



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

Кафедра метеорологии, климатологии и охраны атмосферы.

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)

На тему: «Связь радиолокации с электричеством по результатам исследований ДМРЛ в Ленинградской области»

Исполнитель Русина Юлия Владиславовна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат физико-математических наук  
(ученая степень, ученое звание)  
Кашлева Лариса Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
заведующий кафедрой

  
(подпись)

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

Сероухова Ольга Станиславовна

(фамилия, имя, отчество)

« 01 » июня 2022 г.

Санкт-Петербург  
2022

<b>Введение</b>	3
<b>1. Характеристика Северо-Западного региона</b>	5
1.1 Климатическая характеристика Северо-Западного региона	5
1.2 Климатическая характеристика Ленинградской области и Санкт-Петербурга	8
1.3 Статистика смертей и авиакатастроф из-за грозы	19
<b>2. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРОЗОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ</b>	23
2.1 ДМРЛ-С	23
2.1.1 Характеристики получаемые с помощью ДМРЛ-С	35
2.2 Blitzortung	37
<b>3. Прогнозирование грозы</b>	39
<b>4. Связь радиолокации с электричеством по результатам исследований ДМРЛ в Ленинградской области.</b>	40
4.1 Аэросипнатический анализ 07.06.2021г.	40
4.2 Аэросипнатический анализ 01.08.2021г.	41
4.3 Прогноз грозы по методу Фатеева.	43
4.4 Связь радиолокации с электричеством	47
<b>Заключение</b>	56
<b>Список литературы</b>	57

## **Введение**

Грозы самая важная составляющая электрической цепи, которая соединяет атмосферу и Землю. Электростатические силы крайне сильно влияют на развитие динамических и микрофизических характеристик облаков и осадков и также на перенос тепла и влаги в атмосфере. Своевременное обнаружение гроз положительно сказывается на авиацию и жизнь человека в целом.

Обнаружение опасных явлений погоды, которые напрямую связаны с развитием облачности вертикального развития, а именно кучево-дождевой облачности, главным условием будет осуществление большинства хозяйственных видов деятельности человека. В энергетической области, своевременная подача информации о грозе уменьшит время нахождения поврежденных линий электропередач, пострадавших от прямого попадания молнии. Также при своевременной подаче информации о нахождении грозы уменьшит количество авиакатастроф и травматизации людей во время грозы.

Кроме попадания молнии во время грозовой деятельности бывают такие опасные явления как сильные ливневые осадки, штормовой ветер и град. В связи с сильными ливневыми осадками с градом может образоваться слой воды превышающий 50мм. Из-за такого количества воды повышается уровень воды, что приводит к наводнению городов и мелких населенных пунктов, а также к паводкам и селей.

**Актуальность и практическая значимость работы.** Явления погоды, которые появляются из кучево-дождевой облачности являются крайне опасными. Для того чтобы уменьшить вред от таких явлений, необходимо точно и своевременно подать информацию о грозе. Одним из вариантов для увеличения точности является связь радиолокации с электричеством.

**Цель работы:** провести анализ точности и исследовать связь радиолокации с электричеством по результатам ДМРЛ-С в Ленинградской области.

**Задачи** выпускной квалификационной работы сформированы из цели работы:

- Исследовать физико-географические и климатические характеристики Северо-Западного федерального округа, Ленинградской области и Санкт-Петербурга;
- Изучить особенности радиотехнических средств, исследуемые грозовую деятельность, а именно Доплеровский метеорологический радиолокатор диапазона С (ДМРЛ-С) и грозопеленгационная сеть «Blitzortung»;
- Произвести прогноз грозы по методу Фатеева;
- Проанализировать связь радиолокации с электричеством, сравнив данные ДМРЛ-С и ГПС «Blitzortung» в районе Ленинградской области;
- Сформировать вывод по проделанной работе.

Структура работы. Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 4 глав, разбитых на подглавы, заключения и списка использованной литературы. Выпускная квалификационная работа включает в себя стр.

## 1. Характеристика Северо-Западного региона

### 1.1 Климатическая характеристика Северо-Западного региона

Северо-Западный федеральный округ выделяется своими огромными размерами. Площадь Северо-Западного федерального округа 1677,9 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет 9,8% территории России. По территории округа проходят 3 часовые пояса.



Рисунок 1. Северо-Западный федеральный округ.

Состав Северо-Западного федерального округа (рис 1.):

- Республика Карелия;
- Республика Коми;
- Архангельская область;
- Вологодская область;
- Калининградская область;
- Ленинградская (г. Санкт-Петербург – город федерального значения);

- Мурманская область;
- Новгородская область;
- Псковская область;
- Ненецкий автономный округ.

Регион располагается на территории Восточно-Европейской (Русской) равнины - это низменность, всхолмленная моренными грядами - следами деятельности ледника.

Природа края наиболее разнообразна. Здесь есть альпийские пики Полярного Урала и Пай-Хоя, шхеры Беломорья, серо-голубые лишайниковые и тундры с низкорослыми деревьями и кустарниками, озёрные равнины, реки Карелии, голые арктические пустыни островов Ледовитого океана, еловая тайга, молодой смешанный лес, поля Псковщины, пойменные луга больших северных рек, плоские болотистые приневские равнины, старые леса Пушкинского заповедника.

Таблица 1. Крайние точки Северо-Западного федерального округа

Крайняя точка	Описание
Островная северная точка (81050` с.ш.)	Расположена в Архангельской области. В архипелаге Земля Франца-Иосифа на острове Рудольфа
Континентальная северная точка (6907` с.ш.)	Расположена на мысе Немецкий, на полуострове Рыбачий
Южная точка (55040` с.ш.)	Расположена на Невельской возвышенности на юге Псковской области

Западная точка (19038` в.д.)	Расположена на песчаной косе Гданьского залива Балтийского моря близ города Калининграда
Восточные точки ( 69012` в.д. и 69050` в.д.	Расположена островная точка на мысе Флисинском – северо-восточная оконечность серного острова Новой Земли в Архангельской области. Расположена континентальная точка верховье реки Кары.

Данный район принадлежит к лесной зоне. Северо-восточная его часть, примерно до линии Ленинград-Щербаков, относится к подзоне тайги, для которой характерно преобладание хвойных лесов, а остальная, большая по площади часть - к подзоне смешанных лесов, где наряду с хвойными породами большое распространение имеют широколиственные леса.

Вся территория Северо-Западного района подвергалась четвертичному оледенению, причем ледник наложил на нее определенный отпечаток. Доледниковые формы рельефа скрыты здесь под мощными ледниковыми отложениями. Холмистые возвышенности представляют собой нагромождения ледникового материала; они как бы «насажены» на поверхность равнины.

На юго-востоке района выделяется Валдайская возвышенность с высотами до 322 м, круто обрывающаяся высоким уступом на запад, в сторону Балтийского моря. Сложенный в своей основе каменноугольными отложениями, этот уступ Валдайской возвышенности носят название Карбонового глинта.

Коренные породы, представленные известняками и песчаниками, большей частью глубоко скрыты под мощным чехлом ледниковых отложений, состоящих из моренных суглинков, реже песков. Руслу рек здесь лишь местами углублены до уровня коренных пород. К числу таких мест относятся прежде всего Силурийский и Карбоновый глинты.

На климат района большое влияние оказывает близость моря. Климат его умеренно континентальный, влажный; он характерен сравнительно холодной зимой и теплым летом. Относительная влажность воздуха высокая - 75-85%.

Большой континентальностью климата отличается восточная часть района, где зима более длительна и сурова. По направлению на запад, и особенно на юго-запад - к Балтийскому морю - климат становится более мягким и влажным. На крайнем юго-западе района (бассейн р. Немана), расположенном на стыке между континентальной Восточно-Европейской равниной и приморской Западной Европой, сочетаются элементы как континентального, так и морского типов климата; первые проявляются в различии теплого и холодного периодов и в четком обособлении зимы от лета, вторые - главным образом в резких оттепелях в холодное время года.

## **1.2 Климатическая характеристика Ленинградской области и Санкт-Петербурга**

Ленинградская область (рис. 2.) расположена на северо-западе России и относится к Северо-Западному федеральному округу.





Рисунок 2. Ленинградская область

Региональным центром Ленинградской области является город Санкт-Петербург. Протяженность и население региона указаны в табл. 2.

Таблица 2. Население и протяженность Лен. области и г. Санкт-Петербурга.

Район	Население	Протяженность
Ленинградская область	1 907 590 чел.	83 908 км <sup>2</sup>
г. Санкт-Петербург	5 376 672 чел.	С С на Ю – 32 км С С-3 на Ю-В – 90км

Город (рис.3) можно разделить на три основных района: северный, южный и дельтовый. Северный район или правобережье – самая возвышенная

часть города и отличается большим количеством зелени, прудов, пересеченностью рельефа и общей живописностью самого ландшафта. В южном районе преобладает плоская равнина. Там очень мало водных путей и почти нет зеленых растений. Единственными исключениями являются части пляжных террас на южном побережье Финского залива. Острова дельты Невы - это древние и развитые районы, большинство из которых были построены или заняты парками. Только болотистые районы прибрежных равнин еще не исследованы. Большая часть территории Санкт-Петербурга находится на высоте не более 2-3 метров над уровнем моря. В данных районах города существует угроза затопления. Рельеф, с преобладанием до 2,5 м над уровнем моря, включает от левого берега Невы До реки Фонтанки, Острова Дельты Невы, широкую полосу вдоль Побережья Финского залива, шельфы надводных террас. Низовьем районов Санкт-Петербурга являются северо-западные острова Дельты Невы - Елагин, Каменный, Крестовский и Васильевский острова. Большая часть правого берега находится на высоте 5-10 м над уровнем моря и являются наиболее высокими городским районами. Высота увеличивается с севера до северо-востока, и на Лесновской и Сосновской террасах достигает 27 – 42 м.



Рисунок 3. Санкт-Петербург

В западной части Ленинградской области находится пятисоткилометровое побережье Финского залива Балтийского моря.

На востоке области находятся два больших озера Европы – Ладожское и Онежское. У озера искусственные и естественные водные соединения с Балтийским и Белым морями, а через именно бассейн Волги – с Каспийским, Азовским и Черным морями. Таким образом, Санкт-Петербург – порт пяти морей.

Самая главная водная артерия города – река Нева (рис.4). Этот главный водный объект воздействует на формирование главных климатических особенностей района Санкт-Петербурга. По большому количеству вод Санкт-Петербургу находится на одном из первых мест в мире: водная поверхность занимает 1/10 часть площади города, в пределах Санкт-Петербургу насчитывается 86 рек и каналов протяженностью примерно 300 км. Нева – наиважнейший участок двух водных путей страны – Волго-Балтийского и Беломорско-Балтийского, в дельте Невы расположено некоторая часть портов,

река – главный источник водоснабжения города, часть водной системы, являющейся главным регулятором климата. В центре города Нева течет на протяжении 32 км, образуя ниже Литейного моста обширную дельту, состоящую из 42 островов, около 40 рек и каналов. Северная граница дельты находится в реке Большая Невка, южная граница – Обводной канал и река Екатеринговка. В Санкт-Петербурге река принимает большое число притоков, имеющих наиболее малую водность по сравнению с водностью самой Невы и практически не влияет на ее режим. В устье все воды Невы собираются в 5 крупных потоков, которыми Нева вливается в восточную часть Финского залива, называемую Невской губой. Река Нева – глубокая и широкая река, судоходная на всем протяжении. Большая глубина реки 8 – 11 м., наибольшая 24 м. (у Литейного моста). В дельте ширина реки достигает 1000 – 1250 м. Скорость течения реки достигает 3 м/с. Нева имеет большую площадь водосбора – 281 тыс. км<sup>2</sup> при общей сравнительно малой длине (74 км.).

Рельеф территории, где находятся Санкт-Петербург и Ленинградская область, неоднороден, и в пределах высоты до 200 метров встречаются как возвышенности, так и низины. Северо-западная часть области – это всхолмённая равнина с высотой до 80 метров над уровнем моря. В этой части области расположены Кавголовские и Лемболовские высоты.

Южнее этой холмистой равнины полосой протягиваются низины: Приморская на побережье Финского залива, Приладожская по берегам Ладожского озера и Приневская в долине Невы. В пределах Приневской низины – расположены Колтушские и Сойкинские высоты. Еще южнее располагаются Ижорская возвышенность (ее высота 168 м; рисунок 1.1) и Путиловское плато (между реками Мгой и Волховом). К северу они круто обрываются и образуют уступ высотой до 60 м, называемый Балтийско-Ладожским глинтом. Этот уступ интерпретируют как берег древнего моря, в котором современный Финский залив был соединен с Ладожским озером. К югу и востоку от Ижорской возвышенности и Путиловского плато лежит большая равнина, на которой выделяется Волховская низина. Самыми



высокими в Ленинградской области являются Вепсовская возвышенность (рисунок 1.1) и Тихвинская гряда на востоке, которые входят в состав Валдайской возвышенности.

Климат Санкт-Петербурга формируется под влиянием многих факторов: с одной стороны, это влияние Северной Атлантики, с акватории которой происходит перенос тепла и влаги, с другой – вторжение холодных масс воздуха с севера. Засушливые условия связаны с формированием стационарных антициклонов и затоками воздуха с востока. Климат Санкт-Петербурга носит черты как морского, так и континентального.

Температурный режим Санкт-Петербурга формируется в основном под влиянием двух факторов: радиационного режима и циркуляции атмосферы. Во все сезоны года в Санкт-Петербурге преобладает ветер юго-западного и западного направлений, несущий влажный воздух с Атлантики. Вторжение атлантических воздушных масс сопровождается обычно ветреной пасмурной погодой, а радиационный фактор больше проявляется при формировании антициклонов – в условиях ясной безветренной погоды.

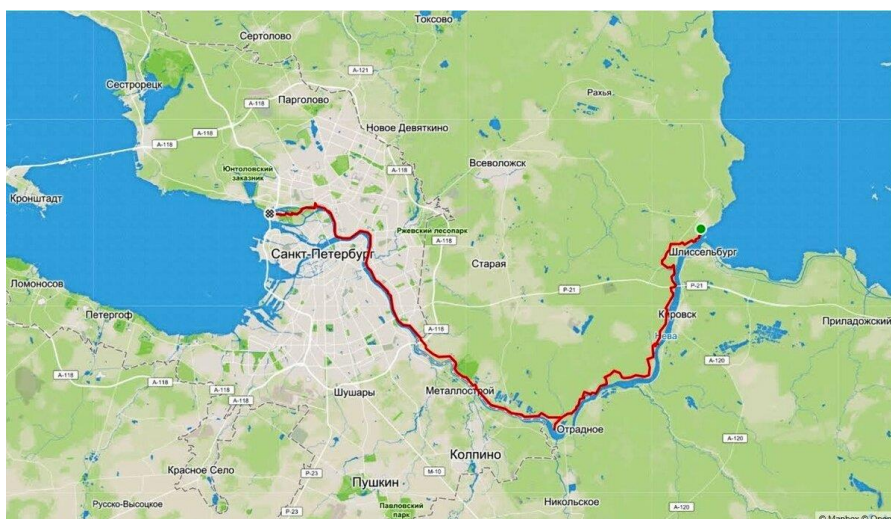


Рисунок 4. Река Нева.

К местным факторам, влияющим на температурный режим города, относятся, прежде всего, его близость к Финскому заливу и обилие рек. Влияние воздушных потоков атлантического происхождения, а также обширных водных бассейнов на температуру воздуха в Санкт-Петербурге

проявляется в изменении ее суточного и годового хода, и в частности в сглаживании различий между температурой воздуха в январе и феврале, а также в уменьшении ее годовой амплитуды – разности между средней месячной температурой самого теплого и самого холодного месяца года. Последняя величина обычно используется для определения континентальности климата и по этому показателю климат Санкт-Петербурга нельзя в полной мере отнести к умеренно континентальному климату, который преобладает на европейской части России. Город расположен в переходной зоне между регионами с умеренно континентальным и морским климатом.

Атмосферные осадки характеризуются количеством, выпавшим за сутки, месяц или год (толщина слоя воды в миллиметрах), фазовым состоянием (Жидкие, твердые, смешанные), интенсивностью и продолжительностью выпадения.

Осадкообразование как результат взаимодействия макро- и микропроцессов в атмосфере относится к наиболее сложным метеорологическим процессам. Количество осадков зависит от:

- влагосодержания воздушной массы;
- температура воздушной массы (или относительной влажности)
- возможность подъёма при встрече с препятствием или под влиянием термической конвекции.

Эти факторы, в свою очередь, формируются под влиянием условий циркуляции и рельефа. Циклогенез и вынужденный подъём воздушной массы способствуют выпадению осадков, а антициклонический режим циркуляции и низкая температура воздуха приводят к уменьшению их количества. В районе Санкт-Петербурга выпадение осадков определяется, главным образом, интенсивной циклонической деятельностью, связанной с влиянием Атлантики. Даже летом, когда такая деятельность несколько ослабевает, осадки, связанные с локальной циркуляцией, составляют незначительную

долю. Влияние Финского залива на режим осадков связано с его термическим режимом и малой шероховатостью поверхности воды. Весной и летом водная поверхность холоднее окружающей суши. Это препятствует развитию конвективных движений воздуха над водоемом, а следовательно, и образованию осадков. Уменьшению количества осадков способствуют и малая шероховатостью водной поверхности. Зимой температурные различия сглаживаются, и сохраняется лишь влияние пониженной шероховатости.

Влияние города на выпадение осадков также довольно разнообразно. Городская застройка вызывает торможение воздушного потока и тормозит формирование восходящих потоков воздуха. Избыточный нагрев нижних слоев атмосферы над городом также способствует формированию восходящих потоков, что теоретически должно приводить к увеличению количества осадков. А также многие вещества, содержащиеся в промышленных выбросах, действуют как ядра конденсации, что способствует образованию облаков. Пока все эти факторы скажутся на осадкообразовании, облака в процессе воздушного переноса могут быть вынесены за пределы города.

В Санкт-Петербурге отчетливо прослеживается сочетание влияния как самого города, так и его местоположения (устье Невы, побережье Финского залива) на распределение осадков. В этом регионе преобладают осадки адвективного характера, поэтому влияние термической конвекции на образование облаков над городом проявляется не очень заметно.

В северной части города и на севере пригородной зоны годовое количество осадков больше на 11% и более чем на 20 % соответственно. В устье Невы годовые суммы осадков, напротив, меньше, чем в центре, на 5 – 7 %. Еще меньше осадков выпадает на побережье Финского залива (в пос. Лисий Нос, Петродворцу, Стрельне) и на островах (в Кронштадте); здесь разница с центром достигает 8 – 9 %. В самом городе, к югу от центра, осадков выпадает почти на 5 % меньше, чем в центральных районах. Далее на юг суммы осадков постепенно возрастают и на границе Ордовикского плато, в районе Пушкина

и Павловска, превышают количество осадков, выпадающих в центре города, на 7 – 8 %. К востоку от Санкт-Петербурга, в холмистой местности, подветренной по отношению к поступающим с Атлантики влажным воздушным массам, осадков за год выпадает больше, чем в центре города, примерно на 10 %, а в холодный период – почти на 20 %. Таким образом, различия в годовых суммах осадков между северной и южной частями города достигают 16 %, а с учетом ближайших окрестностей – и 25 %.

Облачность является главным регулятором притока лучистой энергии и определяет количество поступающей к поверхности Земли солнечной радиации, является источником осадков и заметно влияет на формирование погоды и климата. Количество облаков при проведении наземных наблюдений оценивается визуально по десятибалльной шкале(табл.3)

Таблица 3. Визуальная оценка количества облаков.

Состояние неба	Количество баллов
Малооблачное небо, ясное небо	0-2 балла
Полуясное небо	3-7 балла
Пасмурное небо	8-9 баллов

Согласно современной классификации выделяют десять форм облаков, которые в зависимости от структуры и внешних особенностей подразделяются на виды. В зависимости от расположения облаков по высоте их подразделяют на облака верхнего, среднего и нижнего яруса, а также рассматривают общую облачность.

В среднем за год наибольшую повторяемость имеют слоисто-кучевые облака; особенно часто они наблюдаются осенью. Высококучевые и перистые облака доминируют в месяцы теплого периода; при этом доля слоисто-



кучевых облаков сохраняется. В осенне-зимние месяцы значительная доля облаков приходится на слоисто-дождевые и разорвано-дождевые. Численные оценки доли облаков затруднены, поскольку обычно одновременно наблюдаются облака нескольких форм.

Грозы относятся к числу опасных явлений погоды. Они сопровождаются сильными электрическими разрядами, которые часто повреждают линии связи и электропередачи, вызывают пожары.



Рисунок 5. Грозы над Санкт-Петербургом

Грозы бывают:

- Фронтальные - связанные с прохождением атмосферных фронтов;
- Внутримассовые;
- конвективные.

На рассматриваемой территории преобладают фронтальные грозы, на долю которых приходится примерно 80 % всех гроз. Наиболее часто грозы отмечаются на холодных фронтах, перемещающихся с запада, юго-запада и северо-запада. Как правило, они начинаются перед фронтом. Теплые фронты,

перемещающиеся с юга на север, также являются грозовыми. В июне и июле эти фронты почти всегда сопровождаются грозами.

Конвективные грозы возникают преимущественно в заполняющейся ложбине или на периферии антициклона.

На грозовую деятельность существенное влияние оказывают местные физико-географические условия: рельеф местности, подстилающая поверхность, близость больших водоемов. Возвышенности, даже сравнительно небольшие, отличаются повышенной грозовой деятельностью по сравнению с равниной, что обусловлено усилением вертикальных движений над пересеченной местностью. Защищенные долины характеризуются некоторым ослаблением грозовой деятельности. Уменьшение грозовой деятельности отмечается также над крупными водоемами и их плоскими берегами (Финский залив, Ладожское озеро, Онежское озеро), где сказывается влияние бризов и нисходящих движений воздуха над водоемами.

Влияние подстилающей поверхности проявляется главным образом на развитии внутримассовых гроз. Наличие заболоченных территорий обеспечивает значительное испарение и увлажнение приземного слоя воздуха, что при неустойчивой стратификации и достаточном прогреве увеличивает вероятность возникновения гроз. К таким районам следует отнести территорию, прилегающую к оз. Ильмень, и центральную часть бассейна р. Луги.

На рассматриваемой территории число дней с грозой колеблется от 10 до 30 за год. На общем фоне увеличения гроз с севера на юг, обусловленного ростом температуры и влажности, выделяются области наветренных склонов Валдайской возвышенности, где повторяемость гроз, равная 26 – 29 дням за год, является наибольшей. Реже всего возникают грозы на холодном побережье Белого моря и островах Финского залива, где за год отмечается всего лишь 10 дней с грозой. На северной части Карельского перешейка

количество гроз не превышает 15 за год, такое же количество гроз отмечается на северном побережье Ладожского озера.

Грозовая деятельность наиболее развита в теплый период – с мая по август. Однако грозы начинаются значительно раньше. На западной территории Ленинградской области уже в апреле. Но такие ранние грозы бывают редко. На этой территории наиболее часто грозы возникают в июле. В этом месяце отмечается 5 – 7 дней с грозами, а в заболоченных низинах и на наветренных склонах Валдайской возвышенности число их увеличивается до 9. Осенью грозовая деятельность прекращается. В сентябре в Ленинградской области грозы наблюдаются 1 – 2 дня в месяц. В октябре грозы – редкое явление, на территории области отмечаются 1 раз в 10 лет. Зимой они представляют исключительно редкое явление.

Как и другие метеорологические элементы, число дней с грозой подвержено значительным изменениям. В год максимальной грозовой деятельности число дней с грозой может достигать на рассматриваемом районе 20 – 30. На территории Ленинградской области в отдельные годы отмечается до 35 – 45 дней с грозой за год.

Практический интерес представляют данные о продолжительности гроз. На побережье Финского залива продолжительность не превышает 35 час/год. При продвижении с севера на юг и с запада на восток продолжительность гроз увеличивается. Наибольшие значения, равные 60 – 65 час/год, отмечаются на наветренных склонах Валдайской возвышенности. В защищённых долинах продолжительность гроз несколько меньше. В годовом ходе наибольшая продолжительность гроз в сумме за месяц отмечается в июле.

Средняя продолжительность грозы в день колеблется от 1,5 до 2,5 часа, и только на островах Финского залива она несколько меньше – 1,2 часа. Непрерывная продолжительность отдельных случаев гроз может достигать 6 – 9 часов, а на равнинах даже 13 – 15 часов, но такие грозы наблюдаются редко. В течение суток наиболее часто грозы наблюдаются днем с 12.00 до 18.00 по

местному времени. На это время приходится примерно 50 % всей продолжительности гроз. Чаще всего они начинаются в 15.00 – 16.00.

Град наблюдается преимущественно в теплую половину года при большой неустойчивости атмосферного воздуха, имеющего большие температурные различия по высотам и большую влажность. Чаще всего град выпадает при грозах, связанных либо с прохождением атмосферных фронтов, преимущественно холодных, либо с внутримассовыми процессами. В первом случае град на местности выпадает полосами, достигающими нескольких километров в длину и около одного километра в ширину. Во втором случае, что наблюдается чаще, град обычно выпадает пятнами на небольших территориях. Распределение числа дней с градом по территории зависит от характера подстилающей поверхности. В пересеченном рельефе в связи с усилением турбулентного обмена и увеличением конвективной облачности град выпадает чаще, чем на прилегающих равнинах. Над крупными водными бассейнами (Ладожское и Онежское озера, Финский залив), где условия для образования конвективной облачности менее благоприятны, град выпадает в 1,5 – 2 раза реже, чем на суше. Особенно редко выпадает град на островах.

Большая часть рассматриваемой территории характеризуется равномерным распределением числа дней с градом – от 1 до 2,5 дня. Наиболее часто град выпадает в восточной части Ленинградской области. Однако следует помнить, что град наблюдается не каждый год. На большей части территории повторяемость лет с отсутствием града составляет 10 – 25 %. Максимальное число дней с градом за год на рассматриваемой территории колеблется в основном от 4 до 8 за год.

В годовом ходе почти повсеместно наиболее часто град отмечается в мае и июне. В пунктах, расположенных на островах Финского залива, Ладожского и Онежского озёр, наблюдается заметное увеличение числа дней с градом в осенние месяцы (сентябрь – октябрь), что связано с более благоприятными условиями для образования конвективной облачности над теплыми по сравнению с сушей в это время водоемами.

### 1.3 Статистика смертей и авиакатастроф из-за грозы

Самая большая опасность при грозе - удар молнии. Удар молнии - это электрический разряд, между небом и землей, возникающий при накоплении большого количества заряда внутри облаков и появлении разницы электрических потенциалов объектов.

При попадании молнии в человека могут образоваться внутренние ожоги, повреждение органов, взрывы плоти и костей, потерю зрения, судороги, паралич, а также повреждение нервной системы. Самое серьезное



при попадании молнии в человека - летальный исход.

Рисунок 6. Ожог при ударе молнии

Только представьте в июле 2020 года в индийском штате Бихач за 10 дней умерло 147 человек от удара молнии.

Также при грозе пострадать можно и не от самой грозы, а от попадание ее в предметы, такие как остановки, крыши и козырьки. Так во время мощной грозы в Санкт-Петербурге в мае 2021 году пострадали 4 человека из-за

попадания молнии в козырёк на ресторане. Также одна женщина 10 мая 2021 года погибла от удара молнии в городе Гусь-хрустальный и мальчик в июне 2021 года в Санкт-Петербурге умер от прямого попадания в голову. Все эти случаи говорят о том, что молния является одним из самых опасных природных явлений для человека, которое необходимо заблаговременно предупреждать и пользоваться правилами безопасности при грозе.

Кроме серьезной опасности для человека, гроза, а именно удары молний также имеют серьёзную опасность и для авиации. Гроза относится к тем опасным явлениям, полёты в которых запрещены всем без исключения типам пассажирских самолетов. Современные самолёты имеют хорошую защиту для защиты от прямого попадания молнии. Корпуса оборудованы электростатическими разрядниками во всех выступающих местах, куда может ударить молния( концы крыльев и нос самолета) также обшивка имеет металлическую экранирующую сетку, рассеивающую статический разряд. Повреждение, которое может получить самолёт, попавший в грозу - оплавление в месте удара молнии. Также повредится внешняя электроника.

В сентябре 2021 год в самолёт из Екатеринбурга в Сочи ударила молния. Все обошлось и самолёт смог сесть в Краснодаре.

В 2006 году самолёт ТУ-154, летевший по маршруту Анапа-Санкт-Петербург, в котором погибло 160 пассажиров.

В 2019 году произошла авиационная катастрофа пассажирского самолёта «Суперджет 100», заходившего на вынужденную посадку в аэропорт

у Шереметьево из-за повреждения молнией. Погибло 41 человек и 10 человек пострадало.



Рисунок 7. Суперджет 100

## **2. Радиотехнические методы исследования грозовой деятельности**

Измерения, которые использованными для исследования развития облаков получены с помощью ДМРЛ-С и ГПС «Blitzortung».

### **2.1 ДМРЛ-С**

ДМРЛ-С или Доплеровский метеорологический радиолокатор С (рис. 8) - диапазона предназначен для обеспечения всей необходимой информацией об облачности, осадках и связанных с ними опасных явлений погоды( гроза, град, шквал) прогностических , гидрологических органов Росгидромета, АМСГ, АМЦ, центров УВД гражданской авиации и потребителей радиолокационной метеорологической информации.



Рисунок 8. ДМРЛ-С

Технические характеристики указаны в таблице 4.

Таблица 4. Технические характеристики ДМРЛ-С

Наименование параметра	Значение параметра
Рабочий диапазон частот, МГц	5600 - 5650
Зона обзора	
Инструментальная дальность обнаружения, км, не менее	250
Максимальная высота обнаружения, км, не менее	20
Угол места	-2 до +91
Антенна	
Тип	Зеркальная, параболическая
Ширина ДН в двух плоскостях по уровню 3дБ на каждой поляризации, град	1,0
Коэффициент усиления, дБ, не менее	45
Боковые лепестки, дБ, не более	-29
Поляризация	Линейная; горизонтальная+вертикальная
Передатчик	
Тип	Клистроны
Импульсная мощность кВт, не менее	15



Длительность импульса, мкс	1,0; от 25, 60 мкс
Частота зондирования, Гц	300-1500
Тип модуляции	МОНО/НЧМ
Приёмник	
Коэффициент шума, ед, не более	2,2
Промежуточная частота, МГц	60
Стабильность зондирующего сигнала, дБ, не менее	50
Линейный динамический диапазон, дБ, не менее	100
Наличие АСКУ	Присутствует
Надежность	
Наработка на отказ, ч, не более	3000
Среднее время восстановления, ч, не более	0,5
Обработка	
АЦП, бит	16
Опорная частота, МГц	80
Наличие АПОИ и АВОИ	АПОИ+АВОИ
Знергопитание	
Напряжение, В	380 +80%/-18% , 3 фазы
Частота, Гц	50+/-2%
Мощность, потребляемая аппаратурой с учетом СОТР, кВт, не более	10

Для приема отраженного радиоэха используются два приемных устройства для каждой поляризации. В ДМРЛ-С для приема отраженного радиоэха, в котором использует два приёмных устройства для каждой поляризации в отличие от неполяризационных МРЛ, которое обеспечивает непосредственное измерение трех дополнительных радиолокационных параметров облаков и осадков, а именно:

- дифференциальной отражаемости  $Z_{dr}$ ,

- дифференциальной фазы  $F_{dp}$
- коэффициента кросскорреляции  $\rho_{HV}$ .

Обработка трёх дополнительных параметров вместе с тремя параметрами  $Z, V, W$ , обеспечивает решение практических задач указанных в таблице 5.

Таблица 5. Практические задачи

Параметры	Практические задачи
Zdr, Fdp, $\rho_{HV}$ , в совокупности с Z, V, W	Повышение точности радиолокационного измерения осадков за счёт уменьшения случайных ошибок, обусловленных вариациями распределения капель осадков по размерам и систематическими ошибками абсолютной калибровки канала отражаемости
	Коррекция ослабления зондирующего радиоизлучения в осадках
	Идентификация типа гидрометеоров и фазы осадков
	Поляризационная фильтрация сигнала от неметеорологических целей

При объединение в сеть метеорологических радиолокаторов компенсирует ограничения радиолокационного метода метеорологических наблюдений: а именно:

- в осадках ослабляется радиоизлучение;
- Естественные и искусственные препятствия в отдельных секторах блокирует радиоизлучение;
- Помехи с азимутальном направлением;

- Из-за расширения луча и увеличении высоты луча ( из-за кривизны Земли на больших дальностях) снижается разрешающая способность радиолокатора.

В 2022 продолжается увеличение радиолокационной сети ДМРЛ-С Росгидромета. На сегодняшний день в Северо-Западный федеральный округ работают 8 радиолокаторов, а в западной части России 30 радиолокаторов (рис. 9), а также на этапе строительства находятся 5 радиолокаторов ДМРЛ-С ( ДМРЛ-С Ульяновск, ДМРЛ-С Красный кут, ДМРЛ-С Пенза, ДМРЛ-С Саратов и ДМРЛ-С Балашов).

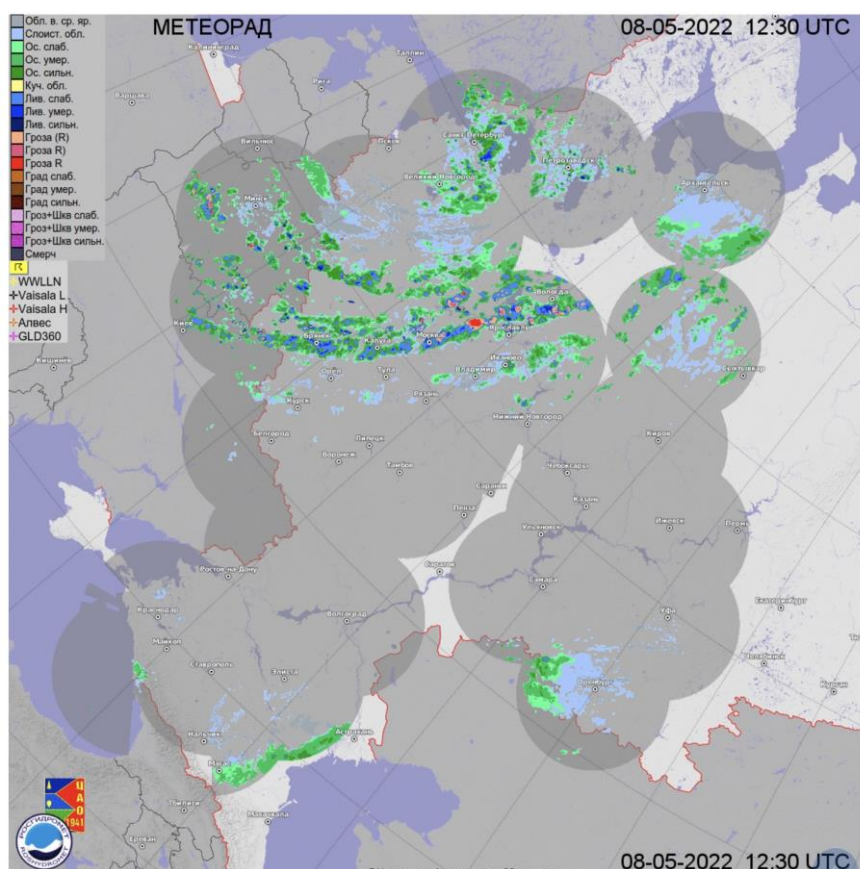


Рисунок 9. Сеть ДМРЛ-С за 08.05.2022г.

У ДМРЛ-С присутствует максимальный радиус обзора, указанный в таблице, что позволяет производить круглосуточные циклические наблюдения с заданной периодичностью в полном автоматическом режиме. Излучение происходит одновременно двух радиосигналов (вертикальная и

горизонтальная поляризация), благодаря чему получаем дополнительные параметры сигнала:

- Коэффициент кросс-корреляции;
- Дифференциальная отражаемость;
- Дифференциальная фаза.

Состав радиолокатора показана в таблице 6.

Таблица 6. Состав ДМРЛ-С

Радиолокатор	Состав
ДМРЛ-С	Антенная система
	Высокочастотный приемо-передающий тракт
	Клистронный передатчик
	Приемная система
	Центральный управляющий вычислительный комплекс

Указанная выше аппаратура ставится на башне и в аппаратном контейнере ДМРЛ-С. Также ставится оборудование систем электроснабжения, охранной и пожарной сигнализации. Отдельно предусмотрен дизель-генератор аварийного электроснабжения.

Главным достоинством схемы размещения (рисунок 10) оборудования является относительно короткий волноводный тракт ДМРЛ-С, который обеспечивает минимальные потери.

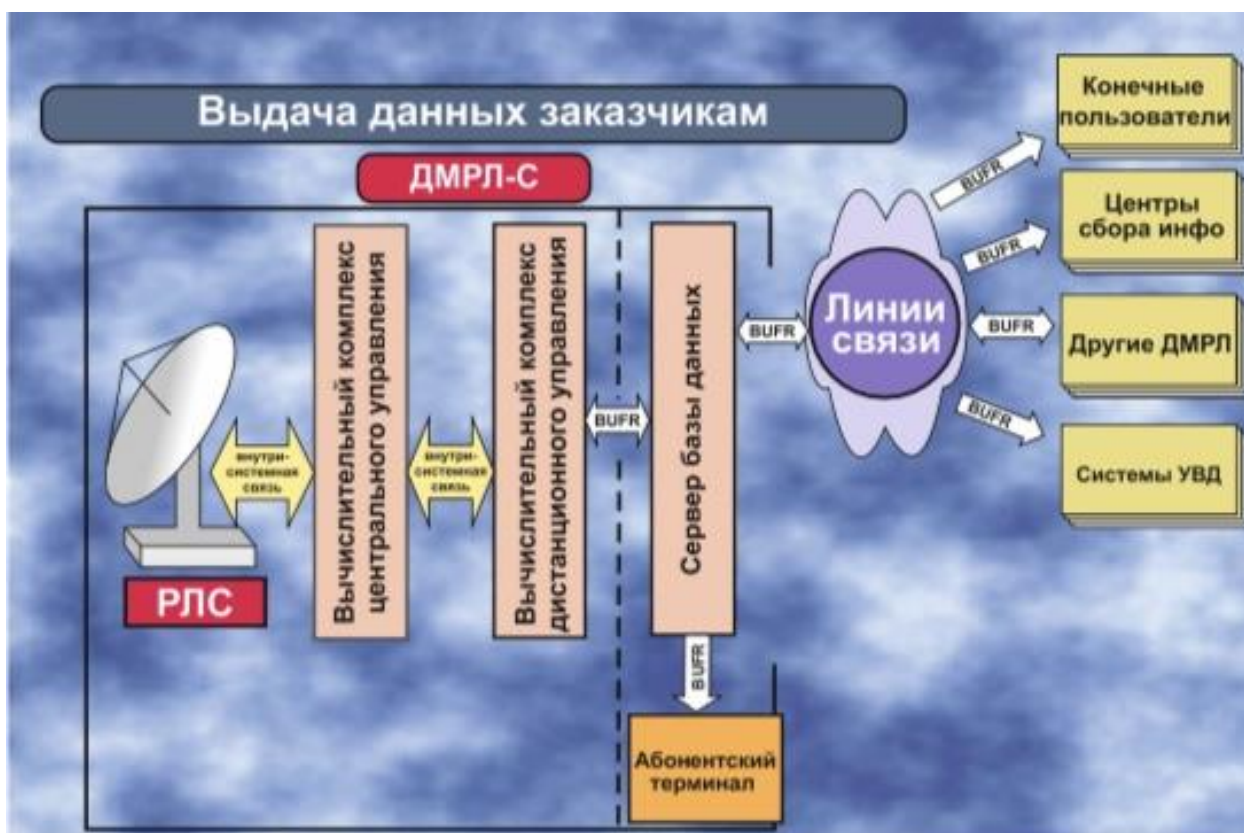


Рисунок 10. Схема ДМРЛ-С

Доплеровский метеорологический радиолокатор предназначен для наблюдений в автоматическом режиме и не нуждается в присутствии квалифицированного обслуживающего персонала на постоянной основе.

Полный контроль аппаратуры доплеровского метеорологического радиолокатора, а также управление и вторичная обработка радиолокационной информации проводится на удаленном управляющем вычислительном комплексе (УУВК), который размещается на удалении от башни.

Места установки ДМРЛ-С на территории Российской Федерации определяется при учете некоторых критериев указанных в таблице 7.

Таблица 7. Выбор места установки ДМРЛ-С.

Радиолокатор	Критерии места установки
--------------	--------------------------

ДМРЛ-С	Создание непрерывного радиолокационного метеорологического поля
	Размещение ДМРЛ-С на удалении до 50 км от крупных аэропортов и аэродромов
	Размещение ДМРЛ-С на территориях с наибольшей плотностью населения

Для данной системы разработали специальное программное обеспечение конвертации файлов в формате «абонентского пункта» в формате международного образца HDF5. Формирование файлов продукции ДМРЛ-С включает в себя первичную и вторичную обработку. В перечень 176 «Метеорология радиолокационных продуктов», которые доступны в формате «абонентского пункта», входят данные перечисленные в таблице 8 и рисунок 11.

Таблица 8. Данные, входящие в перечень 176.

Формат	Данные
Абонентский пункт	Карты радиолокационной отражаемости на горизонтальной и вертикальной поляризациях
	Радиальная скорость
	Ширина доплеровского спектра радиальных скоростей
	Дифференциальная фаза
	Коэффициент кросс-корреляции
	Горизонтальный и вертикальный сдвиг ветра
	Интенсивность осадков
	Турбулентность
	Профиль скорости и направления ветра
	Горизонтальный ветер
	Верхняя и нижняя граница облачности

	Метеорологические явления
	Накопленные суммы осадков за 1, 3, 6, 12 ч.

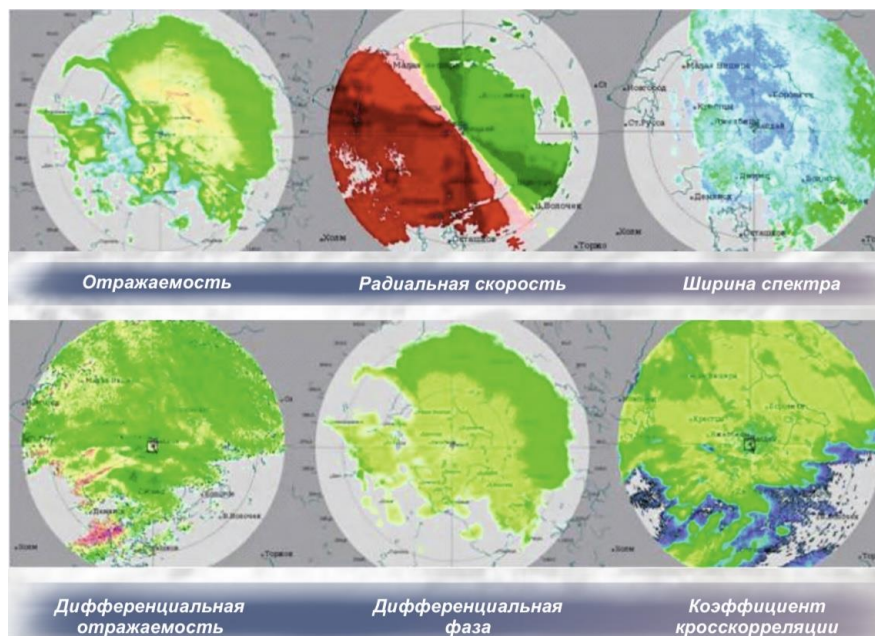


Рисунок 11. Первичные метеорологические данные.

Формат «абонентского пункта», является бинарный файл с определенной структурой. Но в связи с невысокой распространенностью и узкой специализации формата появляются значительные трудности при отображении данных формата появляются значительные трудности при отображении данных на других программных обеспечениях. Из-за этого была решена задача конвертации данных формата HDF5. Список подходящих программных обеспечений для обработки и анализа геоинформационных данных увеличивается. Необходимо иметь формат данных, документируемых и развивающихся вне зависимости от работы компании поставщика данных. Документация по формату находится в свободном доступе, а также для различных языков программирования (FORTRAN, Java, Python, C++). Этот формат используют для представления массивов данных. Геофизические данные лучше всего хранить и обрабатывать, которое прежде всего структурировано в виде массива, где содержится данные различного типа, а

именно символьные числа с плавающей точкой. Во время разработки программного приложения, которое осуществляет тот или иной уровень обработки, необходимо указать место, где размещаются данные определенного типа, не заботясь о их представления или дешифровки.

При каждом обзоре радиолокатор проводит азимутальные круговые сканирования атмосферы по несколькими углами места антенны. При каждом обзоре радиолокационная информация об облачности и отсадках собирается на нескольких конических сечениях в объемном файле первичных данных. Каждый элемент радиолокационных данных в файле соответствуют координаты, а именно дальность, азимут и угол места. Компьютерная обработка позволяет построить по набору первичных радиолокационных данных трехмерную модель облачной атмосферы в зоне радиолокационного обзора в диапазоне дальности и высоте, указанной таблице 4. При частом сканирование угла места ( конических сечений) будет подробно построена модель.

В ДМРЛ-С в настоящее время используется комбинированная стратегия сканирования (СVP) (рис. 12) в диапазоне углов места антенны от 0,1 до 86°: сначала, на низких углах места, наблюдения проводятся с низкой частотой повторения PRF на дальности до 250 км, после чего частота импульсов растёт, и дальнейшее сканирование до 86° проводится с высокой PRF. Чтоб получить



доплеровские продукты высокой частотой повторения качества, проводится повторный проход нижних углов места.

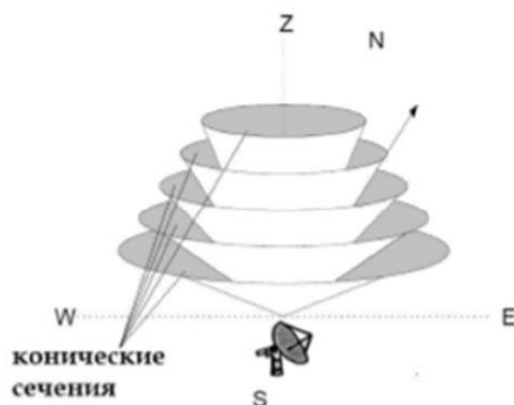


Рисунок 12. Схема скандирования ДМРЛ-С

Радиолокатор каждые 10 мин проводит наблюдения и получает информацию в двух режимах :

- $\text{Inr}$  или отражаемость;
- $\text{Inv}$  или скорость.

Каждое радиолокационное наблюдение является круговым скандированием атмосферы под фиксированными углами места антенны, от  $\sim 0,1^\circ$  до  $\sim 85^\circ$ . При каждом наблюдении выходит набор 22-24 конических сечений, где содержится данные из 360 азимутальных направлений, в каждом сечении содержится информация по дальности до 250 км с разрешением 500м в режиме «Отражаемости» и до 125 км с разрешением по радиусу 250 м в режиме «Скорость».

Радиолокационная информация вместе с информацией метеорологических спутников используются для анализа и прогноза атмосферных процессов, связанные с облачностью и осадками. Уточняется местоположение и перемещение мезомасштабных облачных образований, опасно влияющих на условия полёта самолетов. Данная информация

позволяет синоптикам успешно выделить районы образования гроз, града и шквалов.

Метеорологический радиолокатор обеспечивает получение метеоинформации, указанные в таблице

Таблица 9. Метеоинформация полученная от ДМРЛ-С

Радиолокатор	Метеоинформация
ДМРЛ-С	Местоположение и размеры зон облачности и осадков
	Формы облачности и явления погоды, а также ливни, грозы и град
	Скорость и направление перемещения облачных систем
	Верхняя граница радиоэха облаков, нижняя граница радиоэха облаков верхнего и среднего яруса, а также межоблачные прослойки
	Оценка высоты «яркой полосы», указывающей на расположение слоя таяния и, соответственно, высоту нулевой изотермы в слоисто-дождевой облачности
	Интенсивностей выпадающих осадков и накопленный слой осадков за выбранный интервал времени
	Распределение радиальной доплеровской скорости и ширины спектра, который позволяют оценить сдвиги ветра, степень турбулентности, осредненный вертикальный профиль горизонтального ветра, осредненное распределение горизонтального ветра в зоне обзора на различных высотах
Поляризационные характеристики облачности и осадков позволяют оценить тип гидрометеоров, уточнить измерения интенсивности выпадающих осадков	

Радиолокационные наблюдения с высоким темпом обновления информации даёт возможность отслеживать эволюцию облачности и фиксировать процессы «взрывной конвекции» ( когда за несколько десятков минут происходит развитие грозовой облачности на больших территориях).

При наличии опасных явлений погоды в зоне обзора ДМРЛ-С происходит сигнализация о наличии опасных явлений. Согласно п.2.33 «Сертификационных требований (базиса) к доплеровскому метеорологическому радиолокатору ДМРЛ-С», утвержденных комиссией по сертификации аэродромов и оборудования межгосударственного авиационного комитета (МАК), в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» реализовано наличие сигнализации об опасных явлениях погоды в зоне обзора ДМРЛ-С. При наличии в зоне обзора хотя бы одной ячейки с явлением не ниже 30-70% (см. таблицу ) в правом верхнем углу любой карты ДМРЛ-С загорается мигающий красный транспарант: «опасные явления»

Таблица 10. Метеорологические явления, реализованные в ПО ВОИ «ГИМЕТ - 210»

Код	Явление
0	Отсутствие радиоэхо
1	Облачность верхнего и среднего яруса
2	Слоистообразная облачность
3	Осадки слабые
4	Осадки умеренные
5	Осадки сильные
6	Кучевая облачность
7	Ливень слабый
8	Ливень умеренный
9	Ливень сильный
10	Гроза с вероятностью 30-70%
11	Гроза с вероятностью 71-90%

12	Гроза с вероятностью >90%
13	Град слабый
14	Град умеренный
15	Град сильный
16	Шквал слабый
17	Шквал умеренный
18	Шквал сильный
19	Торнадо (смерч)
31	Отсутствующее значение

### 2.1.1 Характеристики получаемые с помощью ДМРЛ-С

#### 1. Радиолокационная отражаемость или Z

Радиолокационная отражаемость - величина, которая характеризующая отражающие свойства от единичного объема гидрометеоров.

Отражаемость облаков зависит от :

- фазового состава;
- Водности ;
- Спектра размеров облачных частиц.

Из-за этих параметров облака, которые относятся к одному типу имеют разную радиолокационную отражаемость.

Так как диапазон радиолокационных отражаемостей крайне велик, используют логарифмическую измерительную шкалу, а измеряется в dBZ.

#### 2. Высота верхней границы облачности.

Высота верхней границы облачности - характеристика облачности, по которой можно охарактеризовать ту или иную облачность.

### 3. Интенсивность осадков

Интенсивность осадков - слой воды, который падает на единичную площадь за единицу времени, также зависит от концентрации, спектра размеров капель, скорости их падения на Землю.

Обложными осадками считают осадки с интенсивностью около 0,6-3мм/ч, а к ливневым более 3мм/ч. Так как ливневые осадки классифицируются выпадением из кучево-дождевых облаков, а обложные осадки из слоистообразных, таких как As, Sc, то при идентификации учитывается вертикальный структура облачности.

### 4.Вертикально проинтегрированная водность или VIL

Данный параметр оценивает массу воды в жидком состоянии на единицу площади в столбе по вертикальной протяженности кучево-дождевой облачности по данным изменения отражаемость по факту. Параметр вертикально проинтегрированной водности считается одним из самых лучших индикаторов сильных гроз.

## 2.2 Blitzortung

При идентификации грозовой активности с помощью радиолокационного метода работает посредством оценки радиолокационной отражаемости и дополнительной метеоинформации. Увеличивает вероятность идентификации гроз возможен за счёт грозорегистрационных систем.

Система пеленгации обеспечивает точность обнаружения искомого объекта. Исключением не является и системы грозопеленгации.

Существует большое количество систем грозопеленгации коммерческие(пример:Vaisala) и любительские (пример Blitzortung). Коммерческие системы состоят из однопунктовых и многопунктовых пеленгаторов и предоставляют гарантированную точность обнаружения атмосферных разрядов. Получаемые данные о месте разряда молнии можно

использовать в любых целях. Стоимость оборудования коммерческих пеленгаторов крайне высокая. Чтоб развить систему грозопеленгации требуется серьезные финансовые вложения. В связи с этим набрала популярность любительская система Blitzortung, которая с 2005 года развивается в большую общую сеть по всему миру. Принять участие может любой желающий, приобретая стартовый набор примерно за 250 евро и подключить к серверу через интернет. Работает с помощью GPS. На сегодняшний момент сеть обширна (рис 13.) и захватывает полностью Европу, центральная часть России, Африка, Америка, Австралия и т.д.

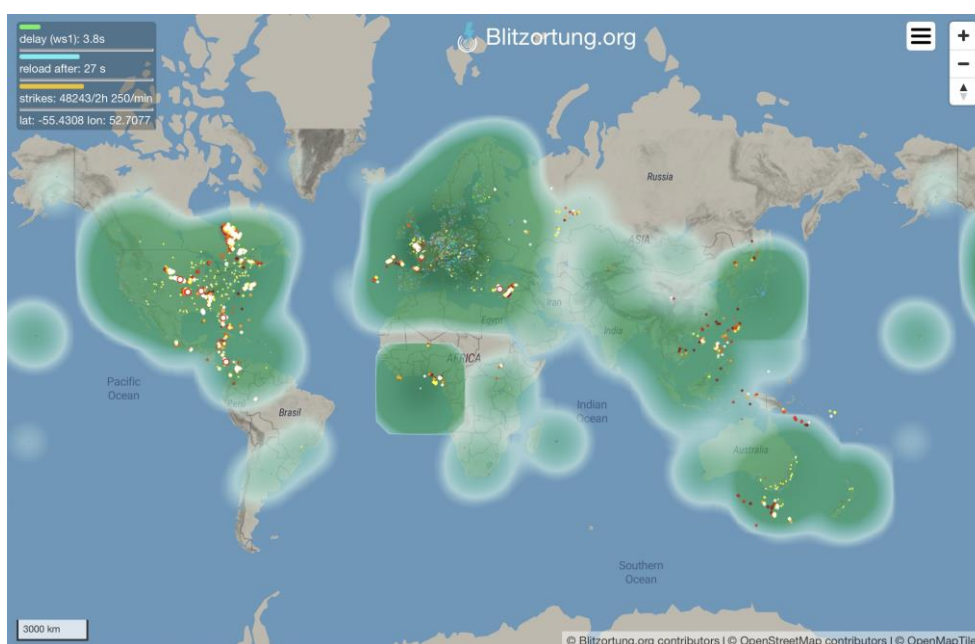


Рисунок 13. Зона покрытия системы «Blitzortung» на 15.05.2022г.

Главный принцип действия системы основан на методе Time-of-Arrival, а именно радиоволна от источника, попадающего в радиус действия синхронизированных между собой пеленгаторов. Самый лучший сигнал будет по центру между тремя пеленгаторами, где сигнал трёх пеленгаторов накладываются друг на друга. По итогу сигнал доходит до пеленгаторов, а по времени события вычисляется координаты источника. Радиус действия грозопеленгатора делится на три зоны указанные в таблице 11.

Таблица 11. Радиус действия

Радиус	Описание
--------	----------

До 150 км	Уверенный приём любых атмосферных разрядов из-за высокой плотности регистраторов
От 150 до 500 км	Хороший приём молний, хорошее покрытие с высокой точностью и эффективностью обнаружения
От 500 до 2000 км	Низкий уровень приёма с вероятностью обнаружения молнии 10-20%

В Санкт-Петербурге и Ленинградской области пересечение зон грозопеленгаторов даёт уверенный приём и среднюю точность при обнаружения электрических разрядов.

### 3. Прогнозирование грозы

Один из точных прогнозов гроз насчитывается по методу Вайтинга. Метод Вайтинга основан на расчете по данным утреннего зондирования параметра  $K$ , который определяется по формуле:

$$K = 2T_{850} - T_{500} - D_{850} - D_{700} \quad (1)$$

где:

$T$  — температура;

$D$  — дефицит температуры точки росы на соответствующем уровне.

При расчете значения  $K < 20$ , то гроза не ожидается, если  $20 \leq K < 25$ , то ожидается изолированные грозы, если  $25 \leq K < 30$ , то в прогнозе указывается отдельные грозы, ну а если величина  $K \geq 30$  — грозы повсеместно.

При прогнозировании гроз по Методу Вайтинга получают результаты при прогнозе гроз не по пункту, а по площади. Синоптик утром, получив данные зондирования атмосферы, для своей территории (зоны ответственности), строит карту изолиний коэффициента  $K$ . Для этого сначала рассчитываются и наносятся на карту значения  $K$ , а затем проводятся изолинии через 5 единиц, начиная со значения 20. Затем очаг с максимальным значением этого коэффициента переносится по потоку на 12 часов, и в том районе, где этот очаг окажется, следует указывать грозы. Данный метод

получил достаточно широкое распространение по территории России. Значения коэффициента К, уточняется для каждого пункта.

При необходимости рассчитанные значения коэффициента К вводится поправка на кривизну приземных изобар. Величину поправки можно взять из Таблицы 12.

Таблица 12. Величина поправки на кривизну приземных изобар.

R,км	>1000	1000-500	500-250	<250
Zn	0	1.0	1.4	2.0
AZn	0	-1.0	-1.4	-2.0

Совершенство метода Вайтинга, Н. П. Фатеев предложил использовать для прогноза гроз параметр А, который полнее учитывает распределение влажности по высотам:

$$A = T_{850} - T_{500} - (D_{850} + D_{700} + D_{600} + D_{500}) \quad (2)$$

Если по расчетам  $A \geq 0$ , то в прогнозе следует указывать грозу.

#### **4. Связь радиолокации с электричеством по результатам исследования ДМРЛ в Ленинградской области**

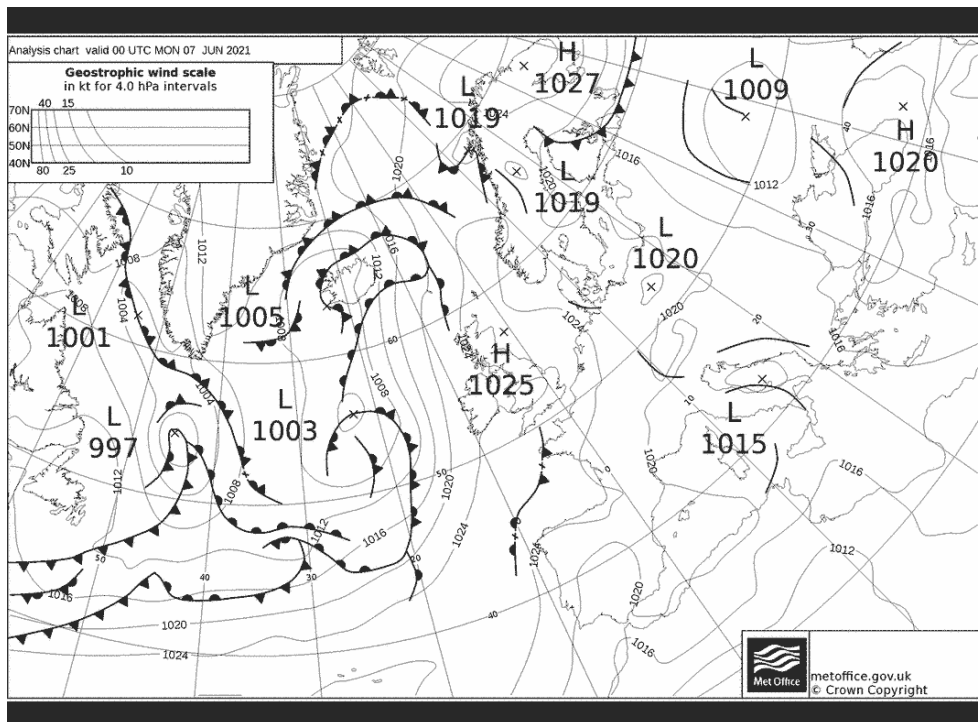
##### **4.1 Аэросипнатиический анализ 07.06.2021г.**

По данным синоптического анализа 07 июня 2021г. в Ленинградской области наблюдалось:

- Ночью ясная погода без осадков и погодных явлений. Температура воздуха поднялась до +13-+14 градусов Цельсия. Ветер наблюдался южный, 1 м/с. Влажность воздуха составляет от 84-90%.
- Днём наблюдалась сплошная облачность более 5 баллов, слабые ливневые осадки. Температура воздуха прогрелась до +15-+21 градусов Цельсия. Ветер поменял своё направление с Южного до Юго-западного 1-3 м/с с порывами до 11 м/с. Влажность воздуха составляла 51-81%.



Циклон находится севернее Ленинградской области (рис.14). Кучево-дождевая облачность проходила над юго-западной частью Ленинградской



области в районе деревни Белогорка.

Также проведён синоптический анализ 07 июня 2021 года в деревне Белогорка. За этот день наблюдалось:

Рисунок 14. Синоптическая карта за 07.06.2021г.

- Ночью наблюдалась облачная погода, без осадков. Температура воздуха нагрелась +11-+14 градусов Цельсия. Атмосферное давление 762 гПа. Ветер ЗЮЗ, 1-2м/с. Влажность воздуха составляет 90-97%.
- Днём наблюдалась облачная погода (кучево-дождевая облачность), гроза с ливневыми осадками. Выпало 4,0 мм осадков. Температура воздуха составляла +17-+25 градусов Цельсия ( 17 градусов наблюдалось во время грозы). Атмосферное давление 762 гПа. Ветер ССВ, 1-2 м/с ( во время грозы штиль). Влажность воздуха составляла 39-100% ( во время грозы 100%).

Из данного анализа можно понять, что грозовая облачность проходила по юго-западной части Ленинградской области и двигалась на северо-запад. Вполне очевидно так как в Европейской части России преобладает северо-

западный перенос воздушных масс. Но хоть и грозовая облачность и занимала большую зону, гроза в этот день наблюдалась только в деревне Белогорка, а в Санкт-Петербурге облачная погода, без осадков.

#### 4.2 Аэросипнатический анализ 01.08.2021г.

По данным синоптического анализа 01 августа 2021 г. в Ленинградской области наблюдалось:

- Ночью была ясная погода, без осадков. Температура воздуха наблюдалось +21-+23 градусов Цельсия. Ветер северный 1м/с. Влажность была 64-77%
- Днём была ясная погода без осадков. Температура прогрелась до +27-+36 градусов Цельсия. Ветер северный 1-2м/с. Влажность воздуха была 18-49%.

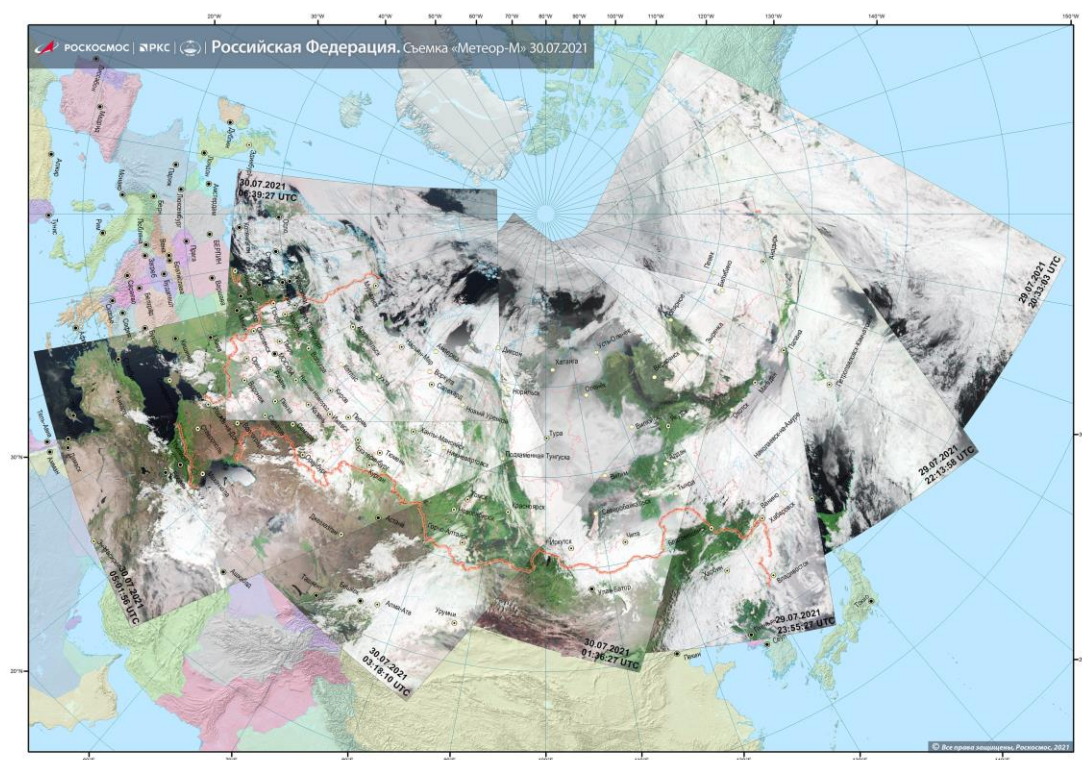


Рисунок 15. Карта облачности за 30.07.2021г.

Циклон образовался восточнее Санкт-Петербурга над Таллином и Хельсинки (рис.15). Кучево-дождевая облачность находится в северо-западной части Ленинградской области в районе города Тихвин.

Также проведён синоптический анализ 01 августа 2021 года в городе Тихвин.

За этот день наблюдалось:

- Ночью ясная погода, без осадков. Температура наблюдалась +13-+15 градусов Цельсия. Давление составляет 753-754 гПа. Ветер Ю , ЮЮЗ 1 м/с. Влажность воздуха 89-91%.
- Днём наблюдалась облачная погода с ливневыми осадками и грозой. Количество выпавших осадком 12,0 мм. Температура воздуха варьировалась от +18 до +22 градусов Цельсия ( во время грозы температура воздуха составляла +18 градусов Цельсия). Давление составляло 752 гПа. Ветер менялся с северного на южный 1 м/с (во время грозы был южный ветер 1 м/с). Влажность 75-96% (во время грозы влажность составляла 96%).

Из анализа можно сделать вывод, кучево-дождевая облачность проходила по юго-западной части Ленинградской области и грозовой очаг находился над городом Тихвин. По остальным населенным пунктам в данный день гроза и ливневые осадки наблюдались, а в остальных городах, в том числе в городе Санкт-Петербург была ясная погода без осадков.

#### **4.3 Прогноз грозы по методу Фатеева.**

Для прогноза грозы по методу Фатеева была взята аэрологическая диаграмма станции 26075 Санкт-Петербург за даты 07.06.2021 и 01.08.2021 00 UTC.

Сформируем прогноз по методу Фатеева за 07.06.2021. Возьмём данные с аэрологической диаграммы (рисунок 16) и данных температурно-ветрового зондирования (таблица 13).

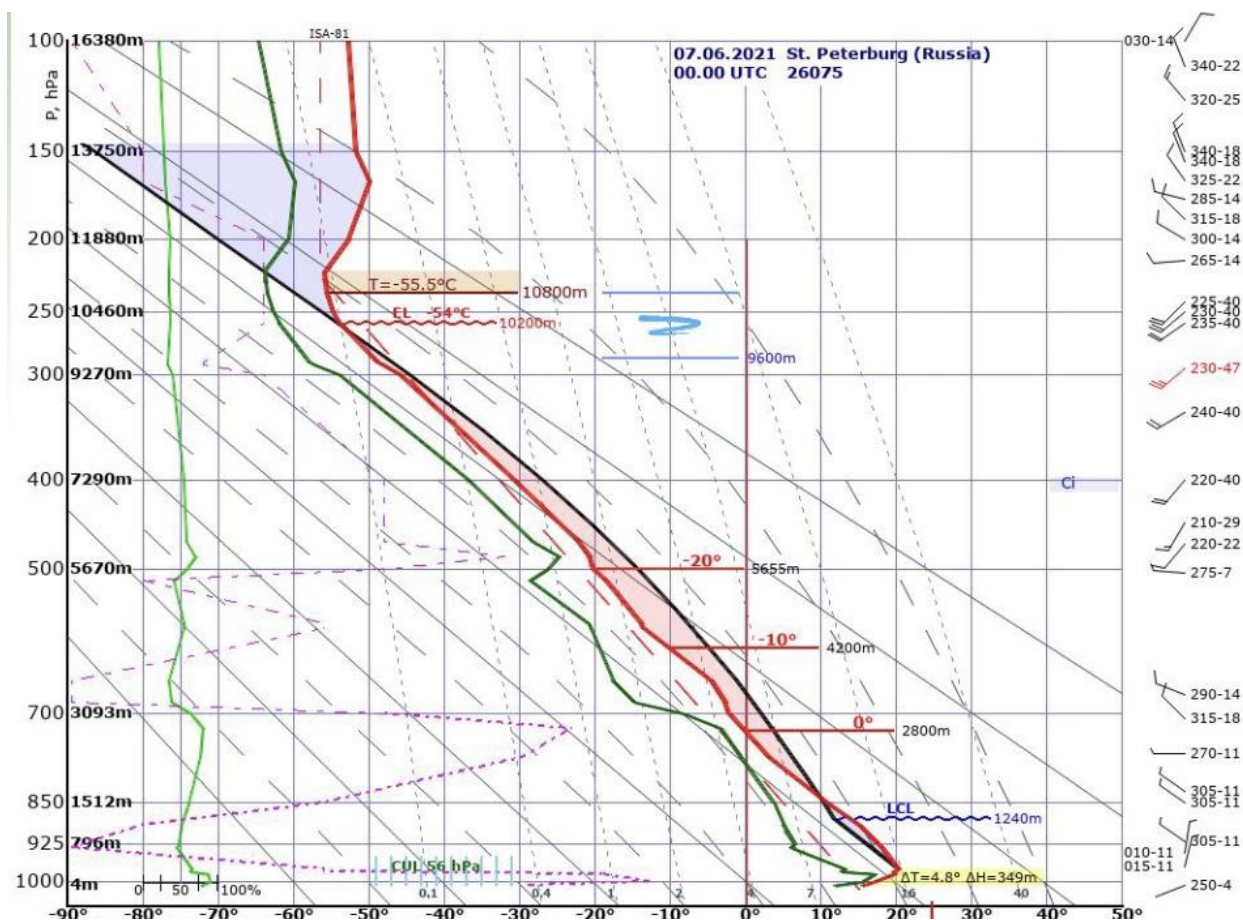


Рисунок 16. Аэрологическая диаграмма за 07.06.2021 на станции 26075 Санкт-Петербург.

Таблица 13. Данные температурно-ветрового зондирования атмосферы за 07.06.21

Р, гПа	Н,м	Т, град.Цельсия	D,град.Цельсия	ddd,`	V, м/с
1006	4	15.6	3,6	250	1
1000	127	17,2	1,6	275	2
925	796	17,6	1,0	315	3
850	1512	10,8	7,0	305	3
700	3093	-2,1	6,0	315	5

500	5670	-20,1	6,0	260	3
400	7290	-30,7	6,0	220	11
300	9270	-45,9	8,0	230	12
250	10460	-54,7	8,0	230	11
237	10800	-55,5	8,0	235	10
200	11880	-52,7	8,0	300	4
150	13750	-51,7	10,0	340	5
100	16380	-52,7	12,0	30	4

По данным температурного-ветрового зондирования и аэрологической диаграмме зона тропопаузы находится на 10 800 м. Стратификация является неустойчивой.

Для расчёта коэффициента А по методу Фатеева нам нужны данные температуры на барических ступенях 850 гПа и 500 гПа, а также дефицит на барических ступенях 850 гПа, 700гПа, 600гПа( методом интерполяции) и 500 гПа. Температура на 850 гПа составляет 10,8 градусов Цельсия , на 500 гПа составляет -20,1 градусов Цельсия. Дефицит на 850 гПа составляет 7,0 градусов Цельсия, на 700 гПа, 600 гПа и 500 гПа составляет 6,0 градусов Цельсия. Расчитаем по формуле:

$$A = T_{850} - T_{500} - (D_{850} + D_{700} + D_{600} + D_{500}) = 10,8 - (-20,1) - (7,0 + 6,0 + 6,0 + 6,0) = 5,9$$

После расчетов коэффициент А равен 5,9 , а при А >0 прогнозируется гроза, то мы можем сделать вывод, что 07.06.2021 на площади Санкт-Петербурга и Ленинградской области ожидается гроза.





400	7230	-28,3	11,0	250	25
300	9220	-44,1	8,0	260	30
250	10430	-52,1	8,0	255	26
248	10500	-52,3	8,0	255	26
200	11880	-46,7	9,0	250	22
150	13790	-46,9	12,0	255	20
100	16470	-48,3	15,0	250	12

По данным температурно-ветрового зондирования и аэрологической диаграммы мы видим, что уровень тропопаузы находится на высоте 10 500м. Стратификация атмосферы неустойчивая.

Для расчёта коэффициента А по методу Фатеева нам нужны данные температуры на барических ступенях 850 гПа и 500 гПа, а также дефицит на барических ступенях 850 гПа, 700гПа, 600гПа( методом интерполяции) и 500 гПа. Температура на 850 гПа составляет 9,6 градусов Цельсия , на 500 гПа составляет -17,3 градусов Цельсия. Дефицит на 850 гПа составляет 2,3 градусов Цельсия, на 700 гПа, 600 гПа и 500 гПа составляет 6,0 градусов Цельсия. Расчитаем по формуле:

$$A = T_{850} - T_{500} - (D_{850} + D_{700} + D_{600} + D_{500}) = 9,6 - (-17,3) - (2,3 + 6,0 + 6,0 + 6,0) = 6,6$$

После расчетов коэффициент А равен 6,6, а при А >0 прогнозируется гроза, то мы можем сделать вывод, что 01.08.2021 на площади Санкт-Петербурга и Ленинградской области ожидается гроза.

Тем самым зная, что 01 августа 2021 года и 07 июня 2021 года, прогнозируется гроза мы сможем сравнить точность и установить связь радиолокации с электричеством с помощью ГПС «Blitzortung» и ДМРЛ-С.

#### **4.4 Связь радиолокации с электричеством.**

Для установления связи радиолокации и электричества рассмотрим данные ДМРЛ-С и ГПС «Blitzortung» за 01.08.2021 и 07.06.2021. Для

сравнении точности будет сравниваться прогноз, фактические данные и данные ДМРЛ-С и ГПС «Blitzortung за 07.06.2021 и 01.08.2021г.

Проведем анализ данных за 07.06.2021. Вначале проведём анализ радиолокационных данных ДМРЛ-С (рисунок 18 и 19).

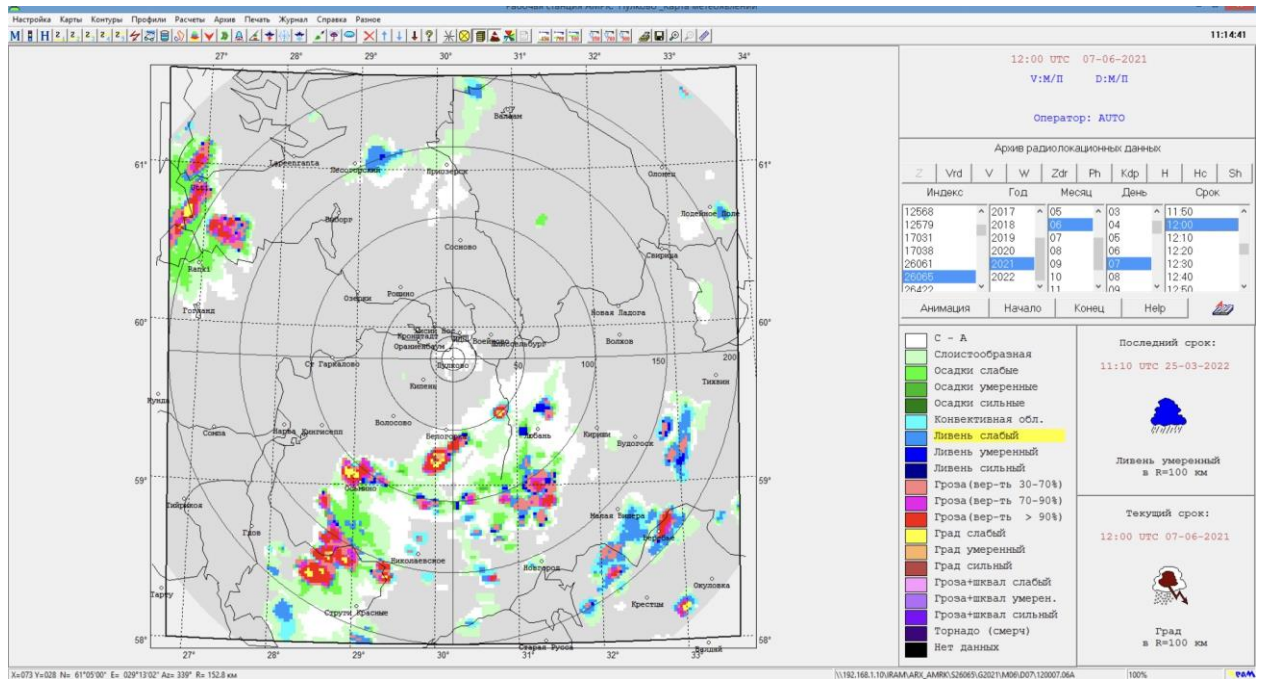


Рисунок 18. Радиозэхо за 07.06.2021

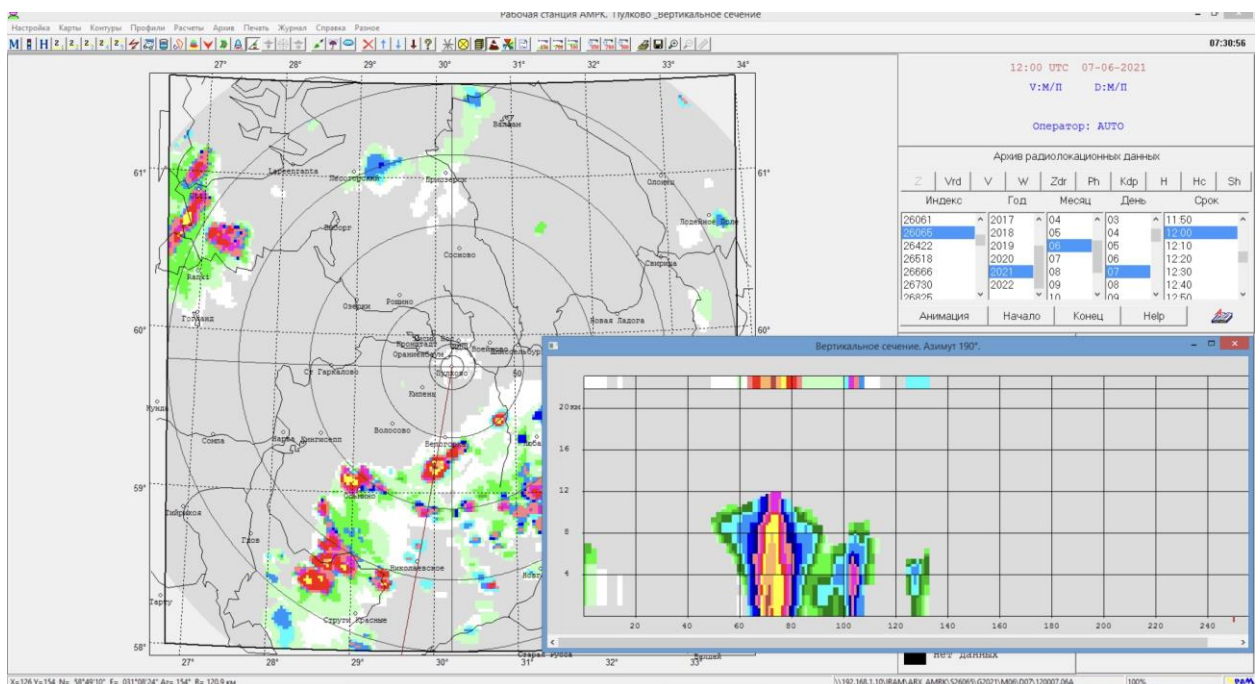


Рисунок 19. Вертикальный срез радиозэха за 07.06.2021



По радиоэхо грозовое облако протянулось с юго-востока до юго-запада, небольшими очагами, самый сильный очаг, где присутствует красная зона (гроза с вероятностью >90%) и желтая, оранжевый и с коричневой зоной (град слабый, умеренный и сильный) находится южнее деревне Белогорка. Остальные небольшие зоны с красными зонами (вероятность >90%) находятся над Осьмино, над Веребье, восточнее Николаевское и Струги Красные.

Сделаем разрез очага южнее деревни Белогорка. Протяжение по вертикали радиоэхо (т.е. кучево-дождевой облачности) составляет 12 км, а по горизонтали протяженность 60 км. По вертикальному сечению видно (по толщине слоя) ярко выражена зона розового (гроза. 70-90%), желтого цвета (град), а в середине радиоэха присутствует красная зона (гроза >90%).

Для связи радиолокации также сравним данные ГПС «Blitzortung» за 07.06.2021. У ГПС два вида подачи информации в виде карты со вспышками (рисунок 20) и карты с ячейками с временными метками (рисунок 21). Сравним оба вида карты.

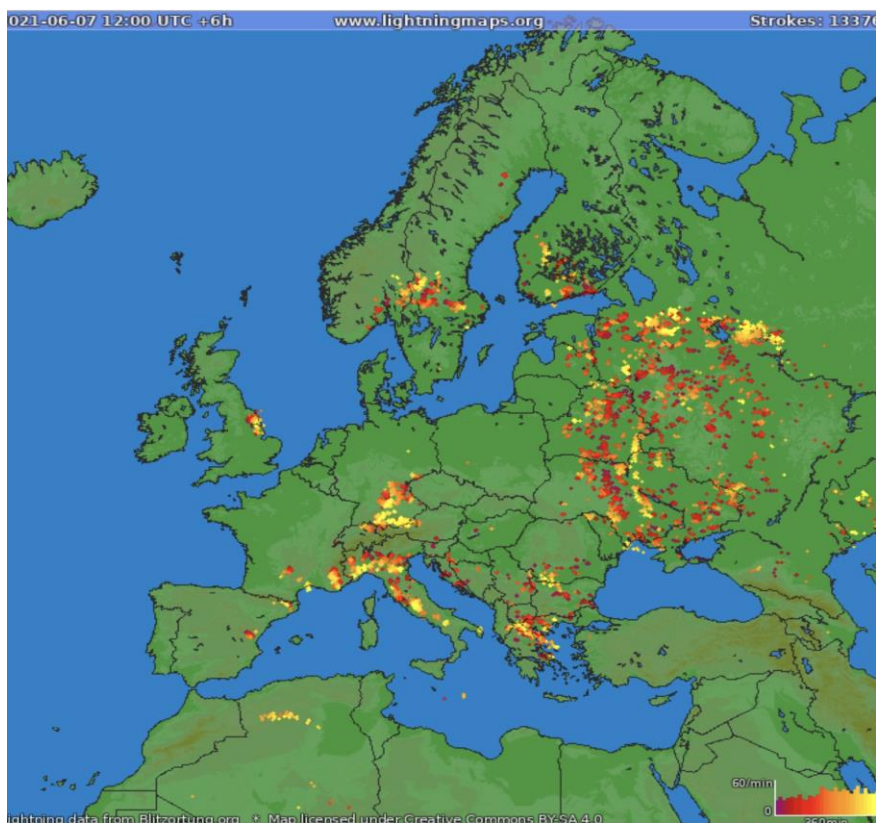


Рисунок 20. ГПС «Blitzortung» в виде вспышек за 07.06.2021.

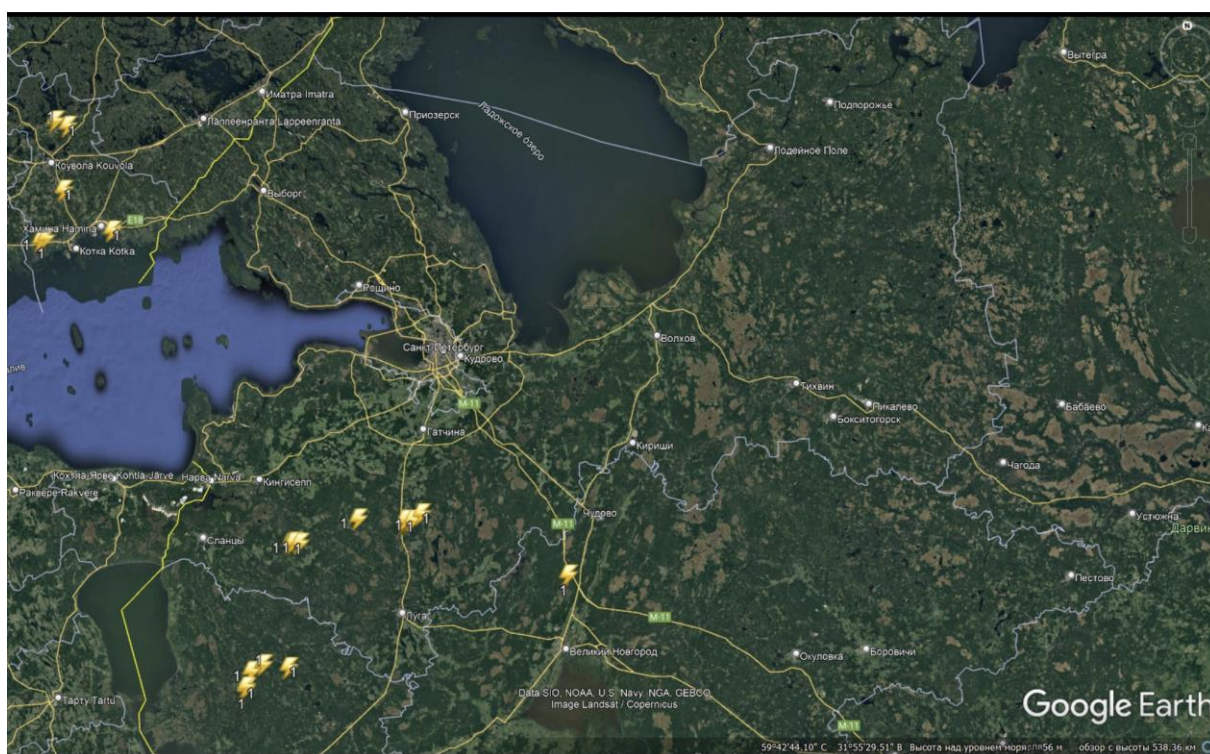


Рисунок 21. ГПС «Blitzortung» в виде ячеек за 07.06.2021.

Сравнив данные можно сказать, что в карте со вспышками видно что все 2 вспышки попадали над деревней Белогорка, а по карте ячеек видно, что грозовые ячейки распространены по всей Ленинградской области, но над деревней Белогоркой было 40 уд/мин.

Проведем анализ данных за 01.08.2021. Вначале проведём анализ радиолокационных данных ДМРЛ-С (рисунок 22 и 23).



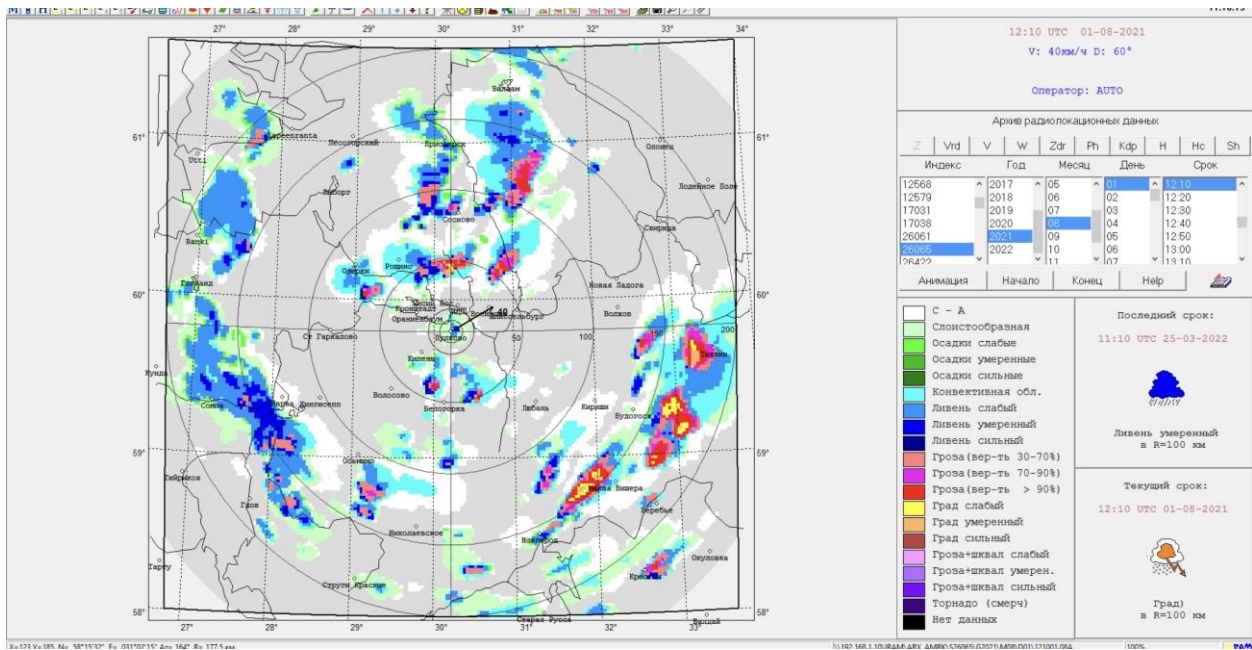


Рисунок 22. Радиозэхо за 01.08.2021

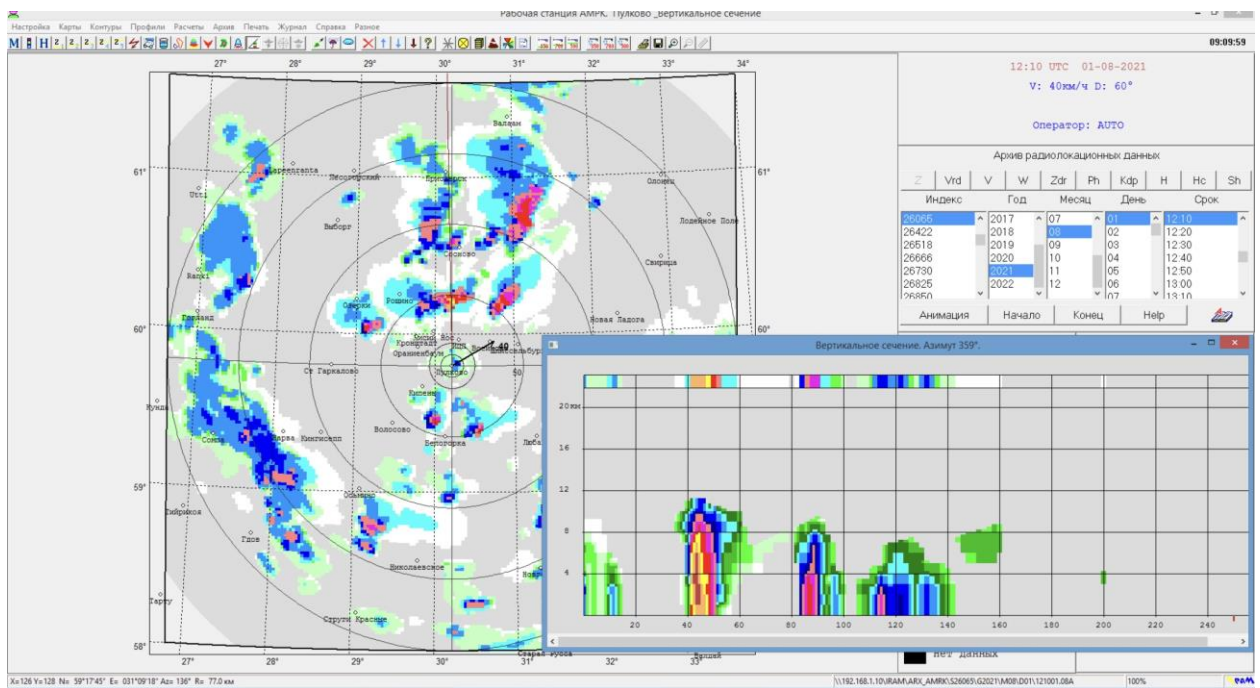


Рисунок 23. Вертикальный срез радиозэха за 01.08.2021

По радиозэхо грозовое облако протянулось по всей Ленинградской области, небольшими очагами, самые сильные очаги, где присутствует красная зона (гроза с вероятностью >90%) и желтая, оранжевой зоной (град слабый, умеренный) находятся над городом Тихвин, восточнее Малой Вишерой и западной Будогоска. Остальные небольшие зоны с красными зонами (вероятность >90%) находятся западнее Сосново и Роцино.

Сделаем разрез очага над городом Тихвин. Протяжение по вертикали радиоэхо ( т.е кучево-дождевой облачности) составляет 11 км, а по горизонтали протяженность 19 км. По вертикальному сечению видно(по толщине слоя) ярко выражена зона розового (гроза. 70-90%), желтого , оранжевого и коричневого цвета (град слабый сильный и умеренный) в центре, а также присутствует красная зона (гроза >90%). Отдельно присутствует ещё радиоэхо кучево-дождевой облачности с красной зоной в центре.

Для связи радиолокации также сравним данные ГПС «Blitzortung» за 01.08.2021. Также сравним два вида подачи информации в виде карты со вспышками (рисунок 24) и карты с ячейками с временными метками(рисунок 25).

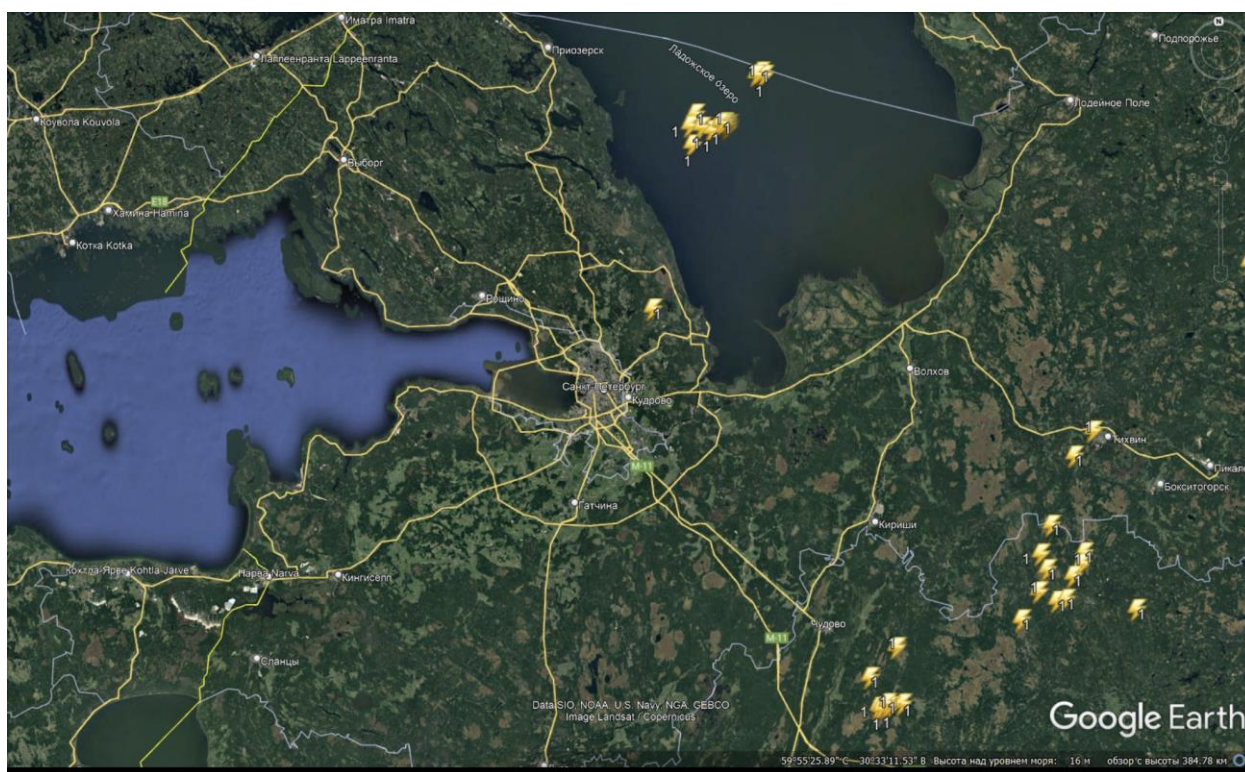


Рисунок 24. ГПС «Blitzortung» в виде вспышек за 01.08.2021



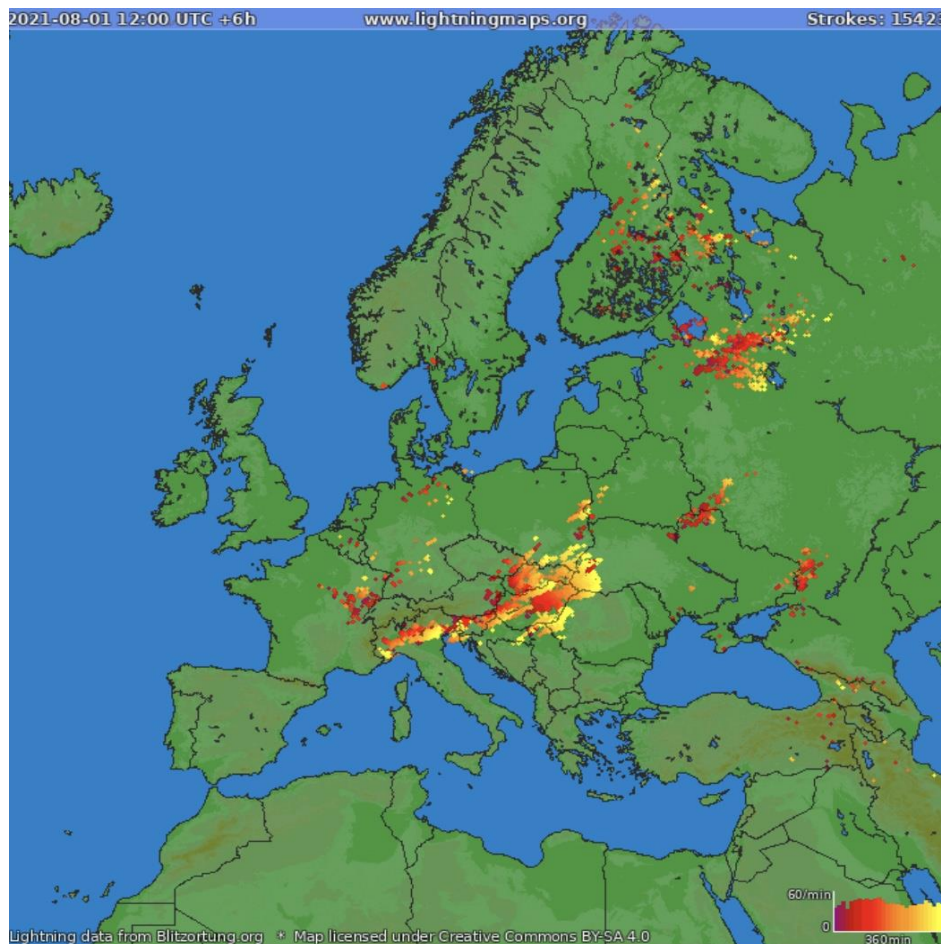


Рисунок 25. ГПС «Blitzortung» в виде ячеек за 01.08.2021.

Сравнив данные можно сказать, что в карте со вспышками видно что все 2 вспышки попадали над городом Тихвин и 10 вспышек были южнее города Тихвин , а по карте ячеек видно, что грозовые ячейки распространены по западной части Ленинградской области, но над городом Тихвин было 30-40 уд/мин.

Сравнив данные ДМРЛ-С, ГПС «Blitzortung», прогноза по методу Фатеева и фактических данных. Подведя все анализы и собрав всю информацию сведём всю информацию в таблицу 15 и 16.

Таблица 15 Анализ данных по деревне Белогорка и Ленинградской области за 07.06.2021.

Метод	Анализ
Прогноз по методу Фатеева	По Ленинградской области и Санкт-Петербургу прогнозировалась гроза
Фактические данные	По всей Ленинградской области была облачная погода без осадков, кроме деревни Белогорка

ДМРЛ-С	Грозовые ячейки находились с юго-восточной по юго-западную часть Ленеградской области, но грозовая ячейка, где наблюдались ячейки с градом находится рядом с деревней Белогорка
ГПС «Blitzortung»	На карте вспышек надо деревней Белогорка были две вспышки грозы, а на карте грозовых ячеек, грозовые ячейки находились по всей Ленинградской области в том числе и над деревней Белогорка.

Таблица 16. Анализ данных по городу Тихвин и Ленинградской области за 01.08.2021.

Метод	Анализ
Фактические данные	По всей Ленинградской области наблюдалась ясная погода без осадков, кроме города Тихвин где наблюдался ливневой дождь с грозой
ДМРЛ-С	Грозовые ячейки наблюдались по всей территории Ленинградской области небольшими ячейками, а самые большие очаги где наблюдались градообразующие облака находились над и западнее города Тихвин.
ГПС «Blitzortung»	Вспышки и очаги на двух картах находились над городом Тихвин. Над городом Тихвин были 2 вспышки, а западнее 10 вспышек молнии.
Прогноз по методу Фатеева	Над Ленинградской областью ожидалась гроза

Проанализировав все данные (таблица 15 и 16) можно сказать, что при наблюдениях с помощью ДМРЛ-С и ГПС «Blitzortung» (обеих карт) увеличивает точность обнаружения грозы. Так как по радиоэхо ДМРЛ-С и по ячейкам ГПС «Blitzortung» (карта ячеек) можно увидеть перемещение грозообразующей области, а с помощью ДМРЛ-С и вспышек ГПС «Blitzortung» (карта вспышек) можно определить где точно идёт гроза. Таким

образом в совмещении этих двух методов обнаружения грозы увеличивает точность прогнозирования и индентификации гроз.

## Заключение

В данной работе были проведены следующие данные:

1. Были собраны данные температурно-ветрового зондирования и аэрологический диаграммы за 07.06.2021 и 01.08.2021.
2. Произвели прогноз по методу Фатеева. Расчитано, что за 07.06.2021 коэффициент А составлял 5,9 (ожидается гроза) и 01.08.2021 составлял 6,6 (также ожидается гроза)
3. Собраны и проанализированы фактические данные погода по Ленинградской области ( за 07.06.2021 и 01.08.2021) и по деревне Белогорка (за 07.06.2021) и городу Тихвин( за 01.08.2021). По данным фактической погоды гроза наблюдалась на территории деревни Белогорка и города Тихвин.
4. Собраны и проанализированы данные ДМРЛ-С и ДМРЛ-С и ГПС «Blitzortung» за 07.06.2021 и 01.08.2021.

В заключение по собранным и проанализированным данным можно сделать вывод, что связь радиолокации с электричеством, а именно ДМРЛ-С и ГПС «Blitzortung» даёт более точные данные для прогнозирования и идентификации расположения гроз. Также хочу заметить, что при наблюдении гроз на ДМРЛ-С грозы наблюдались, только в тех зонах, где присутствовали зоны с градом и наоборот где ячейка была с красной зоной (гроза с вероятностью >90%) гроза фактически не наблюдалась, то есть была внутримассовой. Поэтому для точности необходимо связывать ДМРЛ-С с ГПС «Blitzortung» и другими грозопеленгационными системами.



## Список литературы

1. Абшев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М., Мизиева Ж.Ю. О водозапасах ливневых и градовых облаков // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. - 2008 г. - с. 105-109.
2. Бурцев А.В., Фастий Г.П., Ярошевич В.В., Сопоставление результатов регистрации различных систем грозопеленгации в Кольском регионе //Труды Кольского научного центра РАН- 2018г. - с. 48-52.
3. [lightningmaps.org](http://lightningmaps.org) - архив карт ГПС «Blitzortung» ( карт с ячейками).
4. [www.roscosmos.ru](http://www.roscosmos.ru) - карты облачности над Российской Федерацией.
5. [www.wetterzentrale.de](http://www.wetterzentrale.de) - архив барических карт Европы и Центральной России.
6. Методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике- третья редакция- Москва, 2019 г. - 129с.
7. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. С СПб.: Гидрометеиздат, 1965 г. -876с.
8. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды. - СПб.: изд. «БХВ-Петербург».- 2010.- 288с.
9. [lemz.ru](http://lemz.ru) - сайт производителя ДМРЛ-С.
10. [flymeteo.org](http://flymeteo.org) - архив аэрологических диаграмм.
11. А.В. Назаренко Опасные природные явления-Издательство-полиграфический центр Воронежского государственного университета- часть3 - 2008г.- 62с.