город Санкт-Петербург – «остров тепла».

В результате работы над четвертой главой (практическая часть) был собран архив данных по грозовым явлениям за 2024 год по Ленинградской области, включая данные «штормового кольца», радиозондирования, радиолокации, данные фактической погоды, реанализ. Архив включает в себя 440 случаев по данным 25 метеостанций, за каждый день с грозой собраны результаты радиозондирования атмосферы по два срока, данные метеорологических параметров за каждый день, данные радиолокационные через каждые 10 минут.

Были исследованы сезонность гроз и суточный ход времени начала грозы. Грозы для Ленинградской области характерны в теплый период с мая по сентябрь, отдельные грозы наблюдаются в апреле и октябре, совсем редкие грозы с ноября по март. В основном грозы отмечаются в послеполуденные часы – внутримассовые и на холодных фронтах, на теплых фронтах и на теплых волнах более активны в ночные часы, на фронте окклюзии грозы могут образовываться практически в любое время суток. Исследована также температурная зависимость гроз, большее число гроз фиксируется при температуре у земли от 18 до 23°C.

По данным реанализа проведено разделение случаев по синоптическим ситуациям. В результате было выяснено, что грозы в холодный период формируются исключительно на атмосферных фронтах, в теплый период грозы могут иметь как фронтальное происхождение, так и внутримассовое. Для каждой группы синоптических ситуаций построены графики суточного хода начала грозы.

Далее проводился анализ радиолокационных параметров грозовых облаков с использованием данных ДМРЛ Воейково. Случаи гроз были

разделены на градации по значениям температуры воздуха у поверхности земли. Для каждой градации и каждого случая считался радиолокационный критерий Y – параметр. Представлены архивы данных, снятых с локатора для каждой градации, архив в себя включает: дата, время начала и окончания грозы, пункт наблюдения, высота верхней границы облачности, отражаемость на трех уровнях – уровне под нижней границей облака и на уровнях изотерм 0 и -22°C , температура на верхней границе облака, высоты уровней изотерм 0 и -22°C и уровня тропопаузы, температура воздуха у поверхности земли, Y – параметр, толщина слоя между уровнем изотермы -22°C и высотой верхней границы облака.

Были построены графики зависимости Y - параметра от температуры воздуха у поверхности земли, зависимости высоты верхней границы облака от температуры воздуха у земли, повторяемости гроз от Y – параметра, накопленной повторяемости Y - параметра, зависимости температуры воздуха на верхней границе облака от ее высоты, для каждой градации и для всей выборки, а также дополнительно общий график зависимости Y – параметра от толщины слоя генерации в облаке.

Общие результаты по всем трем градациям.

На общем графике зависимость Y - параметра от температуры воздуха у поверхности земли выражена лучше, значение критерия увеличивается с повышением температуры воздуха у поверхности земли. ВВГО увеличивается с увеличением температуры воздуха у поверхности земли. Высота изотермы -22°C растет с повышением температуры воздуха и с годовым ходом в целом. Температура воздуха на ВГО варьируется от $-15,9$ до $-60,7^{\circ}\text{C}$ при высотах от 3,5 до 16км. Максимальная повторяемость факта грозы в зависимости от Y – параметра при значении 14-15, наибольшие повторяемости при Y равном от 11 до 17 и 18-20. Накопленная вероятность выше 50% достигается от значения 15, выше 90% от 21. На представленном графике (4.33) показана зависимость Y – параметра от толщины, взаимосвязь четко определяется: с увеличением толщины генерации слоя зарядов увеличивается и значение параметра Y .

Таким образом, в практической части данной работы был проведен комплексный анализ грозовых явлений 2024 года в Ленинградской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Robert H. Holzworth, James B. Brundell, Michael P. McCarthy, Abram R. Jacobson, Craig J. Rodger, Todd S. Anderson Lightning in the Arctic // Geophysical Research Letters. - 2021. - №48, Issue7
2. M. Ravichandran and A.K. Kamra, "A new technique to determine the lightning charge location from the electric field vector measurements," Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, vol. 66, pp. 349-362, March 2004.
3. T.N. Trinh, O. Scholten, S. Buitink, U. Ebert, B. M. Hare, P. R. Krehbiel, H. Leijnse, A. Bonardi, A. Corstanje, H. Falcke, T. Huege, J. R. Hörandel, G. K. Krampah, P. Mitra, K. Mulrey, A. Nelles, H. Pandya, J.P. Rachen, L. Rossetto, C. Rutjes, S. Veen and T. Winchen, "Determining Electric Fields in Thunderclouds With the Radiotelescope LOFAR," Journal of Geophysical Research: Atmospheres, vol. 125(8), e2019JD0314332, April 2020.
4. K. Miller, A. M. Gadian, C.P. Saunders and J. Latham, "Modelling and observations of thundercloud electrification and lightning," Atmospheric Research, vol. 58(2), pp. 89-115, July 2001.
5. Мазин, Илья Павлович. Облака, строение и физика образования / И. П. Мазин, С. М. Шметер. — Ленинград : Гидрометеиздат, 1983. — 279 с.
6. Кашлева Л.В., Михайловский Ю.П. Атмосферное электричество. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2019 – 226 с.
7. Малыгина Т.И., Восканян К.Л. Спутниковый анализ грозы переходного сезона 3 апреля 2024г в Ленинградской области // XVII международной студенческой конференции «Студенческий научный форум 2025» <https://scienceforum.ru/2025/article/2018037571>.
8. Кашлева Л.В., Малыгина Т.И., Михайловский Ю.П. Особенности гроз переходного и зимнего сезонов //Сборник Докладов Всероссийской открытой конференции по исследованиям атмосферных и склоновых стихийных явлений в условиях современного изменения климата, посвященной 190- летию создания Гидрометеорологической службы России и

90-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР. – Нальчик, 07-11 октября 2024 г./Под редакцией д.г.н., профессора Федченко Л.М., к.ф.-м.н. Барековой М.В., к.ф.-м.н., доцента Калова Р.Х., к.г.н. Докукина М.Д. – Нальчик: Издательская типография «Принт Центр», 2024. - 360 с

9. РД 52.04.320–91 Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5

дата	Номер станции	Название станции	ВН utc	ВО utc	Тв
26.03	26059	Кингисепп	11:53	12:30	6.3
31.03	26059	Кингисепп	23:04	23:25	8.2
31.03	26067	Волосово	23:46	0:10	8.6
1.04	26067	Волосово	4:35	5:30	10
1.04	26072	Шлиссельбург	9:15	9:20	14.1
3.04	26063	ИЦП	7:53		0.5
3.04	26060	Кронштадт	8:10	9:05	0.3
3.04	26064	Ломоносов	8:20	8:45	2.4
3.04	26069	Белогорка	6:56	7:30	1
10.04	26078	Любань	17:26	17:45	-
10.04	22917	Новая Ладога	18:02	18:18	17.2
22.04	26167	Николаевское	15:10	16:40	11.1
22.04	26080	Кириши	16:30	17:30	13.5
22.04	26069	Белогорка	16:56	17:30	7.7
22.04	26078	Любань	17:00	17:25	8.4
22.04	26099	Ефимовский	17:00		13
22.04	26067	Волосово	17:05	17:25	6
22.04	26059	Кингисепп	17:15	17:38	5.9
22.04	26094	Тихвин	17:33	18:46	13
22.04	26072	Шлиссельбург	18:05	18:50	5.7
22.04	26063	СПб	18:36	19:10	6.9
7.05	26063	СПб	16:56	17:00	2.8
25.05	26069	Белогорка	10:40	12:10	21.2
25.05	26067	Волосово	10:45	12:45	24
25.05	26094	Тихвин	11:20	12:25	23
25.05	26080	Кириши	11:30	14:20	22.6
25.05	22891	Сосново	12:32	13:07	23
25.05	26067	Волосово	14:26	14:45	21.3
25.05	26072	Шлиссельбург	14:45	15:09	21
25.05	22892	Выборг	16:45	18:20	19
26.05	26059	Кингисепп	11:53	12:02	22.7
28.05	22913	Лодейное Поле	9:49	10:07	27.3
28.05	26059	Кингисепп	9:50	10:05	27.9
28.05	26067	Волосово	10:30		22.2
28.05	22806	Лесогорский	10:40	11:15	25.1
28.05	26063	СПб	10:53	12:54	26
28.05	26060	Кронштадт	11:00	11:45	23.8
28.05	26064	Ломоносов	10:50		27.5
28.05	26069	Белогорка	10:59	12:15	22.8
28.05	22891	Сосново	11:21	12:10	20
28.05	22917	Новая Ладога	11:53	14:05	22.8
28.05	26072	Шлиссельбург	11:54	14:10	21.3
28.05	26059	Кингисепп	12:06	12:23	27.4
28.05	22806	Лесогорский	12:50	13:25	25
28.05	22917	Новая Ладога	12:57	14:05	22
28.05	26067	Волосово	13:35	13:46	20.4
28.05	22805	Валаам	14:34	15:47	14

28.05	26094	Тихвин	15:35	18:06	21.7
29.05	26167	Николаевское	4:20	8:15	17.3
29.05	26059	Кингисепп	4:52	4:56	16.6
29.05	26067	Волосово	7:22	8:10	16.8
29.05	22891	Сосново	8:15	9:05	21
29.05	22925	Винницы	10:20	10:50	28.3
29.05	22806	Лесогорский	10:40	11:20	24.1
29.05	22917	Новая Ладога	10:42	13:10	25
29.05	26059	Кингисепп	15:06	16:23	25.7
29.05	26080	Кириши	17:10	19:30	22.2
29.05	22897	Озерки	17:22	18:45	21
29.05	22917	Новая Ладога	19:07	20:30	20
29.05	22891	Сосново	19:40	21:15	18
29.05	26069	Белогорка	20:10	22:35	18
29.05	26067	Волосово	20:16	21:15	19.3
29.05	26064	Ломоносов	21:30	23:30	21.7
29.05	26063	СПб	22:23	23:06	20.4
30.05	26060	Кронштадт	10:40	11:30	21
30.05	26094	Тихвин	9:08	10:37	22.1
30.05	26067	Волосово	9:45	10:25	23
30.05	26064	Ломоносов	9:55	12:20	26.2
30.05	22892	Выборг	10:34	12:20	25
30.05	22913	Лодейное Поле	10:55	11:30	25.5
30.05	26067	Волосово	11:25	12:35	21.8
30.05	22892	Выборг	14:05	14:25	25.3
30.05	22913	Лодейное Поле	14:24	15:45	20
30.05	22892	Выборг	15:05	15:25	25.4
30.05	22917	Новая Ладога	19:23	20:03	18.7
31.05	26059	Кингисепп	11:44	12:08	27.6
31.05	26067	Волосово	12:40	13:40	25
31.05	26059	Кингисепп	12:45	13:04	27.5
31.05	26080	Кириши	12:55	14:25	26.6
31.05	26069	Белогорка	13:30	15:05	25.9
31.05	26094	Тихвин	13:30	15:10	25.6
31.05	26059	Кингисепп	14:11	14:47	27.5
31.05	26067	Волосово	14:15	16:25	23
31.05	22917	Новая Ладога	15:07	15:43	23.7
31.05	26072	Шлиссельбург	15:20	17:10	24
31.05	26059	Кингисепп	15:52	17:17	24.5
31.05	26064	Ломоносов	15:55	17:15	31
31.05	26167	Николаевское	16:20	17:05	23
31.05	22897	Озерки	17:59		24.3
31.05	22913	Лодейное Поле	19:15	21:47	21.8
31.05	22913	Лодейное Поле	22:49	23:23	18
1.06	22913	Лодейное Поле	9:06		29
1.06	22892	Выборг	9:58		27
1.06	22925	Винницы	10:02		24
1.06	22892	Выборг	10:28		26.3

1.06	22892	Выборг	10:58		26.9
1.06	22806	Лесогорский	11:25	13:20	25.8
1.06	26080	Кириши	13:30	14:14	25.3
1.06	22917	Новая Ладога	14:44	15:35	28.6
1.06	26094	Тихвин	14:49	17:34	27.5
1.06	22913	Лодейное Поле	15:03	16:05	20.4
1.06	26072	Шлиссельбург	15:10	16:05	23.8
1.06	26063	СПб	15:42	16:10	26
1.06	22907	Гогланд	17:42	21:45	21.7
1.06	22907	Гогланд	20:15	21:45	19.6
1.06	22907	Гогланд	20:47	21:20	19
1.06	22806	Лесогорский	21:30	21:40	16.4
2.06	22897	Озерки	4:48	5:45	17.6
2.06	22806	Лесогорский	8:50		24.8
2.06	26069	Белогорка	9:03	9:37	24.2
2.06	26064	Ломоносов	9:10	11:00	24
2.06	26067	Волосово	9:25	10:20	22.5
2.06	26063	ИЦП	10:44	11:39	24.6
2.06	22891	Сосново	11:02	12:25	23.4
2.06	26072	Шлиссельбург	11:34	12:15	25.7
2.06	22806	Лесогорский	11:50	14:35	20.6
2.06	22917	Новая Ладога	11:52	14:35	23.3
2.06	26072	Шлиссельбург	13:45	16:15	19.5
2.06	26064	Ломоносов	15:05	16:00	30.1
2.06	26069	Белогорка	16:55	17:30	20.5
2.06	26094	Тихвин	17:38	18:47	19.2
2.06	26099	Ефимовский	18:06		22
2.06	22913	Лодейное Поле	21:34	22:54	16.5
2.06	22912	Олонец	21:40	22:15	16.1
2.06	22913	Лодейное Поле	3:49	5:02	16.3
2.06	22897	Озерки	4:49		17.6
2.06	22913	Лодейное Поле	5:40		23.6
3.06	22925	Винницы	8:40		24.4
3.06	22913	Лодейное Поле	8:38		17
3.06	22892	Выборг	9:06	9:47	25.1
3.06	26063	СПб	9:12	9:27	22.1
3.06	26059	Кингисепп	10:49		20.3
3.06	26067	Волосово	11:05	12:20	18.5
3.06	26059	Кингисепп	11:26		18.6
3.06	22925	Винницы	12:16		18.7
3.06	22913	Лодейное Поле	14:47	15:55	24
3.06	26094	Тихвин	15:03	18:55	23.3
3.06	26099	Ефимовская	17:00		20
4.06	22891	Сосново	8:16	9:33	21.8
4.06	26080	Кириши	8:35	12:15	21.3
4.06	22925	Винницы	10:03	12:11	21
4.06	26059	Кингисепп	10:08	12:03	22.4
4.06	26067	Волосово	11:21	12:15	21

4.06	26094	Тихвин	12:10	14:09	24.7
4.06	22829	Вознесенья	17:56		18.7
5.06	22917	Новая Ладога	9:30	10:00	22.2
5.06	22917	Новая Ладога	12:18	13:56	23.3
5.06	26094	Тихвин	13:06	16:58	25
6.06	26094	Тихвин	9:36	10:29	26.1
6.06	26067	Волосово	9:50	12:45	18.7
6.06	26059	Кингисепп	8:47	9:16	20.5
6.06	26064	Ломоносов	11:10	12:40	19.9
6.06	26167	Николаевское	10:56	12:10	18.4
6.06	26069	Белогорка	12:06	13:00	18.7
6.06	22913	Лодейное Поле	12:57		25
6.06	26094	Тихвин	12:57	13:44	24.3
6.06	26063	СПб	13:24	14:37	20
6.06	26072	Шлиссельбург	14:03	15:15	19
6.06	22913	Лодейное Поле	14:30	16:27	23.7
6.06	26080	Кириши	14:40		21.5
8.06	26063	СПб	11:30	12:20	14
8.06	22925	Винницы	16:31	17:25	15.7
10.06	22892	Выборг	5:05	5:36	12.5
10.06	22805	Валаам	8:51	9:15	7.2
12.06	22897	Озерки	6:02	6:36	15.3
12.06	22892	Выборг	6:12	6:35	15
12.06	22913	Лодейное Поле	10:04	10:20	20.2
12.06	22925	Винницы	12:11	12:37	20.2
17.06	26059	Кингисепп	13:15	13:35	19.9
17.06	26059	Кингисепп	14:23	14:58	18.2
29.06	26063	ИЦП	9:42	10:24	29.6
29.06	26072	Шлиссельбург	10:30	12:15	29
29.06	26080	Кириши	12:10		30.5
29.06	22917	Новая Ладога	12:12		31.1
29.06	22917	Новая Ладога	12:34	14:13	29
29.06	22913	Лодейное Поле	13:28	15:18	26.4
29.06	26094	Тихвин	14:24	15:45	22.3
29.06	26080	Кириши	14:26	15:10	24
29.06	26078	Любань	17:00	17:10	-
29.06	26099	Ефимовская	17:00		20
1.07	22897	Озерки	5:17	6:35	23
1.07	22892	Выборг	5:46	6:05	19
1.07	26059	Кингисепп	13:58	15:02	26
1.07	22891	Сосново	14:23	15:05	27.5
1.07	26167	Николаевское	14:25	15:35	22.7
1.07	22805	Валаам	14:56		17.7
1.07	26064	Ломоносов	15:30	16:40	28.7
1.07	26063	СПб	15:48	16:24	28.5
1.07	22892	Выборг	16:02	17:25	23.8
1.07	26072	Шлиссельбург	16:09	17:45	29
1.07	22806	Лесогорский	16:45	17:30	24

1.07	26080	Кириши	16:55	17:03	25
1.07	26078	Любань	17:00	17:05	-
1.07	22917	Новая Ладога	17:27	18:06	22.3
1.07	26094	Тихвин	18:13	19:00	27
1.07	22913	Лодейное Поле	18:30	19:10	27
2.07	26099	Ефимовская	17:00	18:10	20
3.07	26067	Волосово	10:50	11:05	18
3.07	26069	Белогорка	11:23	12:05	17
3.07	26167	Николаевское	10:20	10:40	19.8
3.07	26080	Кириши	13:02	13:35	18.5
4.07	26059	Кингисепп	19:36		16.2
4.07	26167	Николаевское	20:40	21:50	17.2
4.07	26080	Кириши	20:45		20
4.07	26063	СПб	21:19		18.8
4.07	22917	Новая Ладога	21:21	22:55	19.9
4.07	26072	Шлиссельбург	21:21	23:10	19
4.07	26069	Белогорка	21:25	22:35	17.2
4.07	22917	Новая Ладога	21:52	22:50	19.3
4.07	26063	СПб	22:04	23:20	18.7
4.07	22913	Лодейное Поле	22:15	23:20	18.3
4.07	22891	Сосново	22:19	23:23	16.3
4.07	22925	Винницы	22:40	23:24	18.3
4.07	22805	Валаам	23:38	0:29	14.8
5.07	26167	Николаевское	1:26	2:15	15
5.07	26064	Ломоносов	2:25	2:50	19.3
5.07	22891	Сосново	2:32	3:05	16.8
5.07	22925	Винницы	13:55	14:25	17.6
5.07	26094	Тихвин	12:43	14:30	22.5
6.07	26059	Кингисепп	6:09	6:28	16.8
6.07	26067	Волосово	7:01	7:40	15.1
6.07	26080	Кириши	10:37	10:52	17
6.07	26080	Кириши	11:20	12:04	15.2
6.07	22913	Лодейное Поле	11:21	12:06	15
6.07	22925	Винницы	11:45	12:15	13.2
6.07	26094	Тихвин	12:16	13:20	19
6.07	22917	Новая Ладога	14:31	15:15	15.2
7.07	22806	Лесогорский	9:05	11:15	24.2
7.07	22907	Гогланд	11:21	11:53	19.8
7.07	22806	Лесогорский	13:25	14:25	21.7
7.07	26059	Кингисепп	13:26	13:56	23.6
7.07	22891	Сосново	14:30	15:25	20.5
7.07	26064	Ломоносов	14:40	15:15	27
7.07	22805	Валаам	14:41	16:36	12.5
7.07	26063	СПб	14:56	15:20	20.1
7.07	22917	Новая Ладога	16:39	16:49	24.5
7.07	22892	Выборг	12:25	14:47	22
8.07	22806	Лесогорский	10:05	10:45	20.3
8.07	22805	Валаам	12:20	13:25	12.2

8.07	22806	Лесогорский	15:01	16:00	21
12.07	26080	Кириши	10:20		21.3
12.07	22917	Новая Ладога	11:22	12:06	21
12.07	22913	Лодейное Поле	12:37	12:55	25
12.07	22805	Валаам	18:35	19:00	15.3
13.07	22917	Новая Ладога	1:45	1:49	17.8
17.07	26059	Кингисепп	17:47		23.1
17.07	22892	Выборг	18:25	19:07	20.3
17.07	22897	Озерки	18:33	19:30	25.3
17.07	26059	Кингисепп	18:40		21.7
17.07	26067	Волосово	20:35	21:40	20.4
18.07	26094	Тихвин	10:40	12:00	21
19.07	26064	Ломоносов	11:40	11:55	22
19.07	22917	Новая Ладога	13:55	14:40	22
19.07	26167	Николаевское	14:45	15:25	20.1
20.07	22925	Винницы	7:40	9:08	19.5
20.07	22913	Лодейное Поле	10:58	12:47	20
20.07	26064	Ломоносов	11:45		23.2
20.07	22925	Винницы	13:50	14:15	22.7
20.07	26063	СПб	14:00	15:02	20.4
20.07	26064	Ломоносов	14:45	16:25	24.6
20.07	26072	Шлиссельбург	15:21	16:00	21.2
20.07	22925	Винницы	16:00	16:30	21.7
20.07	26064	Ломоносов	17:30	18:15	21.7
21.07	26080	Кириши	9:36		22
21.07	26059	Кингисепп	9:51	10:36	22.8
21.07	22917	Новая Ладога	11:33	13:40	23.9
21.07	26072	Шлиссельбург	12:36	13:50	20.6
21.07	22917	Новая Ладога	16:50	18:05	20
21.07	22897	Озерки	17:35		20.3
21.07	22917	Новая Ладога	17:41	18:05	20
25.07	22913	Лодейное Поле	12:32	13:55	29.6
25.07	26094	Тихвин	15:04	16:10	28.6
26.07	26059	Кингисепп	9:52	10:26	27.8
26.07	26072	Шлиссельбург	10:31	11:10	27
26.07	26167	Николаевское	10:40		25
26.07	26059	Кингисепп	10:45	11:05	27.8
26.07	26167	Николаевское	12:20		23
26.07	26059	Кингисепп	12:45	13:25	26.9
26.07	26063	ИЦП	13:35	13:50	28.2
27.07	22891	Сосново	9:36	11:03	27.3
27.07	26167	Николаевское	10:10	14:15	26.7
27.07	22925	Винницы	10:41	12:05	21.4
27.07	26067	Волосово	10:45	11:30	27.7
27.07	22913	Лодейное Поле	11:17	12:08	27.5
27.07	22806	Лесогорский	11:30	12:10	27
27.07	26069	Белогорка	12:45	15:05	25.2
27.07	22913	Лодейное Поле	13:13	13:25	26.8

27.07	26063	СПб	13:30	13:55	27
27.07	22806	Лесогорский	14:00	15:20	21.5
27.07	26067	Волосово	14:39	15:40	21
27.07	26072	Шлиссельбург	14:40	15:06	26.8
27.07	26059	Кингисепп	15:02	17:30	27.4
27.07	26179	Новгород	15:40	16:45	18
27.07	26080	Кириши	17:17	17:35	23.5
28.07	22913	Лодейное Поле	6:10	8:30	23
29.07	22907	Гогланд	11:46	12:56	22.3
30.07	26059	Кингисепп	12:35	15:29	21.3
30.07	22892	Выборг	13:35	14:30	20.1
30.07	22806	Лесогорский	15:05	16:50	17.1
30.07	22892	Выборг	15:40		16.9
31.07	26072	Шлиссельбург	9:16	9:45	18.6
31.07	26080	Кириши	11:02	12:02	18.1
31.07	26094	Тихвин	12:37	13:56	19
31.07	22907	Гогланд	13:12	13:33	20.8
31.07	22907	Гогланд	14:36	15:08	19.8
31.07	26059	Кингисепп	16:59	17:10	18.2
31.07	26080	Кириши	17:06	17:35	17.6
1.08	22806	Лесогорский	11:45	14:15	19.8
1.08	22925	Винницы	12:08	12:30	19.6
1.08	22892	Выборг	13:10	14:20	19.4
2.08	22913	Лодейное Поле	8:14	10:32	16.9
2.08	22892	Выборг	8:45	12:20	21.5
2.08	26067	Волосово	10:06	11:05	18.3
2.08	22891	Сосново	10:19	10:45	21
2.08	26072	Шлиссельбург	9:20	9:55	21.7
2.08	26063	СПб	10:41	11:09	22
2.08	22806	Лесогорский	11:30		18.5
2.08	26094	Тихвин	11:31	12:47	21.5
2.08	26064	Ломоносов	12:10	13:15	-
2.08	26067	Волосово	12:56	13:40	18.1
2.08	22917	Новая Ладога	13:05	13:50	22.5
2.08	26063	СПб	13:29	17:20	22
2.08	22891	Сосново	13:55	14:30	19.5
2.08	26064	Ломоносов	14:35	16:40	-
2.08	22892	Выборг	15:05	15:40	20
3.08	26064	Ломоносов	5:30		-
3.08	26072	Шлиссельбург	6:44	9:10	18
3.08	22891	Сосново	6:51	8:01	17.4
3.08	26063	ИЦП	7:08	8:47	17.5
3.08	22892	Выборг	9:42		20.3
3.08	26080	Кириши	10:22	12:05	19.8
3.08	26059	Кингисепп	11:06	11:55	17.7
3.08	26063	СПб	14:32	15:00	21.2
3.08	26064	Ломоносов	14:40	15:15	-
4.08	22907	Гогланд	3:04	8:25	16.5

4.08	26080	Кириши	6:07	7:15	16.8
4.08	22917	Новая Ладога	7:12	9:11	19.6
4.08	22892	Выборг	9:42		20.8
4.08	26072	Шлиссельбург	8:28	9:30	19.8
4.08	26094	Тихвин	9:40	13:00	19.8
4.08	26064	Ломоносов	9:40	10:40	-
4.08	26067	Волосово	13:01	14:35	22.4
4.08	26059	Кингисепп	14:24	16:04	20
4.08	26080	Кириши	15:06	15:40	20.6
4.08	22897	Озерки	17:01	17:15	20.8
5.08	26080	Кириши	8:38		18.7
5.08	26063	СПб	10:45		20.2
5.08	26167	Николаевское	12:13		22.3
5.08	26059	Кингисепп	13:55	13:58	20.3
5.08	26059	Кингисепп	14:24	16:27	22.7
5.08	26067	Волосово	14:45	16:45	20
5.08	22907	Гогланд	14:57		21.7
5.08	26167	Николаевское	15:04	15:35	18.6
5.08	26059	Кингисепп	17:01	17:09	19.2
5.08	22897	Озерки	17:05	17:45	19.4
10.08	26059	Кингисепп	5:29	5:47	17
10.08	22917	Новая Ладога	10:46	11:16	18.4
10.08	26167	Николаевское	13:40	14:00	19
10.08	26078	Любань	17:30	17:50	18.6
11.08	22913	Лодейное Поле	3:20	3:36	13.4
11.08	22892	Выборг	8:15	9:58	14.6
11.08	26064	Ломоносов	10:10		-
11.08	26059	Кингисепп	10:06	10:33	18.6
11.08	26067	Волосово	11:08	11:40	14.3
11.08	26059	Кингисепп	12:19	15:05	18.4
11.08	26064	Ломоносов	14:45	15:40	18
11.08	26059	Кингисепп	15:33	15:53	15.9
11.08	26067	Волосово	16:05	17:00	14.7
11.08	26167	Николаевское	17:41	18:40	13
11.08	26078	Любань	18:10	18:25	16.8
11.08	26067	Волосово	21:10	22:20	13.1
11.08	26059	Кингисепп	22:48	23:43	13.3
11.08	26064	Ломоносов	22:00	23:30	14.8
12.08	26064	Ломоносов	0:50	2:50	14.9
12.08	22913	Лодейное Поле	1:19	2:06	9
12.08	26063	СПб	1:50	2:35	15
12.08	22925	Винницы	7:50	8:40	14.4
12.08	22913	Лодейное Поле	8:43	9:35	15.7
12.08	22913	Лодейное Поле	11:25	12:15	17.5
12.08	22806	Лесогорский	12:05	13:00	21.2
12.08	22892	Выборг	13:20	13:50	17.2
12.08	22892	Выборг	14:35	15:57	16.5
12.08	22829	Вознесенья	17:56		14.2

13.08	22913	Лодейное Поле	9:48	10:45	22.8
13.08	26094	Тихвин	11:21	12:11	17.3
13.08	22913	Лодейное Поле	14:14	15:10	18.4
14.08	26059	Кингисепп	8:36	9:31	21
14.08	26059	Кингисепп	9:28	9:31	21
14.08	26067	Волосово	9:45	11:40	20.5
14.08	26167	Николаевское	9:55	11:20	20.8
14.08	26063	СПб	10:09	10:00	22
14.08	26059	Кингисепп	10:26	11:00	20.6
14.08	22891	Сосново	11:30	12:05	17
14.08	22806	Лесогорский	11:45	12:05	24.5
14.08	26064	Ломоносов	12:05	14:10	24
14.08	26063	СПб	12:07	14:07	23.1
14.08	26067	Волосово	12:40	13:25	20.5
14.08	26167	Николаевское	13:20	14:05	20
14.08	26067	Волосово	15:15	16:15	21.5
16.08	26067	Волосово	23:45	0:10	16.7
20.08	26167	Николаевское	22:15		10.7
22.08	26069	Белогорка	17:11		20.2
22.08	26167	Николаевское	17:30		16.6
22.08	26078	Любань	17:35		22.3
22.08	26078	Любань	18:30		21.7
22.08	26059	Кингисепп	18:57	19:25	18.1
22.08	26063	ИЦП	20:04	20:25	19.7
22.08	26072	Шлиссельбург	20:44	21:50	18.5
22.08	26063	ИЦП	21:20	21:41	18.8
23.08	22913	Лодейное Поле	2:48	3:20	15
31.08	22891	Сосново	11:46	12:40	21.8
1.09	26072	Шлиссельбург	15:04	19:10	19.7
1.09	22913	Лодейное Поле	15:06	15:46	19
1.09	22917	Новая Ладога	15:22	16:08	17.6
1.09	26064	Ломоносов	15:50		24.4
1.09	26078	Любань	17:00	17:30	17.6
1.09	22913	Лодейное Поле	17:14	18:27	13
1.09	22917	Новая Ладога	18:19	19:11	14.2
2.09	26067	Волосово	3:21	4:45	12
2.09	26060	Кронштадт	5:28	6:30	14.8
2.09	26063	ИЦП	5:33	6:27	15.6
2.09	22899	Лисий Нос	5:42	6:46	13.4
2.09	26067	Волосово	6:02	7:00	13.1
2.09	22891	Сосново	6:32	7:15	14.7
2.09	26060	Кронштадт	7:15	7:45	16.5
2.09	26064	Ломоносов	7:10	7:35	19.5
13.09	22907	Гогланд	7:10	8:05	18.8
25.09	26072	Шлиссельбург	14:37	15:50	18
25.09	22917	Новая Ладога	15:51	16:18	19.3
26.09	26167	Николаевское	9:55	10:25	17
26.09	26064	Ломоносов	12:10	12:50	17.6

26.09	26060	Кронштадт	12:13	12:40	17.8
26.09	22925	Винницы	12:18	13:02	20.6
26.09	22913	Лодейное Поле	12:43	13:30	18
26.09	22907	Гогланд	21:35	23:15	16.2
23.10	22917	Новая Ладога	8:21	9:08	8.3
23.10	26080	Кириши	13:17	13:48	8.8
30.10	26080	Кириши	15:14	15:45	6.9
30.10	26094	Тихвин	16:10		4.3
30.12	26063	СПБ	6:20	10:00	5.3