



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

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

(бакалаврская работа)

На тему «Комплексный анализ зон осадков с использованием данных локаторов и осадкомеров»

Исполнитель

Богдановский Иван Александрович
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)
кандидат физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

« 19 » мая 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

Введение.....	3
1 Атмосферные осадки и атмосферные фронты	4
1.1.1 Осадки, образующиеся в облаках.....	5
1.1.2 Наземные гидрометеоры	6
1.2 Атмосферные фронты.....	7
1.2.1 Теплый фронт	7
1.2.2 Холодный фронт	7
1.2.3 Фронт окклюзии	8
2 Средства измерения атмосферных осадков: осадкомер и локатор.....	10
3. Комплексный анализ зон осадков с использованием данных локаторов и осадкомеров в осенний период.....	14
3.1 Эволюция зон осадков при прохождении теплого фронта 25 ноября.....	14
3.2 Эволюция зон осадков при прохождении фронта окклюзии 26 ноября.....	24
3.3 Эволюция зон осадков при прохождении двух фронтальных систем 30 ноября.....	34
4.1 Эволюция зон осадков при прохождении теплого фронта 28 января.....	41
Заключение	51
Список источников	53

Введение

Земля – геоид, окруженный множеством геосфер, влияющих на большинство процессов, происходящих на нем. Атмосфера, как одна из основных сфер, имеет огромное значение в жизни всего живого на этой планете, именно в этой оболочке, состоящей из смеси различных газов происходят процессы напрямую влияющие на жизнь различных организмов.

Человек, как наиболее развитый обитатель Земли, проявил интерес к воде, временами капающей с неба попутно основав науку – Метеорологию, описывающую большинство процессов происходящих в атмосфере. Одним из самых важных разделов данной дисциплины являются осадки, представляющие собой – воду, в жидком или твердом состоянии выпадающую из облачности разных типов.

Испарившись, вода становится частью воздуха, поднимаясь в разреженные слои атмосферы, где в последствии она конденсируется, охлаждается и падает обратно на землю или в водоем. Данный цикл в конечном итоге приводит к появлению зоны осадков. Однако не во всех уголках нашей планеты осадки выпадают с одинаковым интервалом или регулярностью, сконденсированная влага, выпадающая из облака покрывает разные площади с различной интенсивностью, варьирующейся от случая к случаю.

На метеорологических станциях, собирают информацию не только о типе, но и количестве осадков. Как и любая другая метеорологическая величина, осадки имеют свою единицу измерения – миллиметры (мм), где под 1мм имеют ввиду один литр воды, выпавший на один квадратный метр поверхности.

Цель работы: провести комплексный анализ зон осадков с использованием данных локаторов и осадкомеров.

1 Атмосферные осадки и атмосферные фронты

1.1 Атмосферные осадки и их типы

Для грамотной систематизации, метеорологическое сообщество разделило несколько видов осадков по типам, ранжируя их по структуре, размеру и условию их возникновения.

Возникновение осадков может происходить при различных обстоятельствах, но структуру определяет температура воздуха в момент их образования.

При температуре выше нуля, осадки наблюдаемые на земле будут представлены в виде жидкости, по форме напоминающую капли, размер в таком случае будет определяться типом облачности из которой они выпали.

При температуре ниже нуля, осадки наблюдаемые на земле будут представлены в виде снежных кристалликов или хлопьев, как и в случае с жидкими осадками, размер в этом случае будет зависеть от типа облачности.

Образование осадков может происходить либо в облачности, с последующим их выпадением на земную поверхность, либо возникать в результате конденсации водяного пара у земли на различных объектах.

Большинство осадков образующихся в облачности можно разделить по их характеру их выпадения. Они бывают:

- обложными – тип осадков, выпадающий преимущественно из слоистой облачности, отличается малым размером капель, монотонной интенсивностью и большой продолжительностью как по времени, так и значительной площадью выпадения; [11]
- ливневыми – дождь, выпадающий преимущественно из кучевой облачности и ее производных, осадки при таком типе имеют средние

или большие размеры, отличается внезапностью возникновения и большой интенсивностью. [11]

1.1.1 Осадки, образующиеся в облаках

Дождь – жидкий тип осадков имеет форму капли.

Ледяной дождь – смешанный тип осадков, имеющий форму капли, выпадает при отрицательной температуре. Внешний слой капли представлен замороженной оболочкой внутри которой находится вода, при соприкосновении с поверхностью, внешний слой повреждается оставляя после себя небольшое количество воды. Данный тип дождя может приводить к появлению гололеда.

Морось – жидкий тип осадков, представляющий собой капли очень малого диаметра, из-за своих размеров падают на землю с очень маленькой скоростью, от чего кажется, что они взвешены в воздухе. [11]

Снег – твердый тип осадков, имеющий форму ледяных кристаллов (снежинок), образуется в результате переохлаждения и замерзания капелек воды.

Мокрый снег – смешанный тип осадков, имеет как каплевидную форму, так и форму ледяных кристаллов, образуется при положительной температуре близкой к 0°C , когда снежинки таят в полете, долетая до земли уже в жидком состоянии.

Ледяная крупа – твердый тип осадков, выпадающий из кучевой облачности, по форме представляют собой ледяную частичку с коагулирующими каплями воды, которые в последствии замерзают. Данный тип осадков выпадает при температуре около 0°C .

Снежная крупа – твердый тип осадков, по форме представляют собой ледяную частичку с коагулирующим каплями воды. Данный тип осадков выпадает при температуре около 0°C .

Снежные зерна – твердый тип осадков, по форме представляют собой ледяные частицы разных форм, образуется при отрицательной температуре и выпадают преимущественно из слоистой облачности.

Ледяные иглы – твердый тип осадков, по форме представляют собой ледяные частицы разных форм с диаметром до 1мм. При появлении находятся в воздухе в взвешенной позиции, так же могут выпадать из перистых облаков.

Град – твердый тип осадков, по форме представляет собой ледяные частицы, преимущественно сферической формы, градины могут достигать размера 20+см. Образуются и выпадают при прохождении кучевой облачности. [11]

1.1.2 Наземные гидрометеоры

Второй тип осадков образуется непосредственно на различных поверхностях, находящихся у земли, путем конденсации или кристаллизации на них водяного пара. [7]

Жидкий налет – тип осадков, образующийся при оттепелях, когда температура воздуха выше, чем температура поверхности.

Иней – твердый тип осадков, образующийся при кристаллизации водяного пара на поверхности с плохой теплопроводностью.

Твердый налет – твердый тип осадков, образующийся на наветренных сторонах различных предметов, появляется в результате сублимации водяного пара.

Изморозь – твердый тип осадков, представляющий собой ледяные отложения, образующиеся в холодную погоду на поверхностях чья температура слегка выше или равна 0°C.

Гололед – твердый тип осадков, образующийся в результате замерзания жидких атмосферных осадков на поверхности земли, при температуре близкой к 0°C.

1.2 Атмосферные фронты

При более близком изучении осадков, выпадающих из облачности, метеорологическое сообщество установило некоторые процессы, которые влекут за собой появление тех или иных атмосферных явлений.

Одним из самых ярких примеров, напрямую влияющих на появление осадков являются – атмосферные фронты.

Атмосферный фронт возникает в результате взаимодействия двух отличающихся друг от друга по температуре воздушных масс, как итог они создают и приносят облачность различных типов во все уголки Земли.

По своей природе данное явление разделяют на три основные группы:

Фронт, появившиеся из-за натекания более теплого воздуха на более холодную воздушную массу - теплый, клин более холодного воздуха вытесняет вверх более теплую воздушную массу – холодный, или при смыкании двух фронтов разных типов - окклюзии. [5]

1.2.1 Теплый фронт

Теплый фронт – возникает когда теплый воздух медленно натекает на поверхность холодной воздушной массы, медленно вытесняя последнюю. Характеризуется наличием большого количества слоистой и высокослоистой облачности, которая, в свою очередь, приносит с собой обложные осадки, из-за природы фронта его облачная система может достигать больше 300км.

1.2.2 Холодный фронт

Холодный фронт – явление, имеющие два типа, который зависит от природы его возникновения.

Холодный фронт первого рода возникает, когда клин холодного воздуха, медленно выталкивает вверх теплый воздух, создавая упорядоченный вертикальный поток. При прохождении холодного фронта первого рода, в пункте, над которым он замечен можно наблюдать большое количество слоистой облачности (находящейся за линией фронта) и ее производные, а так же осадки обложного типа. По своей сути является зеркальным отражением теплого фронта.

Холодный фронт второго рода появляется, когда клин холодного воздуха быстро и резко подтекает под теплую воздушную массу, создавая в процессе неупорядоченный вертикальный поток, возникающий в результате вынужденной конвекции. При прохождении холодного фронта второго рода, в пункте, над которым он проходит можно отметить большое количество кучевой и кучево-дождевой облачности, несущей с собой сильные, ливневые осадки. Облачная система фронта обычно не превышает 100км.

1.2.3 Фронт окклюзии

Фронт окклюзии – получил свое название из-за процесса, в результате которого он появляется, образуется в результате процесса окклюдирования циклона – перехода из стадии молодого циклона в стадию окклюдированного циклона.

Появившийся в результате данного процесса фронт может быть сформирован по типу теплого или по типу холодного фронта. При формировании по типу теплого фронта, фронт окклюзии будет иметь более теплую воздушную массу за проходящим холодным фронтом и более холодную воздушную массу перед прошедшим теплым фронтом. Для возникновения окклюзии по типу холодного фронта необходимо, чтобы воздушная масса перед теплым фронтом имела более высокую температуру, чем температура воздушной массы находящейся за холодным фронтом.

Так же выделяют фронт нейтральной окклюзии – возникающий, когда между воздушными массами в процессе окклюдирования циклона нет значительной температурной разницы. Появившееся образование не будет нести за собой никаких значительных атмосферных явлений и быстро размоется.

После обнаружения и описания процессов, происходящих в атмосфере, появилась нужда в заблаговременном поиске различных явлений, несущих человеку различные неудобства или даже опасность. Следить за одной из самых неприятных переменных погоды – осадками, начали еще 400-500 лет до нашей эры с помощью дождемеров, прибора для измерения количества выпавших осадков. Пронеся данную технологию сквозь года, человечество ее улучшило, превратив в осадкомер.

2 Средства измерения атмосферных осадков: осадкомер и локатор

2.1 Осадкомер

Осадкомер – прибор входящий в базовый набор всех метеорологических площадок. Обеспечивает наблюдателя информацией о количестве выпавших осадков каждые двенадцать часов, измерения делаются в 08:00 и 20:00ч или в 3 и 15UTC соответственно. В данной работе использовались данные реанализа осадкомерной сети, которая формируется на основе полученной информации от осадкомеров в конкретной области.

Самая распространенная комплектация данного прибора включает в себя:

- воронку для сбора выпавших осадков;
- крышку;
- место для установки воронки (таган);
- ветровую защиту;
- измерительный стакан.

Вся конструкция должна находиться на уровне двух метров от поверхности земли. [12]

Перед началом сбора измерений, наблюдатель снимает с воронки крышку, после чего в нее поступает вода, установленная в приборе защита от ветра, обеспечивает снижения значений возможных погрешностей, связанных с горизонтальным движением воздуха. После 08:00/20:00ч, работник метеоплощадки, используя измерительный стакан, меряет и записывает количество выпавших осадков за двенадцать часов.

Существуют так же и автоматизированные модели осадкомеров, которые способны самостоятельно вести наблюдение за количеством воды или снега, накопленных за период наблюдений. Часто в таких моделях используется

высокоточное весовое оборудование и измерительное устройство, имеющее выход к электронному интерфейсу, для графического отображения информации наблюдателю. Благодаря таким системам, у работников появляется возможность снимать данные об осадках в дистанционном формате. [9]

Информация, полученная либо в ручную, либо заочно, заносится в различные базы данных, на основе которых люди могут получать информацию о погоде в том или ином населенном пункте.

Для анализа зон осадков на больших площадях, выходящих за пределы городов, человек использует математические модели, осредненные данные для которой берутся в том числе и с сети осадкомеров. Необходимая зона расчерчивается сеткой, в узлах которой происходят прогностические расчёты. Позднее данные в прошедшие даты, обновляются на фактические.

Однако составление прогнозов на основе количества уже выпавших осадков нельзя назвать достаточно точным, из-за своей конструкции, осадкомеры имеют три главные погрешности, мешающие получать точные данные:

- температурная – из-за большого интервала в процессе сбора осадков, часть из них испаряется, что дает неверный результат
- смачивание ведра – происходит при выпадении жидких осадков, ведет к искажению конечного результата
- ветровая – появляется, когда часть осадков, собранных в воронке выдувается сильным ветром.

Стоит отметить, что при получении твердых или смешанных осадков, наблюдателю необходимо подождать, пока осадки не растят, при этом ни в коем случае нельзя их нагревать, это может привести к излишнему испарению и, как следствие к температурной погрешности. Необходимо сказать, что эти минусы присущи моделям с которыми работники метеостанций взаимодействуют

напрямую, большинство автоматизированных осадкомеров лишены подобных изъятий. [9]

2.2 Метеорологический радиолокатор

Используя метод радиолокации для поиска воздушных объектов было обнаружено, что данная технология позволяет измерять водность облака. Происходит это благодаря волнам, которые активно отражаются зонами атмосферных осадков.

Данное открытие привело к созданию нового прибора – метеорологического радиолокатора, который позволяет вести непрерывное наблюдение за различными явлениями погоды. [4]

В состав аппаратуры ДМРЛ-С входят:

- антенная система;
- высокочастотный тракт;
- клистронный передатчик;
- приемная система;
- центральный управляющий вычислительный комплекс;
 - автоматизированная система контроля и управления (АСКУ);
 - удаленный управляющий вычислительный комплекс (УУВК);
- система электропитания;
- бонентский пункт (АП) (количество АП определяется договором на поставку);
- комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП). [3]

Метод радиолокации, лежащий в основе устройства заключается в следующем – радар выпускает импульс в облачную систему, после чего переходит в режим ожидания. Отправленная радиоволна, отражается от капель дождя или

ледяных кристаллов и направляется обратно к радиолокатору, по прибытию передавая информацию о размере и местоположении зоны осадков. Далее на электронный дисплей выводится сгенерированное изображение.

Подобная возможность возникает из-за природы поперечных волн, а именно параметра поляризации. Это свойство описывает геометрическую ориентацию колебаний электромагнитных волн. Излучаемая антенной волна состоит из электрических и магнитных силовых линий, где первая находится перпендикулярно относительно второй. Соответственно одна из волн поляризуется вертикально, а другая горизонтально. В современных радиолокаторах одновременно излучается сигнал, поляризованный в вертикальной плоскости, и сигнал, поляризованный в горизонтальной плоскости. Отражённые сигналы также принимаются в соответствующих плоскостях.

В процессе сбора данных, для работы использовались сведения полученные с Допплеровского двухканального метеорологического локатора С-диапазона ДМРЛ-С, установленного в поселке Воейково (Ленинградской области).

Радиолокаторы модели ДМРЛ в своей работе учитывают эффект Доплера. Явление, которое описывает данный эффект заключается в изменении частоты и длины волны, воспринимаемое приемником из-за движения источника излучения относительно приемника. При приближении объекта к наблюдателю будет выявлено увеличение частоты, при отдалении наоборот – уменьшение, подобные изменения волны позволяют наблюдателю определять локацию атмосферного явления. [10]

При изучении волн было выявлено, что они имеют очень большой спектр, превышающий значение 1024 Гц в результате разделенный на множество поддиапазонов, однако широкое распространение в метеорологической радиолокации имеют три следующих диапазона:

- А и В диапазоны – локаторы, работающие в данном диапазоне наиболее распространенные, поскольку появились при активном изучении свойств радиолокации. Имеют ограниченный диапазон ниже 300МГц из-за чего имеют несколько низкую точность, которую необходимо компенсировать строительством больших антенн, однако из плюсов выделяется уменьшенное затухание волн.
- С диапазон – имеет диапазон от 300МГц до 1ГГц, используется для раннего обнаружения опасных явлений с целью предупреждения так же хорошо подходит для радиолокационного обнаружения дальних объектов. [8]

3. Комплексный анализ зон осадков с использованием данных локаторов и осадкомеров в осенний период

Для проведения комплексного анализа зон осадков будем использовать данные метеорологических локаторов и осадкомеров и рассмотрим синоптические ситуации, при которых проводились измерения.

Для начала возьмем шестидневный период с 25.11.2024 по 30.11.2024 и пошагово рассмотрим эволюцию зоны осадков над Санкт-Петербургом.

3.1 Эволюция зон осадков при прохождении теплого фронта 25 ноября

25 ноября с 7:10 до 10:10 погода в Санкт-Петербурге определяется передней частью теплого фронта, движущегося на восток, что хорошо заметно на приземной карте (рис. 3.1)

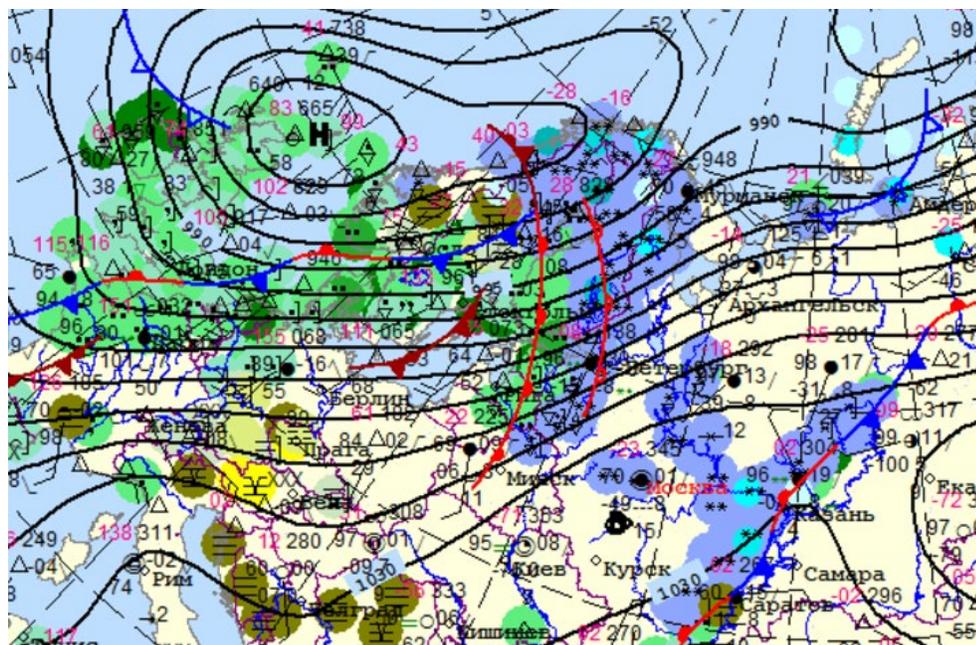
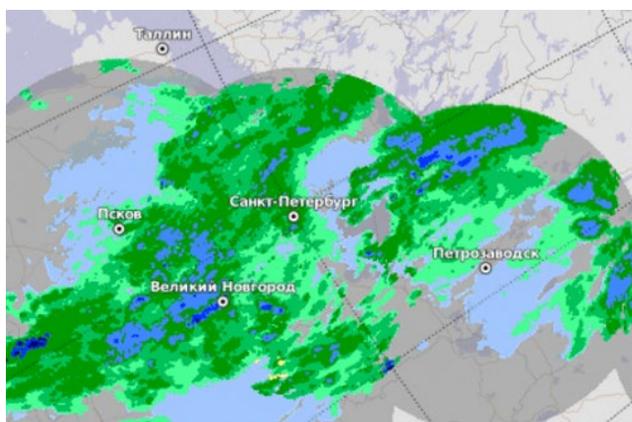
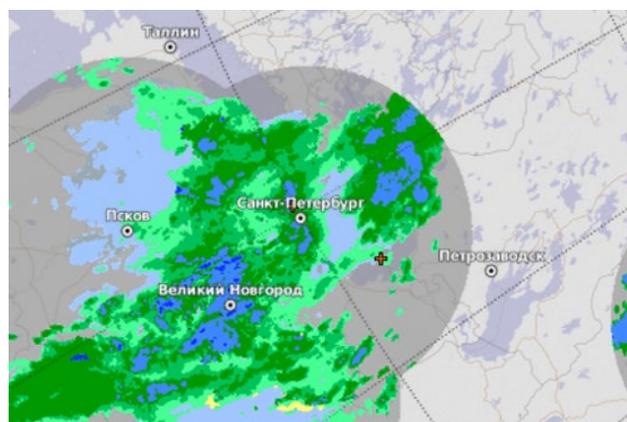


Рисунок 3.1 – Приземная карта за утро 25 ноября 2024 года

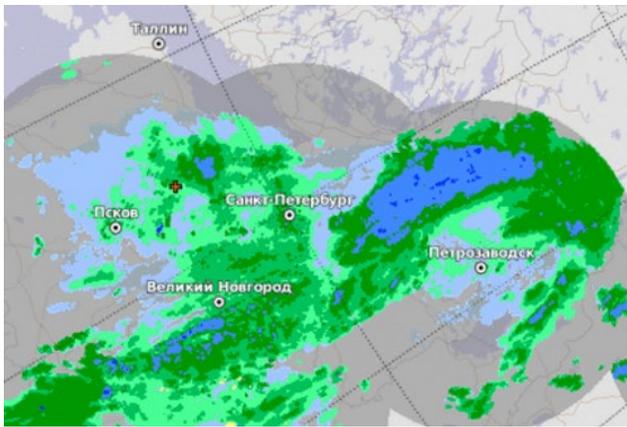
Данные собранные с радиолокатора за этот же трехчасовой промежуток (рис. 3.2), демонстрируют над Санкт-Петербургом наличие большой зоны слабых обложных осадков с вкраплением небольших зон ливневых осадков. Данная тенденция прослеживается на протяжении всего срока наблюдения. Двигается зона осадков в северо-восточном направлении.



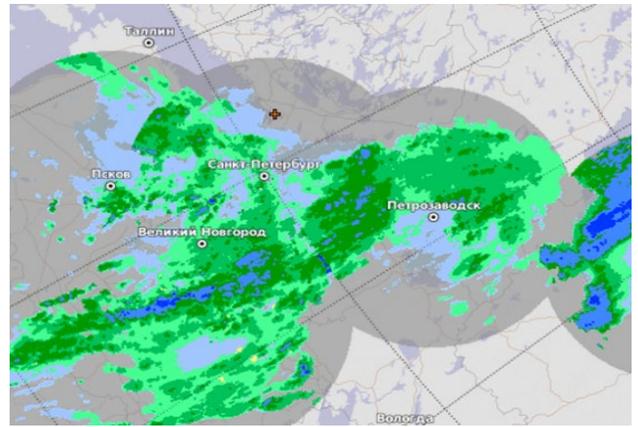
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.2 – Данные сети метеорологических локаторов за 25.11.2024 в период с 7:10 до 10:10

а) 7:10; б) 8:10; в) 9:10; г) 10:10

Надо отметить, что по данным метеорологических станций, снимков со спутника и интерактивного сервиса Ventusky [Вентускай] над городом располагается огромный облачный массив, который включает в себя облачность всех трех ярусов (рис. 3.3). Преобладающий тип облачности – слоисто-дождевые.

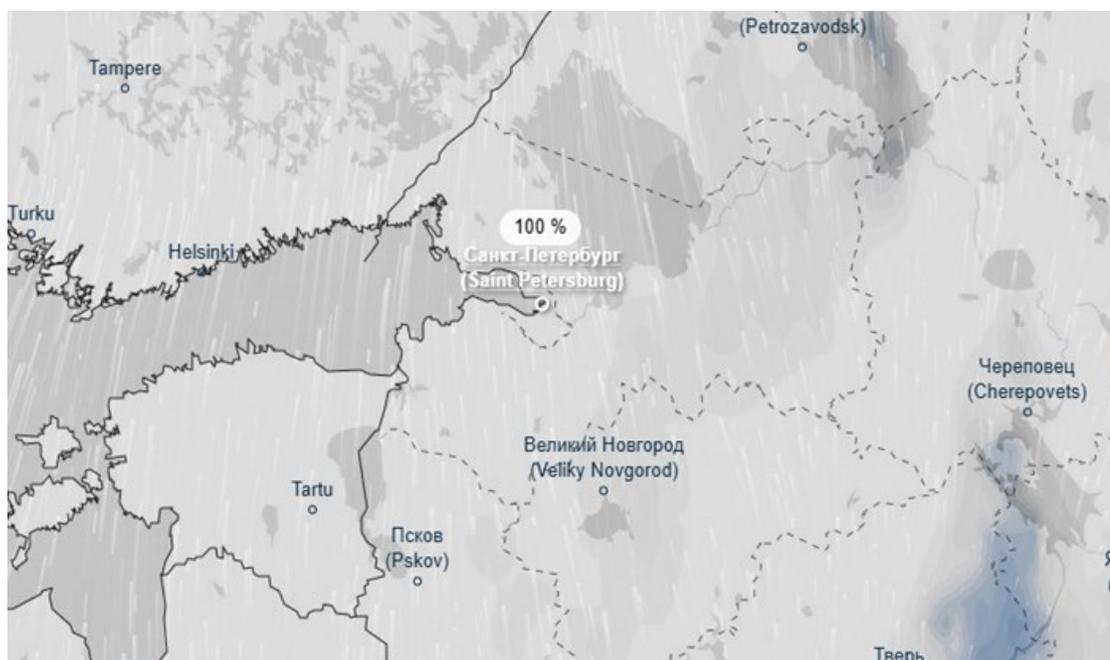


Рисунок 3.3 – Данные интерактивного сервиса Вентускай по облачности за утро 25 ноября

Данные полученные с осадкомерной сети за трехчасовой промежуток, так же как и данные сервиса Вентускай демонстрируют наличие обширной зоны слабых обложных осадков в виде снега интенсивностью 2мм (рис. 3.4), но без указания ливневых зон. Следовательно, можно отметить, что небольшие зоны ливневых осадков по данным метеорологического локатора не были зафиксированы ни при наземных наблюдениях, ни по данным интерактивного сервиса.

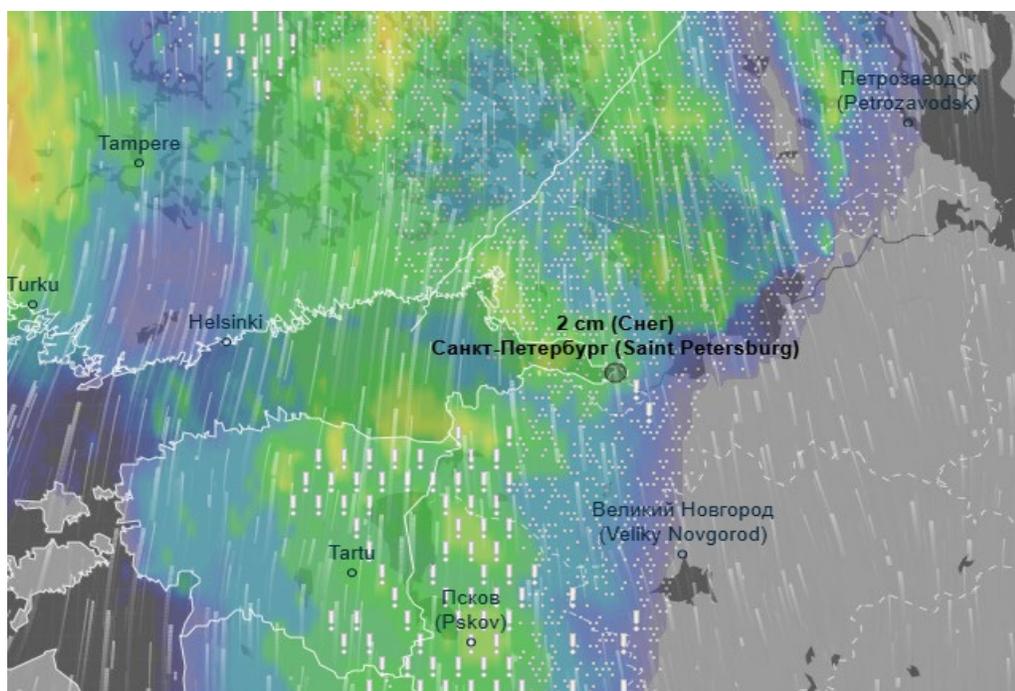
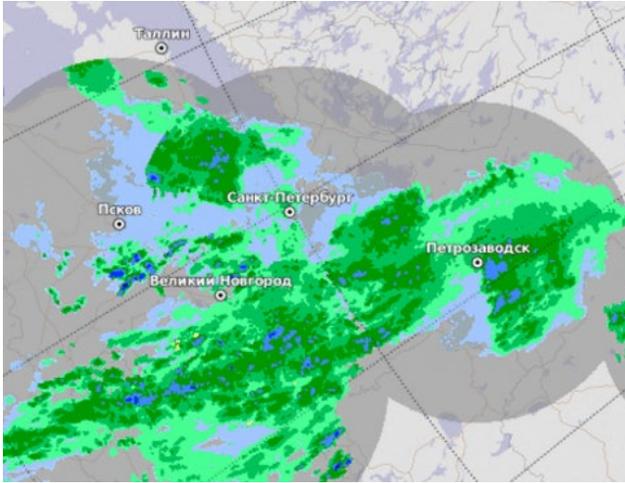
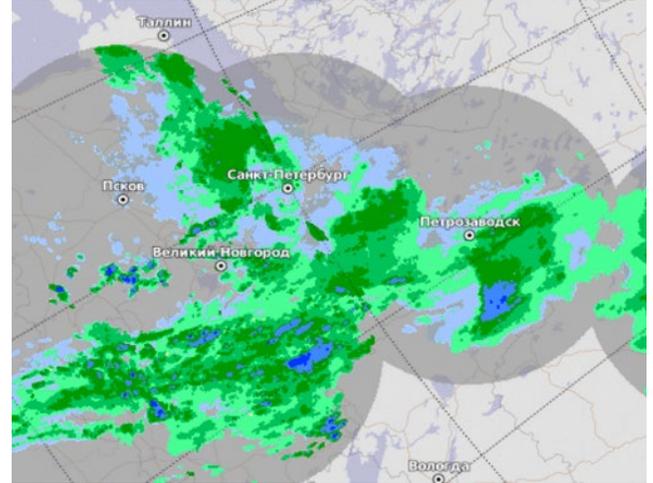


Рисунок 3.4 – Данные интерактивного сервиса Вентускай за утро 25 ноября

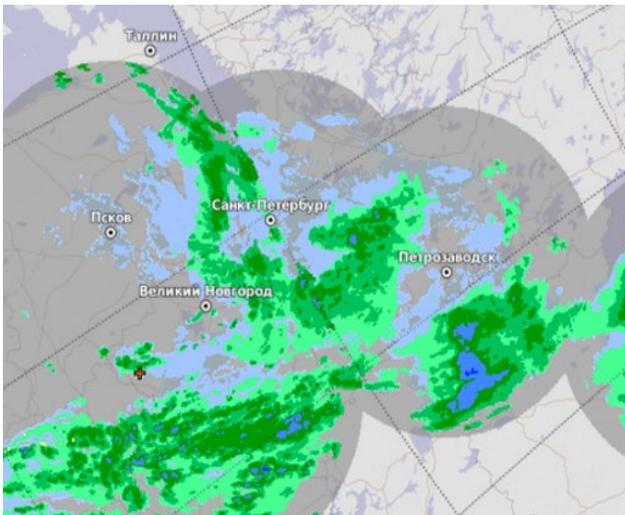
Посмотрим как эволюционировала зона осадков в следующие три часа (10:30-13:30). Данные, собранные с радиолокатора за трехчасовой промежуток, демонстрируют постепенное размытие зоны осадков над Санкт-Петербургом с последующим падением их интенсивности. Двигается зона осадков в северо-восточном направлении, что наглядно демонстрирует серия изображений на рисунке 3.5а-г. Так же по серии изображений с локатора видно, что основная зона осадков располагается южнее Великого Новгорода.



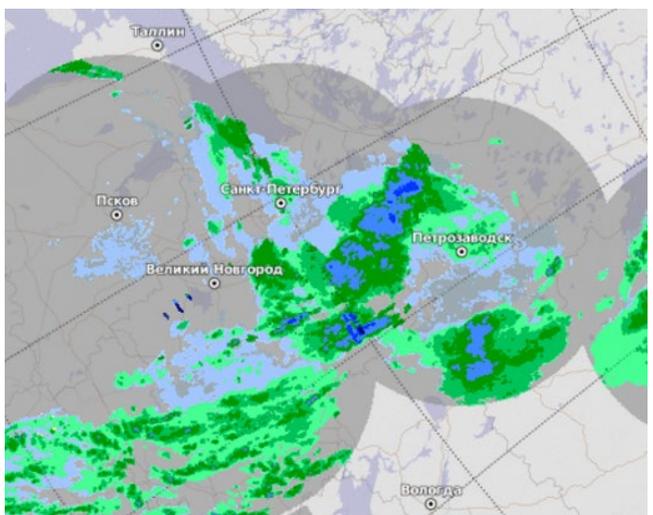
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.5 – Данные сети метеорологических локаторов за 25.11.2024 в период с 10:30 до 13:30

а) 10:30; б) 11:30; в) 12:30; г) 13:30

Данные, полученные с осадкомерной сети за трехчасовой промежуток, так же демонстрируют уменьшение зоны и интенсивности осадков. В сравнении с предыдущим сроком количество отложений снизилось до 0,4 мм (рис. 3.6).

Как и в предыдущий срок, над городом преобладает слоисто-дождевая облачность.

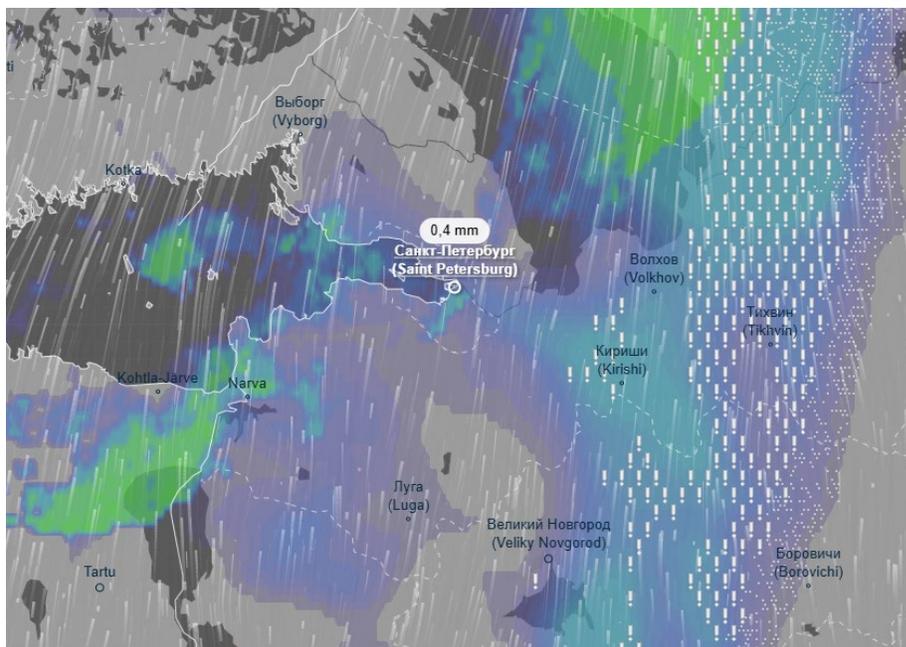


Рисунок 3.6 – Данные интерактивного сервиса Вентускай за 25 ноября с 10:30 до 13:30

За следующий трехчасовой период, с 14:30 до 17:30, данные радиолокатора демонстрируют полное исчезновение зоны обложных и ливневых осадков (рис. 3.7).

Как и в предыдущий период над городом располагается облачный массив, включающий в себя облачность всех трех ярусов, движущийся в северо-восточном направлении. При этом преобладающий тип облачности сменился с слоисто-дождевых на слоисто-кучевые, слоистые.

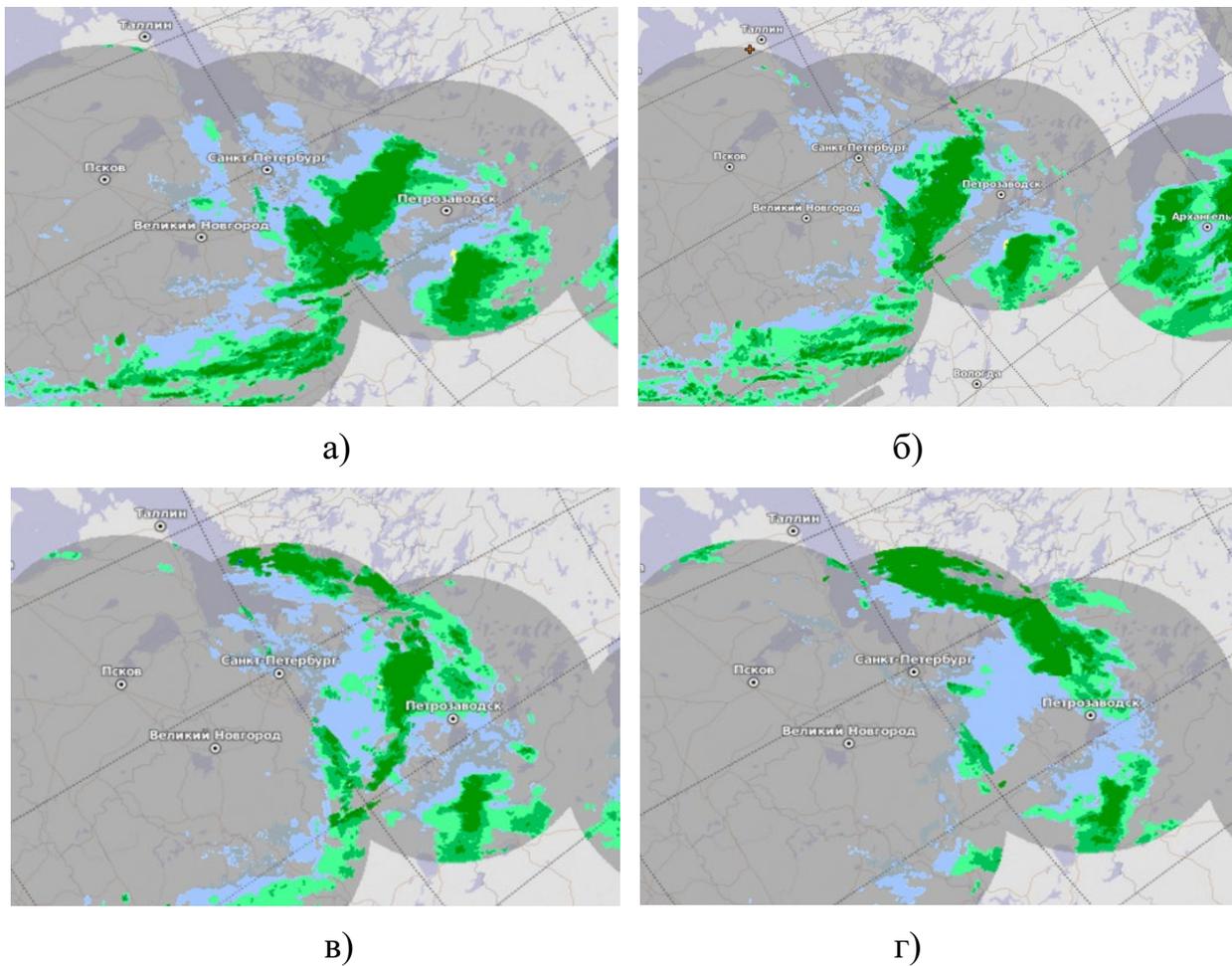


Рисунок 3.7 – Данные сети метеорологических локаторов за 25.11.2024 в период с 14:30 до 17:30

а) 14:30; б) 15:30; в) 16:30; г) 17:30

А вот данные полученные с осадкомерной сети за трехчасовой промежуток, демонстрируют минимум изменений в области зоны осадков и их интенсивности. В сравнении с предыдущим сроком количество отложений выросло до 0,5 мм (рис. 3.8). Что может быть связано как с запаздыванием показаний сети осадкомеров, так и с ошибками при осреднении количества осадков сетью.

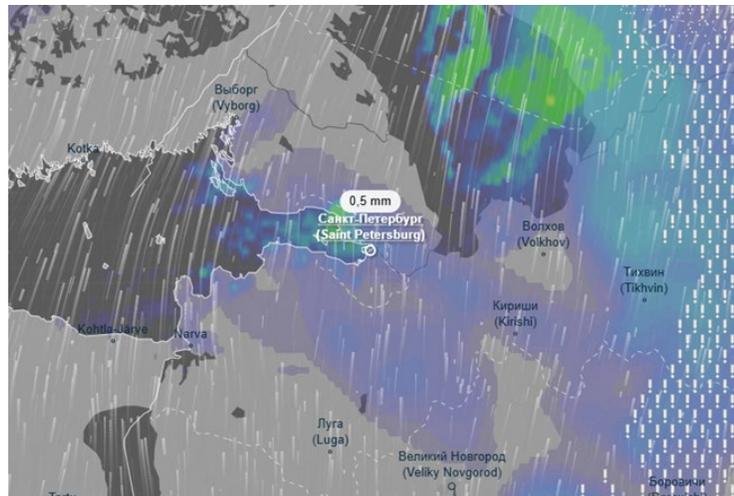


Рисунок 3.8 – Данные интерактивного сервиса Вентускай за 25 ноября с 14:30 до 17:30

В следующие два часа с 17:30 до 19:30 радиолокатор показывает полное исчезновение зоны обложных и ливневых осадков. Основная зона осадков смещается в северо-восточном направлении (рис. 3.9). Преобладающий тип облачности сменился на слоистые.



а)

б)

в)

Рисунок 3.9 – Данные сети метеорологических локаторов за 25.11.2024 в период с 17:30 до 19:30

а) 17:30 б) 18:30 в) 19:30

Данные полученные с осадкомерной сети за тот же временной интервал подтверждают информацию лоатора: демонстрируют размытие зоны осадков и снижение их интенсивности до 0 мм.

Анализ данных за двенадцати часовой период 25 ноября показал, что при прохождении теплого фронта над территорией города Санкт-Петербург (рис. 3.1, 3.10), образовалась большая зона слабых, обложных осадков по интенсивности не превышающих 2 мм. Зона была активна первую половину дня после чего начала медленно исчезать, что было видно по изображениям полученным с радиолокаторов и осадкомеров.

За анализируемый период было отмечено несовпадение данных лоатора и осадкомеров после окончания фиксации осадков лоатором. В остальных случаях за истекшие 12 часов лоатор и осадкомеры давали схожие показания.

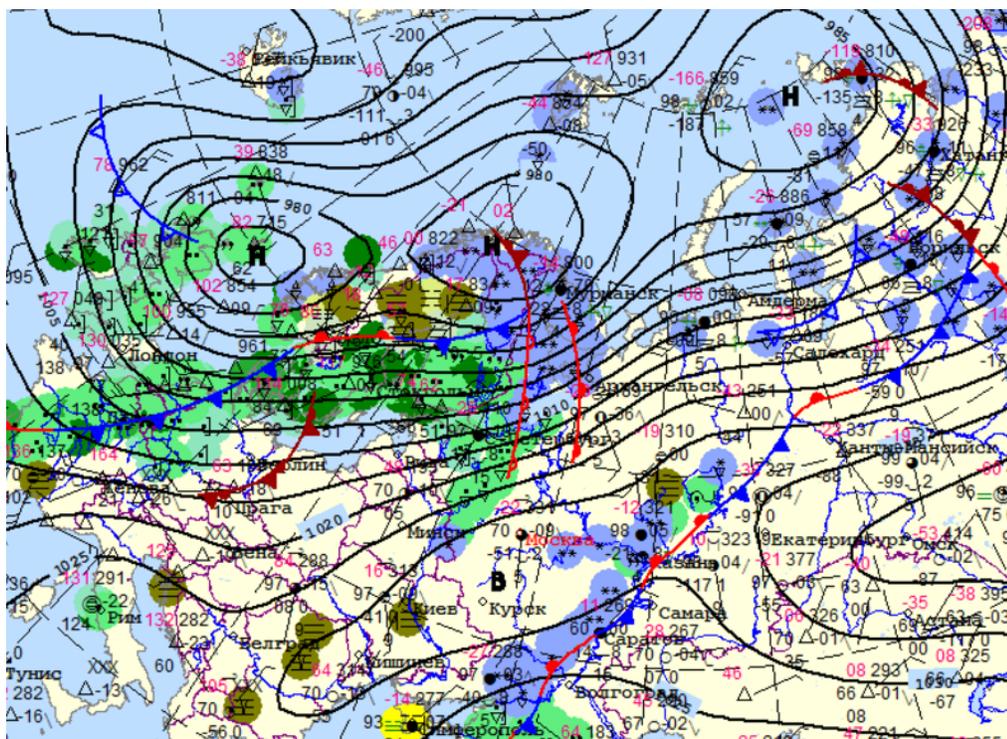


Рисунок 3.10 – Дневная приземная карта 25 ноября 2024 года

3.2 Эволюция зон осадков при прохождении фронта окклюзии 26 ноября

26 ноября в период с 7.00 до 10.00 погода в Санкт-Петербурге определяется передней частью фронта окклюзии, движущегося на восток (рис. 3.11).

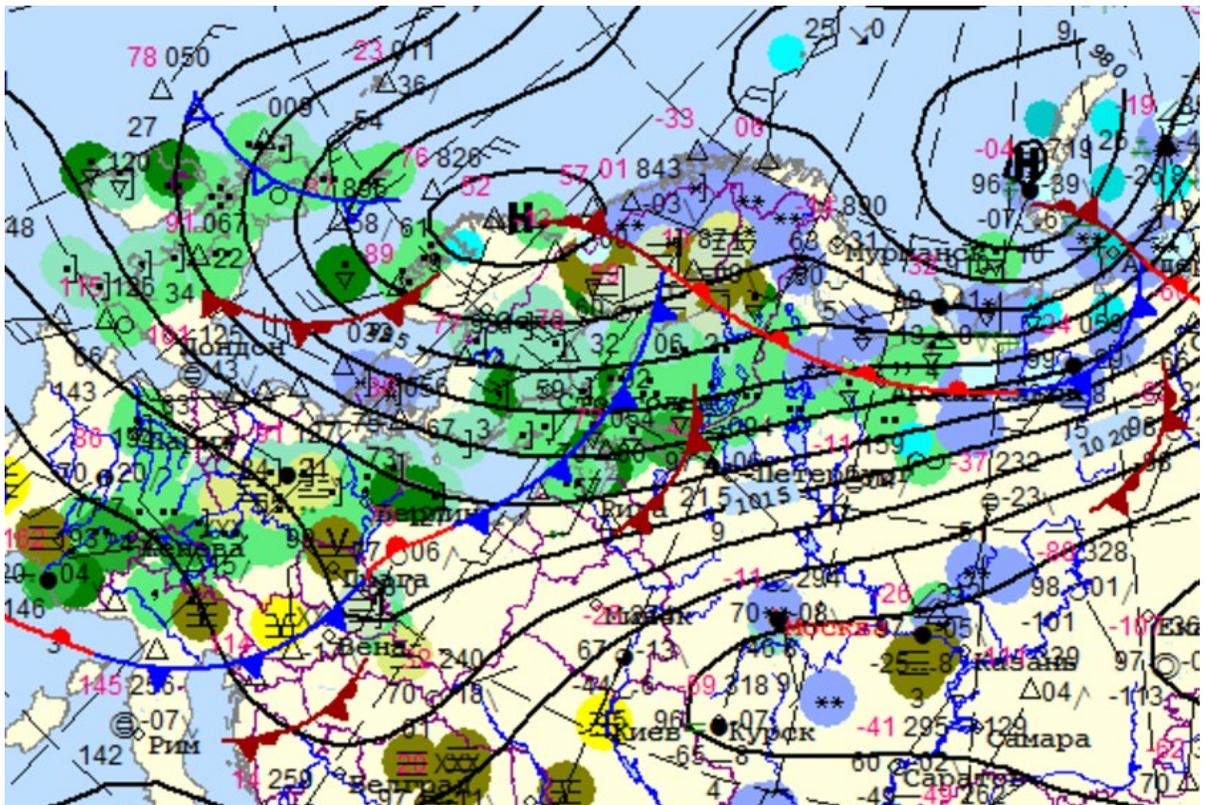
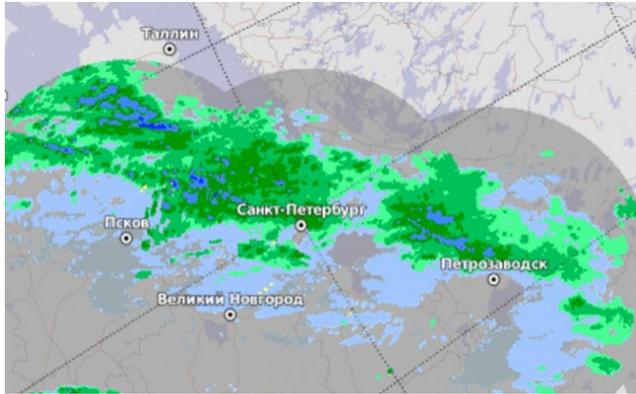


Рисунок 3.11 – Приземная карта за утро 26 ноября 2024 года

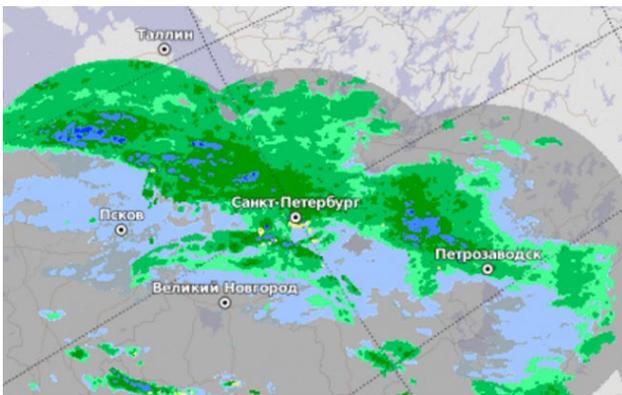
Данные собранные с радиолокатора за трехчасовой промежуток (с 7.00 до 10.00), демонстрируют наличие большой зоны обложных осадков с вкраплением небольшого количества кучевой облачности (рис. 3.12). Двигается зона осадков в северо-восточном направлении.



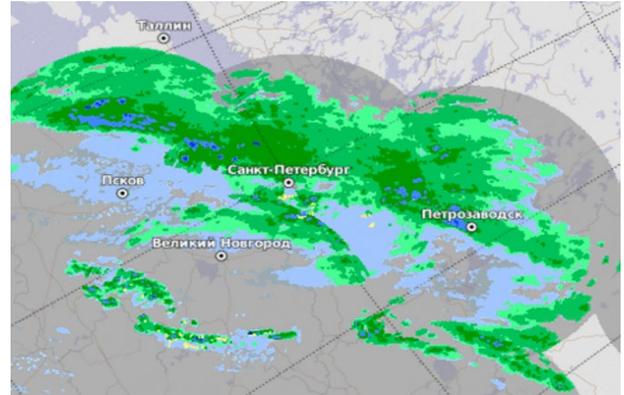
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.12 – Данные сети метеорологических локаторов за 26.11.2024 в период с 7.00 до 10.00
а) 7:00; б) 08:00; в) 09:00; г) 10:00

Данные полученные с осадкомерной сети за трехчасовой промежуток, так же демонстрируют наличие обширной зоны обложных осадков. Интенсивность осадков в предверии фронта окклюзии фиксируется до 1 мм (рис. 3.13а).

Над городом располагается огромный облачный массив, который включает в себя облачность всех трех ярусов. Преобладающий тип облачности – слоисто-дождевые (рис. 3.13б).

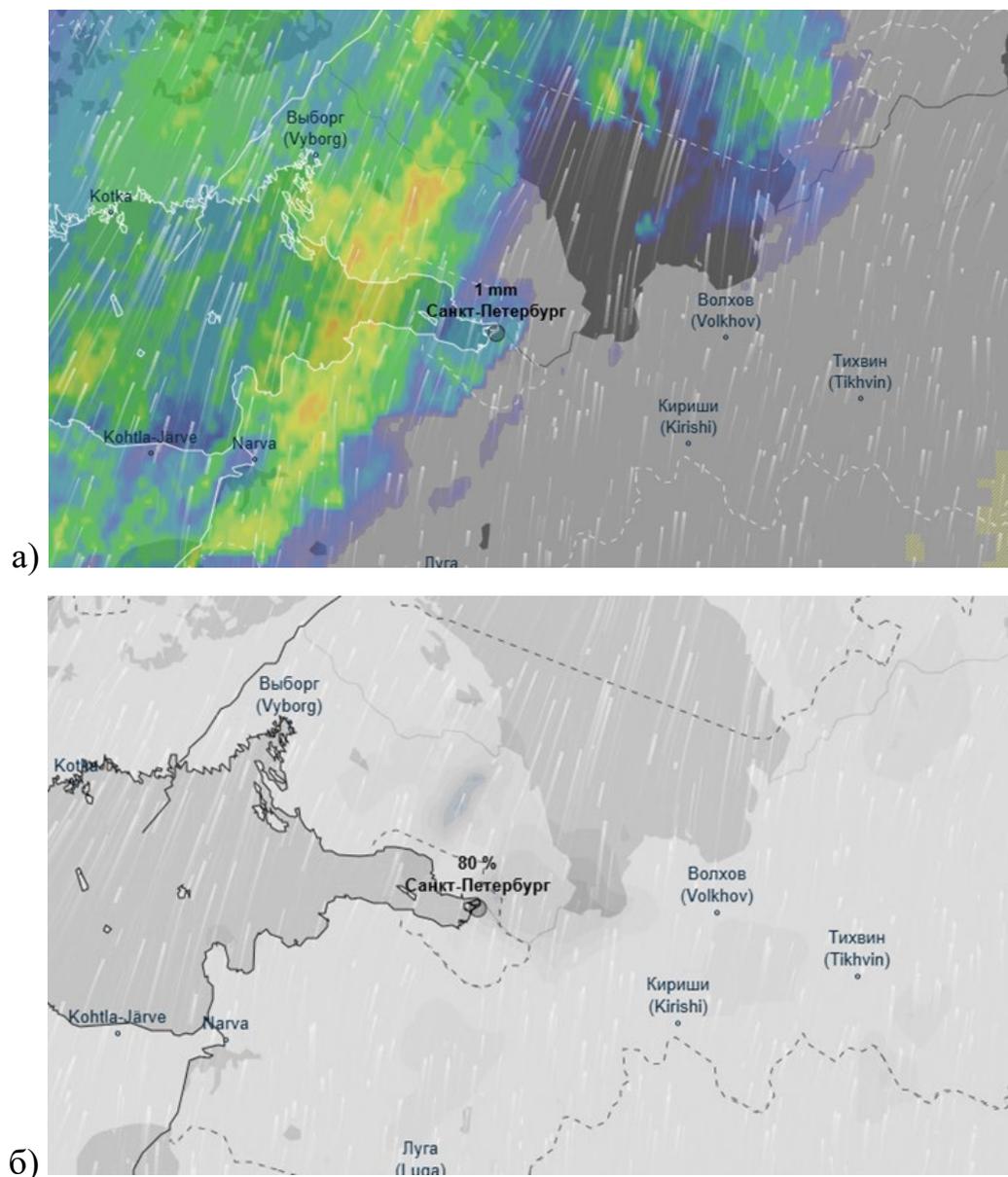


Рисунок 1.13 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай
 а) атмосферные осадки; б) облачность

В следующие 3 часа погода в Санкт-Петербурге определяется проходящим фронтом окклюзии, который смещается в восточном направлении.

В этот период (10:00-13:00) данные радиолокатора не демонстрируют каких-либо значительных изменений в зоне обложных осадков, кроме

направления ее движения. Теперь зона осадков движется в северо-восточном направлении (рис. 3.14). Преобладающим типом облачности попрежнему являются слоисто-дождевые облака.

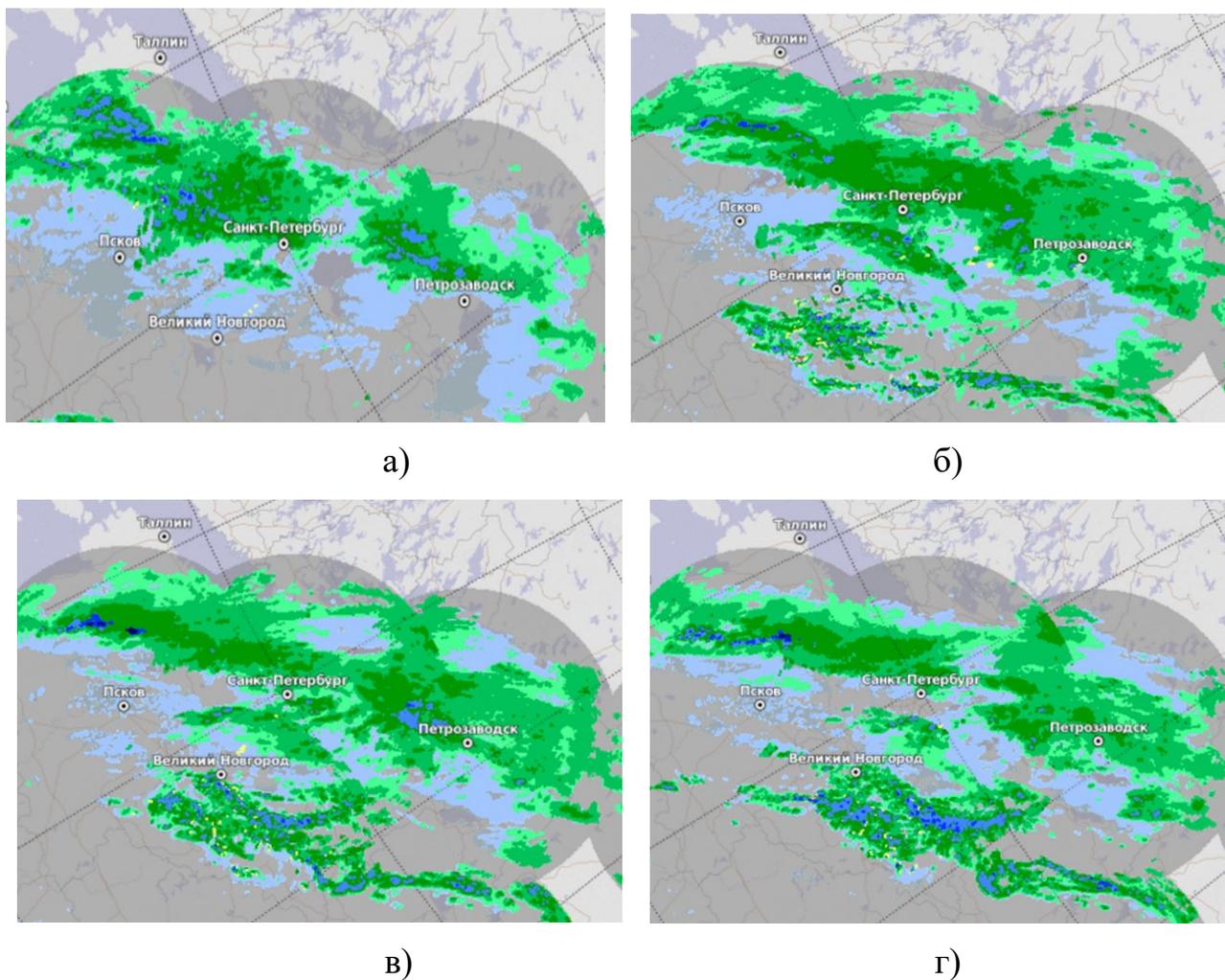


Рисунок 3.14 – Данные сети метеорологических локаторов за 26.11.2024 в период с 10:00-13:00
а) 10:00; б) 11:00; в) 12:00; г)13:00

А вот данные осадкомерной сети, полученные за трехчасовой промежуток, демонстрируют некоторые изменения в связи с прохождением точки окклюзии

над наблюдаемой территорией: как и раньше локатор показывает наличие обширной зоны обложных осадков, но их интенсивность усиливается до 3,1 мм (рис. 3.15).

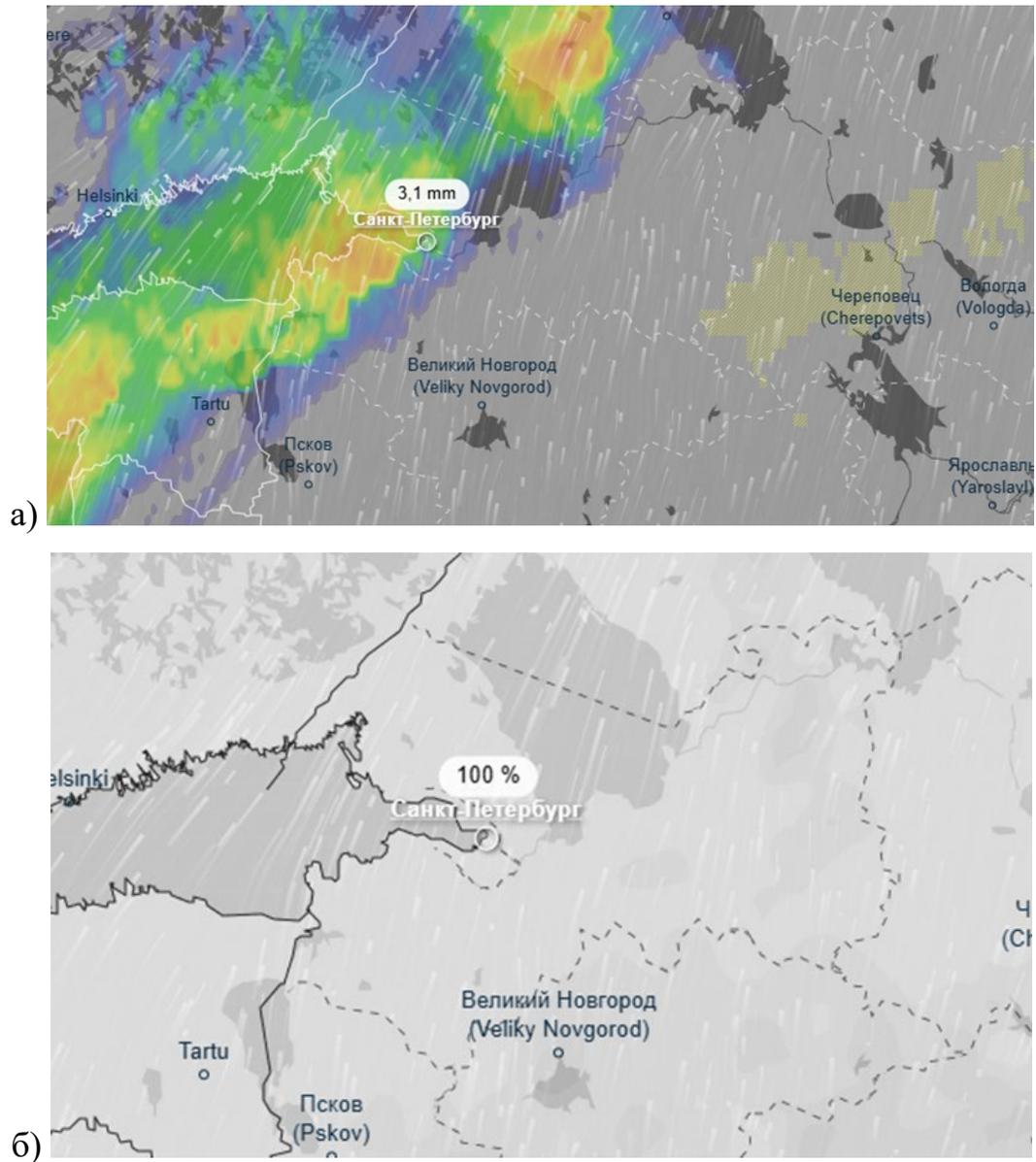


Рисунок 3.15 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай за 26.11.2024 в период с 10:00-13:00

а) атмосферные осадки; б) облачность

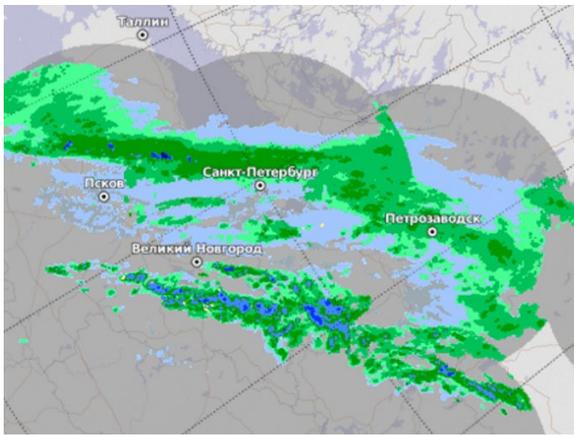
В период с 14:00-17:00 погода в Санкт-Петербурге определяется тыловой частью фронта окклюзии движущимся на восток (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Приземная карта за 26 ноября 2024 года в период с 14:00-17:00

В тыловой части фронта окклюзии данные радиолокатора демонстрируют усиление осадков в начале рассматриваемого временного интервала (рис. 3.17а,б), а затем постепенное размытие зоны обложных осадков над Санкт-Петербургом к концу периода (рис. 3.17в,г). При этом основная зона осадков продолжает двигаться в северо-восточном направлении и располагается южнее города.

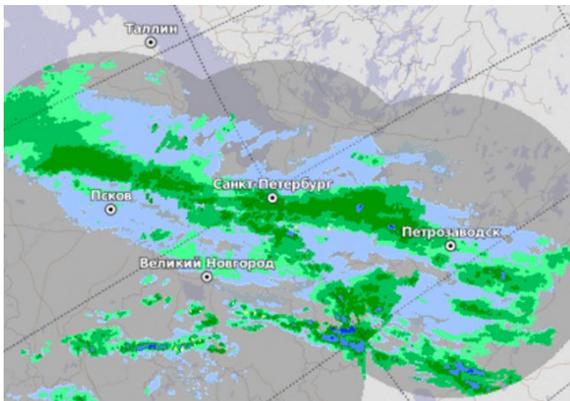
Попрежнему фиксируется облачность всех трех ярусов, а преобладающим типом облачности являются слоисто-дождевые облака.



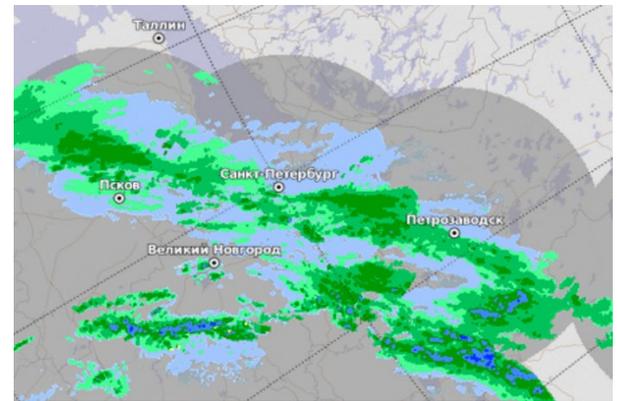
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.17 – Данные сети метеорологических локаторов за 26.11.2024 в период с 14:00-17:00

а) 14:00 б) 15:00 в) 16:00 г) 17:00

Данные полученные с осадкомеров за трехчасовой промежуток, демонстрируют увеличение зоны обложных осадков с значительным усилением интенсивности до 6,0 мм (рис. 3.18), что безусловно связано с проходом точки окклюзии и может быть связано с приближающимся холодным фронтом над наблюдаемой территорией.

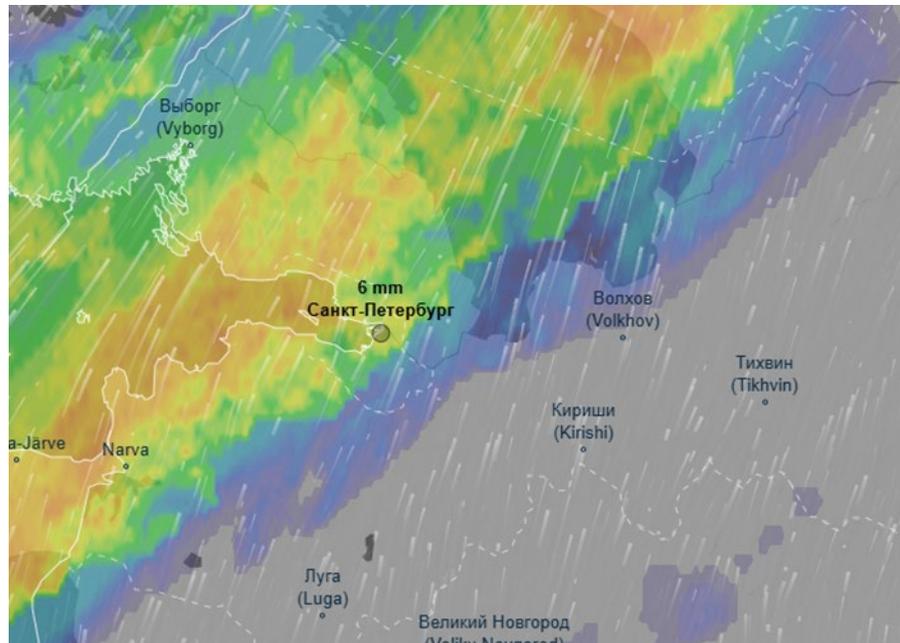
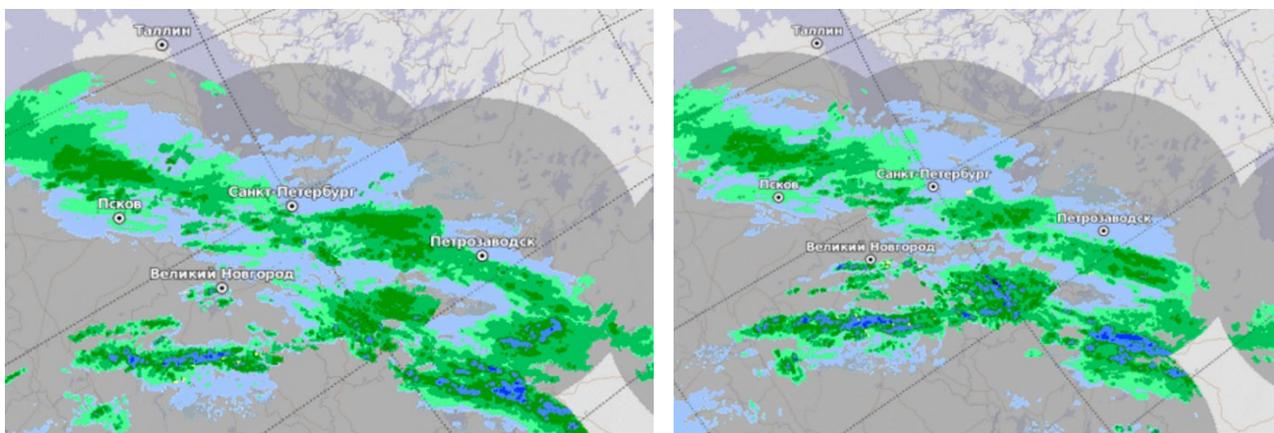


Рисунок 3.18 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай за 26.11.2024 в период с 14:00-17:00

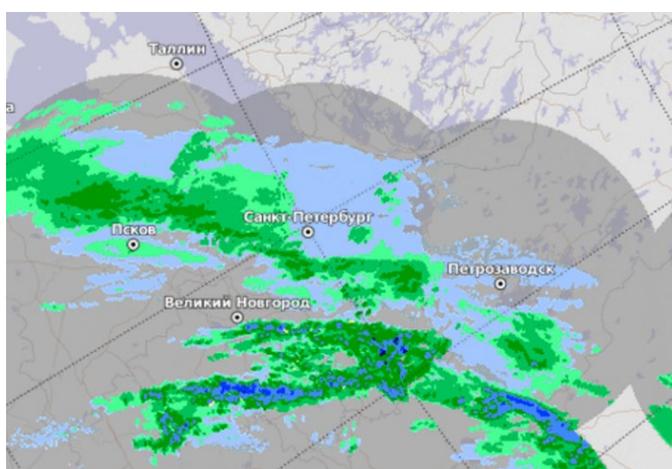
В период с 17:00 до 19:00 часов 26 ноября погода в Санкт-Петербурге определяется проходящим холодным фронтом движущимся на восток.

В этот временной интервал, согласно данным локатора, Санкт-Петербург находится севернее зон осадков (рис. 3.19). Над городом локатор показывает постепенное размытие зоны обложных осадков. Тип облачности сменился на слоистые. Фиксируются облака нижнего и верхнего ярусов.



а)

б)



в)

Рисунок 3.19 – Данные сети метеорологических локаторов за 26.11.2024 в

период с 17:00 до 19:00

а) 17:00 б) 18:00 в) 19:00

Данные, полученные с осадкомеров, не демонстрируют каких-либо значительных изменений в размерах зоны обложных осадков в рассматриваемый период, однако показывают значительное уменьшение их интенсивность до 2.0 мм (рис. 3.20), что опять же связано с уходом фронта окклюзии.

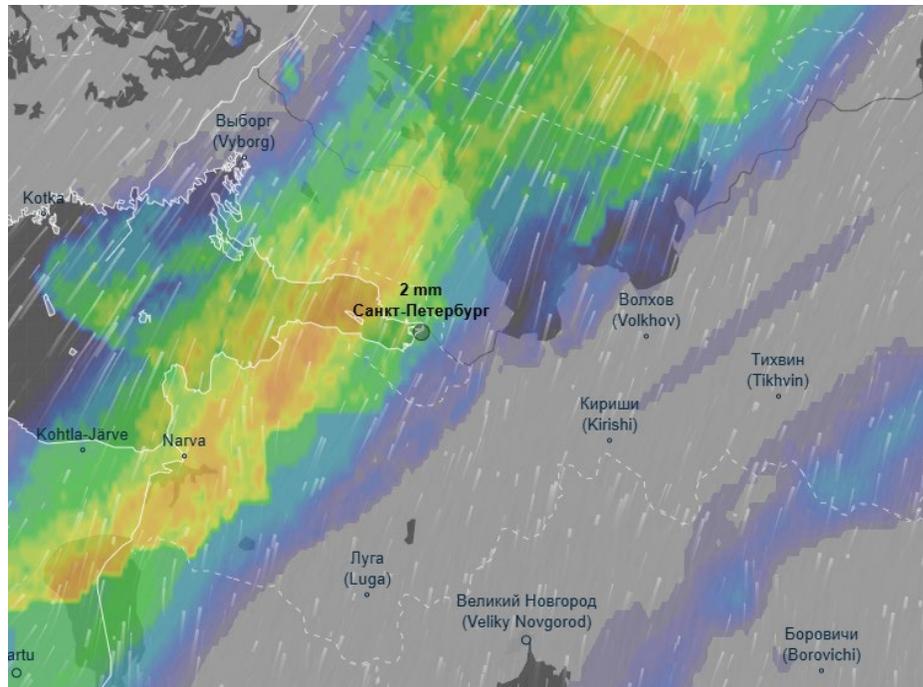


Рисунок 3.20 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай за 26.11.2024 в период с 17:00 до 19:00

При обобщении данных за 12 часов стоит отметить, что при прохождении фронта окклюзии над территорией города Санкт-Петербург, образовалась большая зона слабых, обложных осадков со слабой интенсивностью до 1 мм. По данным радиолокаторов, зона увеличилась до максимума к 15:00 по московскому времени (что соответствует прохождению точки окклюзии над городом), после чего зона осадков ослабла и постепенно исчезла, оставив после себя некоторое количество слоистой облачности.

По данным осадкомеров, зона осадков так же уменьшилась после 15:00. Осадки над городом не исчезли, но их интенсивность снизилась до 2 мм.

Надо сказать, что при прохождении фронта окклюзии большой разницы в показаниях метеорологического локатора и осадкомера не было отмечено.

3.3 Эволюция зон осадков при прохождении двух фронтальных систем 30 ноября

30 ноября погода в Санкт-Петербурге определяется проходящим холодным фронтом циклона, центр которого расположен в Баренцовом море. Как видно на рисунке 3.21, холодный фронт движется на юго-восток.

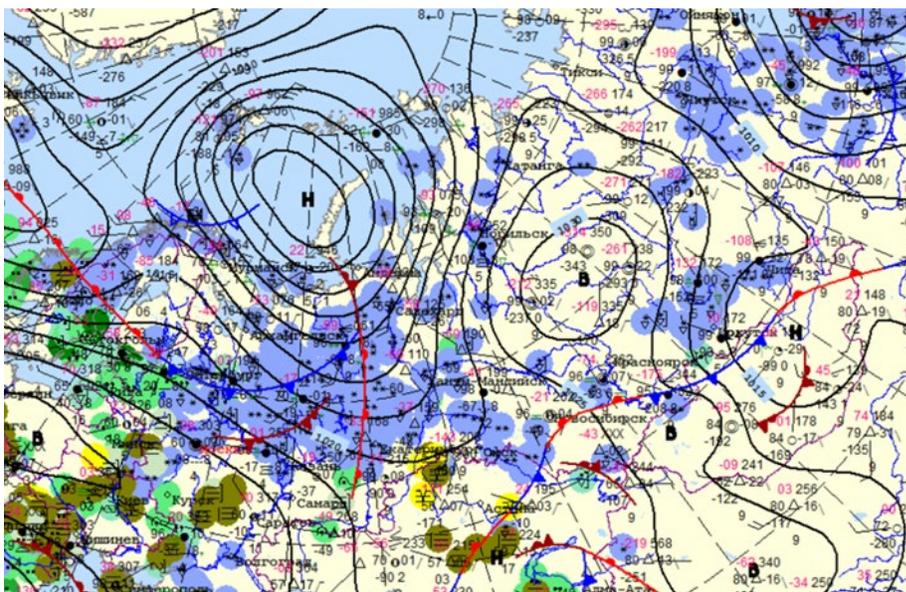


Рисунок 3.21 – Приземная карта за 30 ноября 2024 года в период с 7:00-14:00

Данные собранные с радиолокатора за шестичасовой промежуток демонстрируют постепенное приближение небольшой зоны обложных осадков (рис. 3.22). Двигается зона осадков в восточном направлении. К концу рассматриваемого периода над городом начинает формироваться система облачности нижнего яруса – слоисто-кучевая.

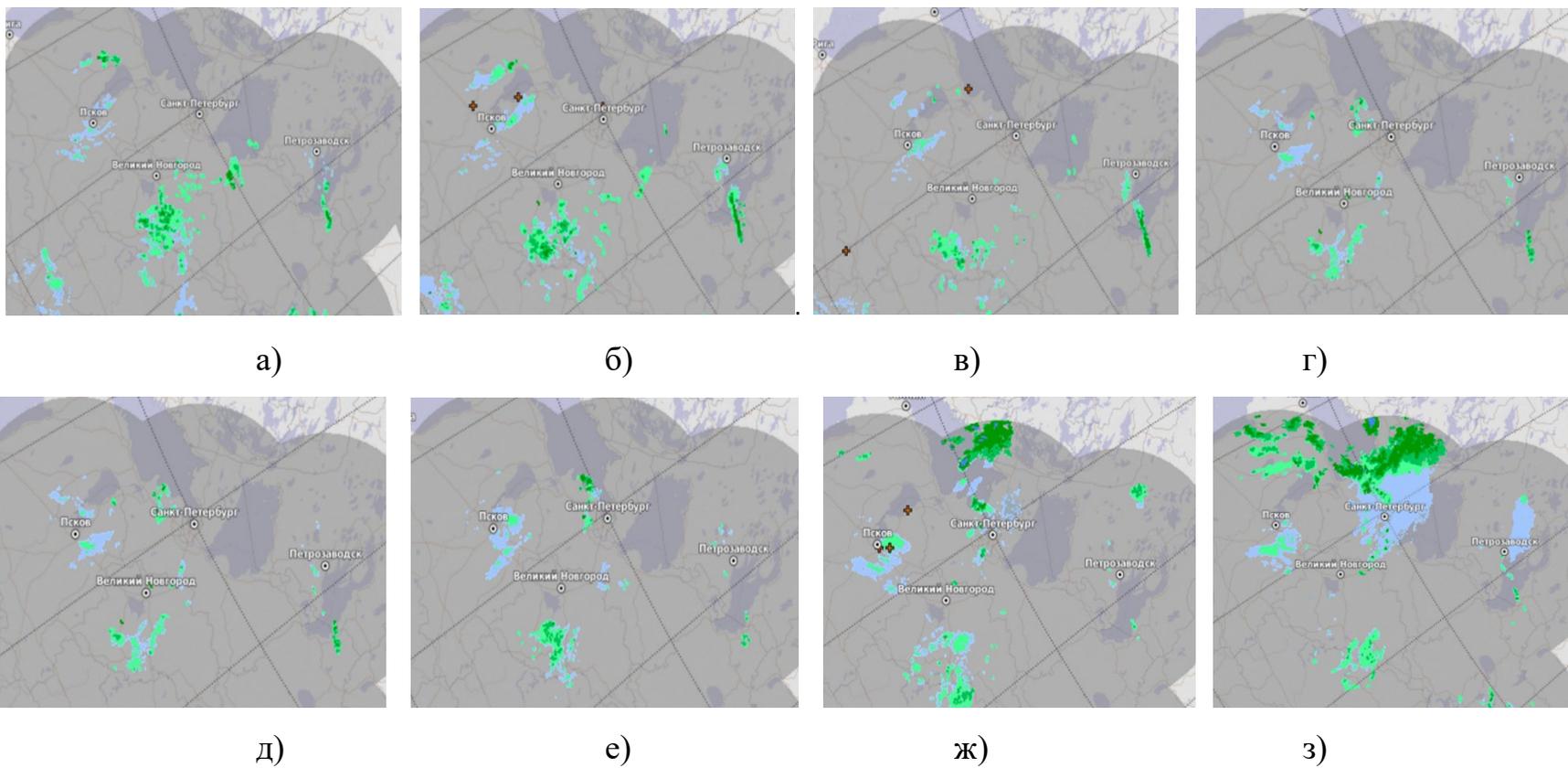


Рисунок 3.22 – Данные сети метеорологических локаторов за 30.11.2024 в период с 7:00 до 14:00

а) 7:00; б) 8:00; в) 9:00; г) 10:00; д) 11:00; е) 12:00; ж) 13:00; з) 14:00

Данные полученные с осадкомеров (с 7.00 до 14.00), так же демонстрируют полное отсутствие осадков за весь шестичасовой промежуток времени (рис. 3.23).

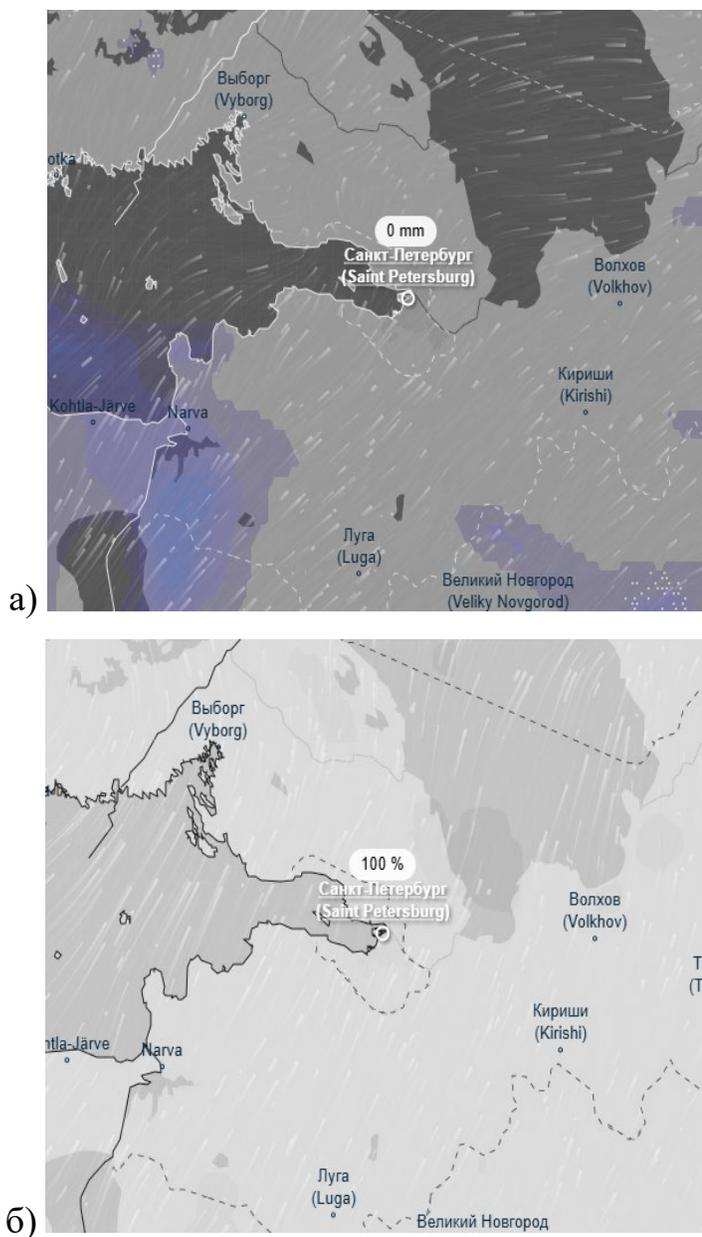


Рисунок 3.23 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай за первую половину 30.11.2024
а) осадки; б) облачность

Начиная с двух часов погода в Санкт-Петербурге попадает под влияние проходящего теплового фронта (Скандинавского циклона), движущегося на юго-восток (рис. 3.24).

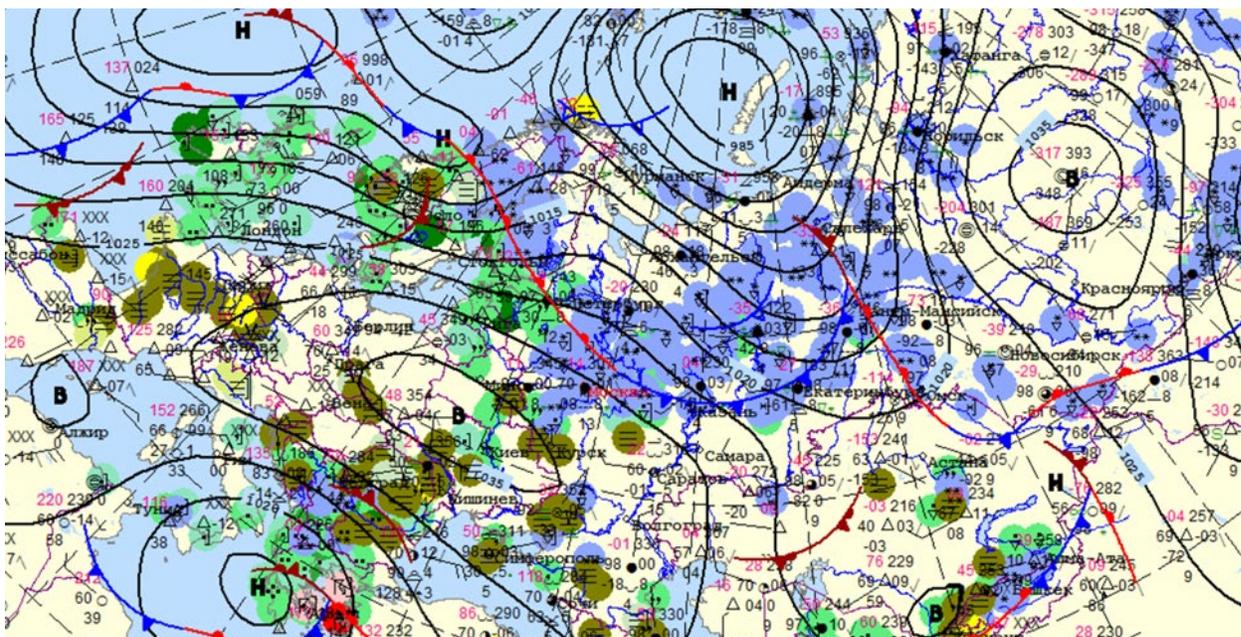
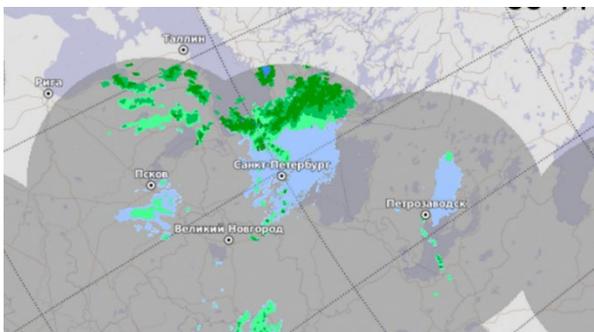


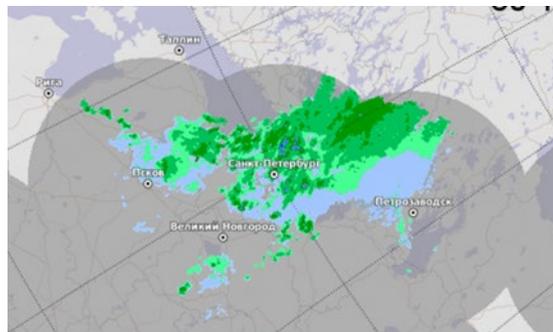
Рисунок 3.24 – Приземная карта за 30 ноября 2024 года в период с 14:00-17:00

Данные собранные с радиолокатора за трехчасовой промежуток (14:00-17:00) демонстрируют наличие и развитие зоны обложных осадков, которая движется в юго-восточном направлении (рис. 3.25). К концу периода зона осадков проходит над городом и располагается юго-восточнее. Так же над Санкт-Петербургом фиксируется огромный облачный массив, который включает в себя облачность нижнего и верхнего яруса. Преобладающий тип облачности – слоисто-дождевая, что соответствует зоне проходящих осадков.

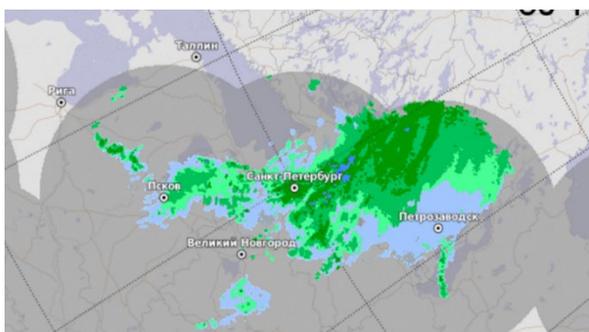
Данные полученные с осадкомеров за данный промежуток времени, демонстрируют наличие осадков с интенсивностью 0,9 мм (рис. 3.26).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.25 – Данные сети метеорологических локаторов за 30.11.2024 в период с 14:00 до 17:00

а) 14:00; б) 15:00; в) 16:00; г) 17:00

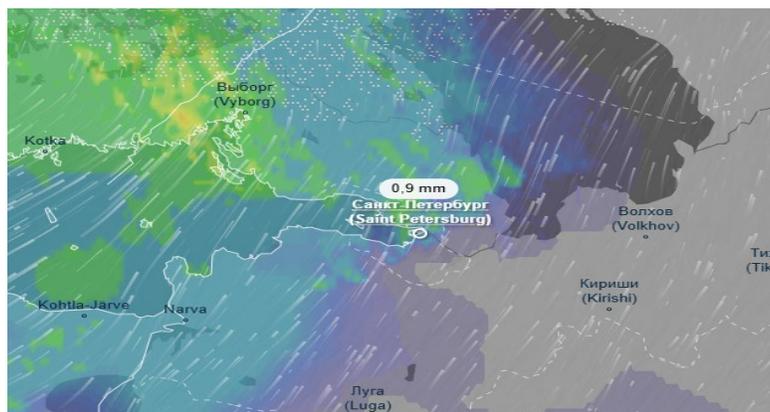


Рисунок 3.26 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай 30.11.2024
в период с 14:00 до 17:00

Данные собранные с радиолокатора за двухчасовой промежуток с 17.00 до 19.00 демонстрируют наличие зоны обложных осадков, которая движется в восточном, северо-восточном направлении. Присутствуют небольшие вкрапление зон с ливневыми осадками (рис. 3.27).

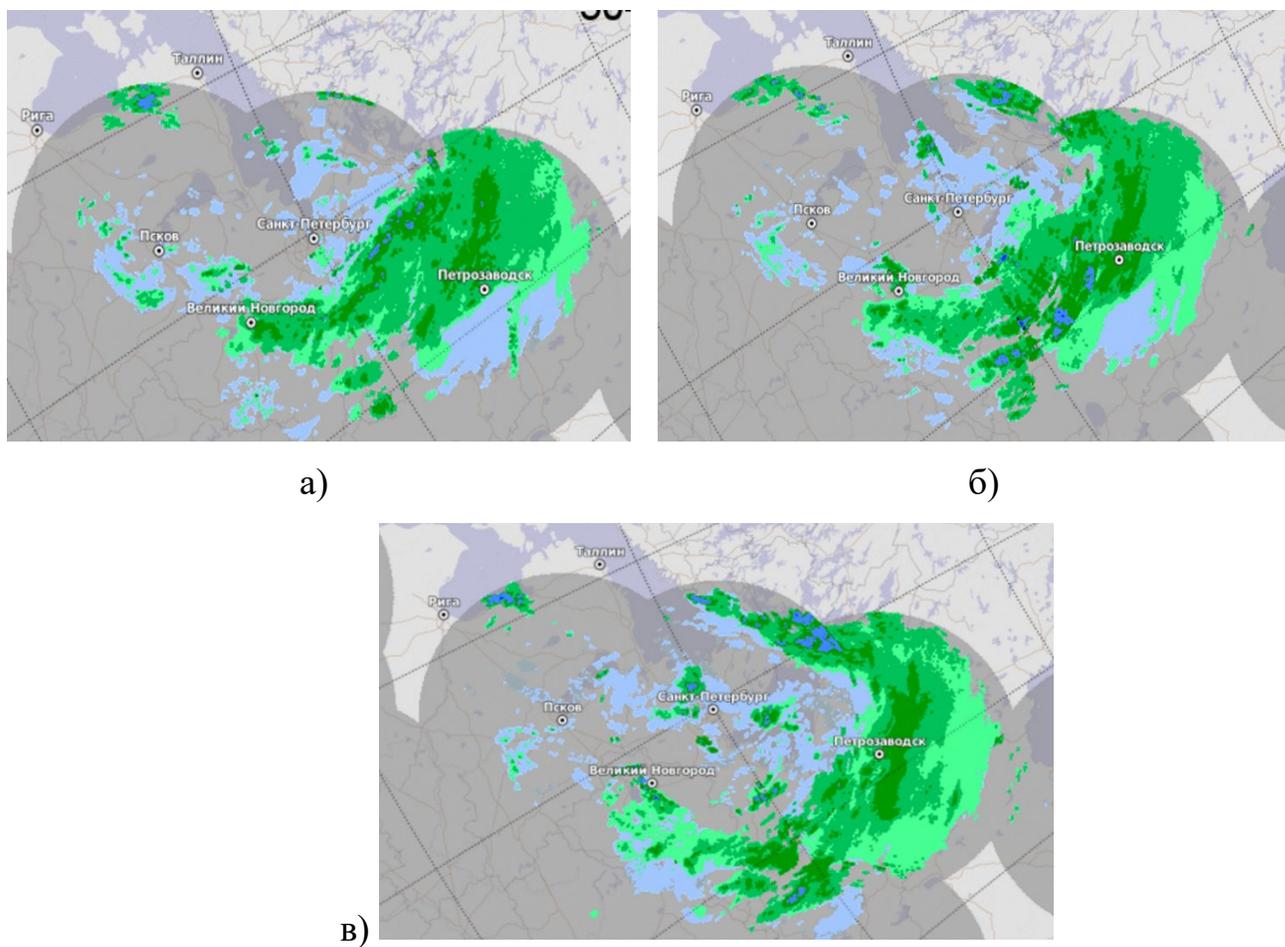


Рисунок 3.27 – Данные сети метеорологических локаторов за 30.11.2024 в
период с 17:00 до 19:00
а) 17:00 б) 18:00 в) 19:00

Над городом располагается огромный облачный массив, который включает в себя облачность нижнего и верхнего ярусов. Преобладающий тип облачности – слоисто-дождевая.

Данные осадкомерной сети за двухчасовой промежуток, демонстрируют присутствие зоны осадков с интенсивностью 1,0 мм (рис. 3.28)

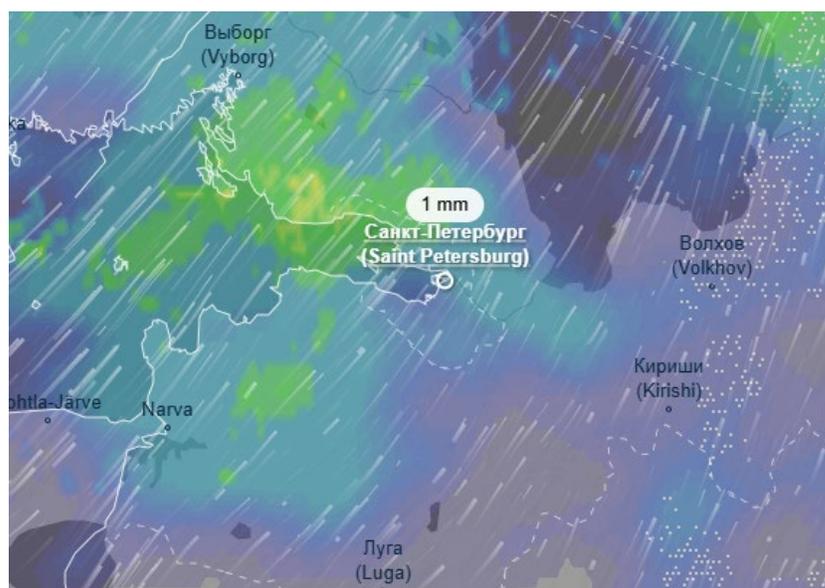


Рисунок 3.28 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай 30.11.2024 в период с 17:00 до 19:00

Анализируя данные за 12 часов можно сказать, что при прохождении двух фронтальных систем (холодный и теплый фронты), движущихся в восточном, северо-восточном направлении над территорией Санкт-Петербурга в первой половине дня не было замечено каких-либо зон осадков, однако ближе ко второй половине дня, под действием теплого фронта, над городом сначала появилась зона с большим количеством слоистой облачности из которой, в последствии пошли слабые, обложные осадки интенсивностью до 1мм.

4 Комплексный анализ зон осадков с использованием данных локаторов и осадкомеров в зимний период

4.1 Эволюция зон осадков при прохождении теплого фронта 28 января

Погода в Санкт-Петербурге 28 января в период с 7:00 до 10:00 утра определяется проходящим теплым фронтом, движущимся на восток, северо-восток (рис. 4.1).

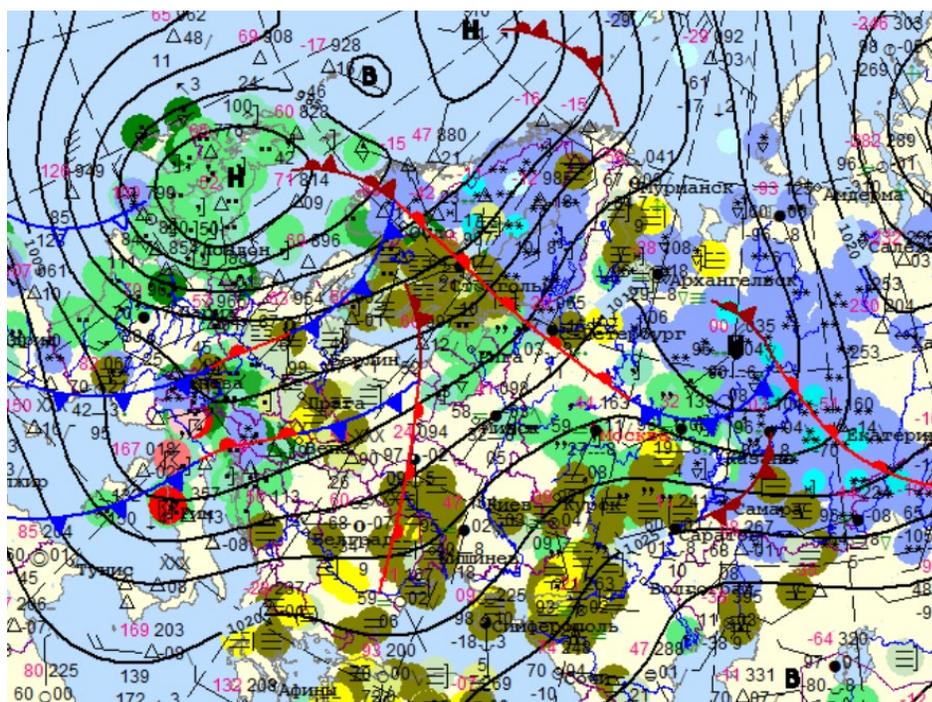


Рисунок 4.1 – Приземная карта за 28 января 2025 года в период 7:00-10:00

Радиолокационные данные собранные за трехчасовой период демонстрируют наличие огромного облачного массива, который включает в себя облачность всех трех ярусов (рис. 4.3б). Преобладающие типы облачности – слоисто-дождевая, слоисто-кучевая. При этом, над Санкт-Петербургом хорошо

видна зона обложных осадков, которая движется в северо-восточном направлении. Так же присутствуют небольшие вкрапления зон с ливневыми осадками (рис. 4.2).

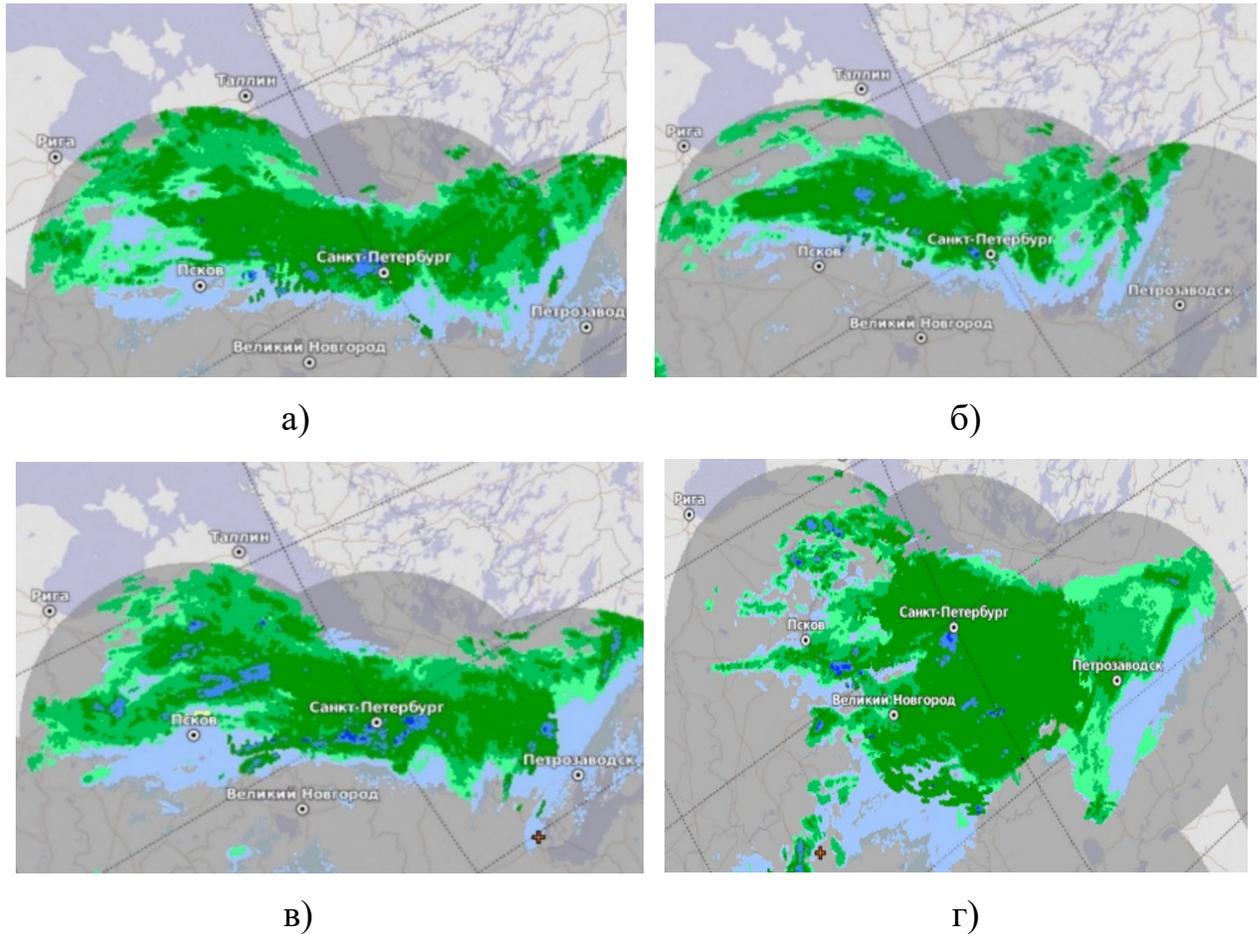


Рисунок 4.2 – Данные сети метеорологических локаторов за 28.01.2025 в период с 7:00 до 10:00

а) 7:00 б) 8:00 в) 9:00 г) 10:00

Данные полученные с осадкомеров за тот же трехчасовой промежуток, демонстрируют присутствие зоны осадков с интенсивностью 3,0 мм в виде снега (рис. 4.3).

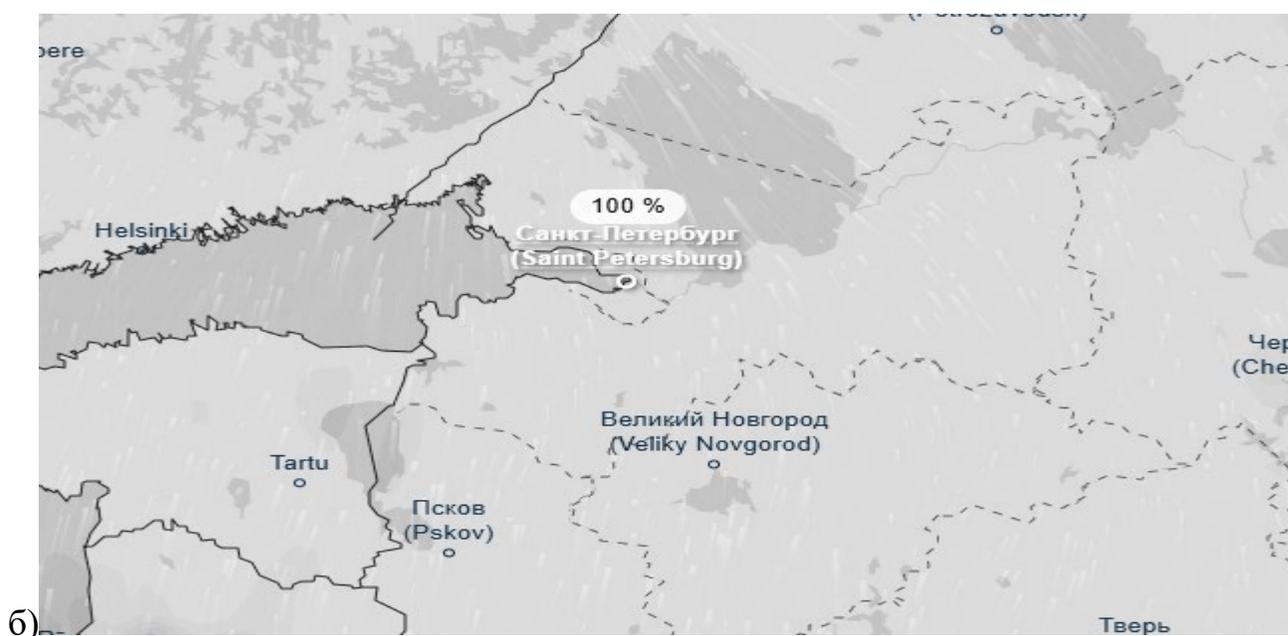
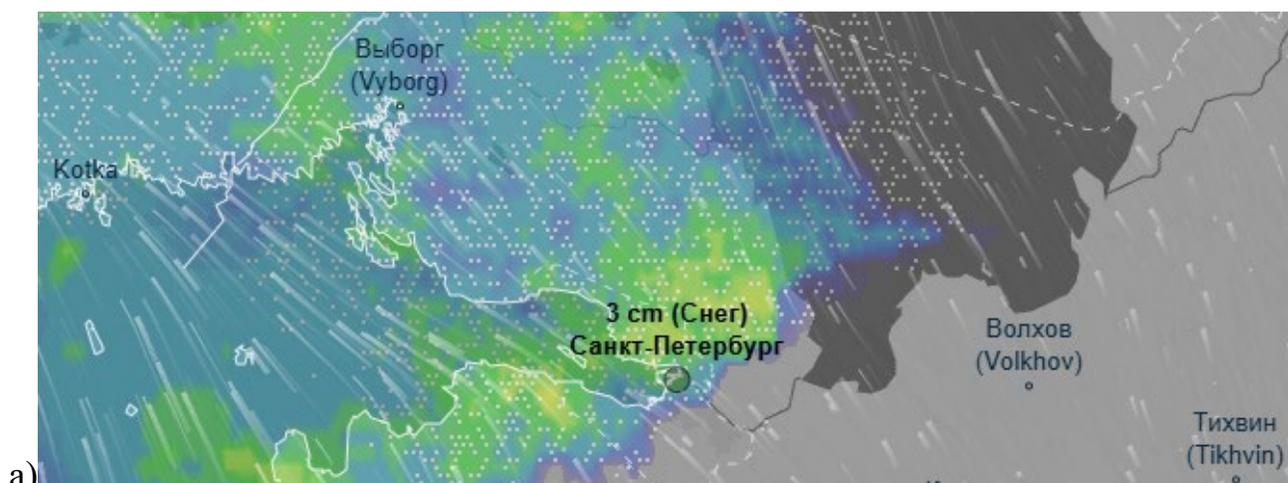


Рисунок 4.3 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай 28.01.2025 в период с 7:00 до 10:00
а) осадки; б) облачность

С 10:00-13:00 данные радиолокатора демонстрируют увеличение размеров зоны обложных осадков, которая продолжает медленное движение в северо-восточном направлении. Локатор показывает небольшие вкрапления зон с

ливневыми осадками (рис. 4.4). Над городом располагается огромный облачный массив, который включает в себя облачность всех трех слоев (рис.4.5б). Преобладающий тип облачности – слоисто-дождевая.

Данные осадкомерной сети за трехчасовой промежуток так же демонстрируют рост зоны осадков, но с небольшим падением интенсивности до 2,0 мм и сменой типа осадков, со снега на дождь (рис. 4.5а).

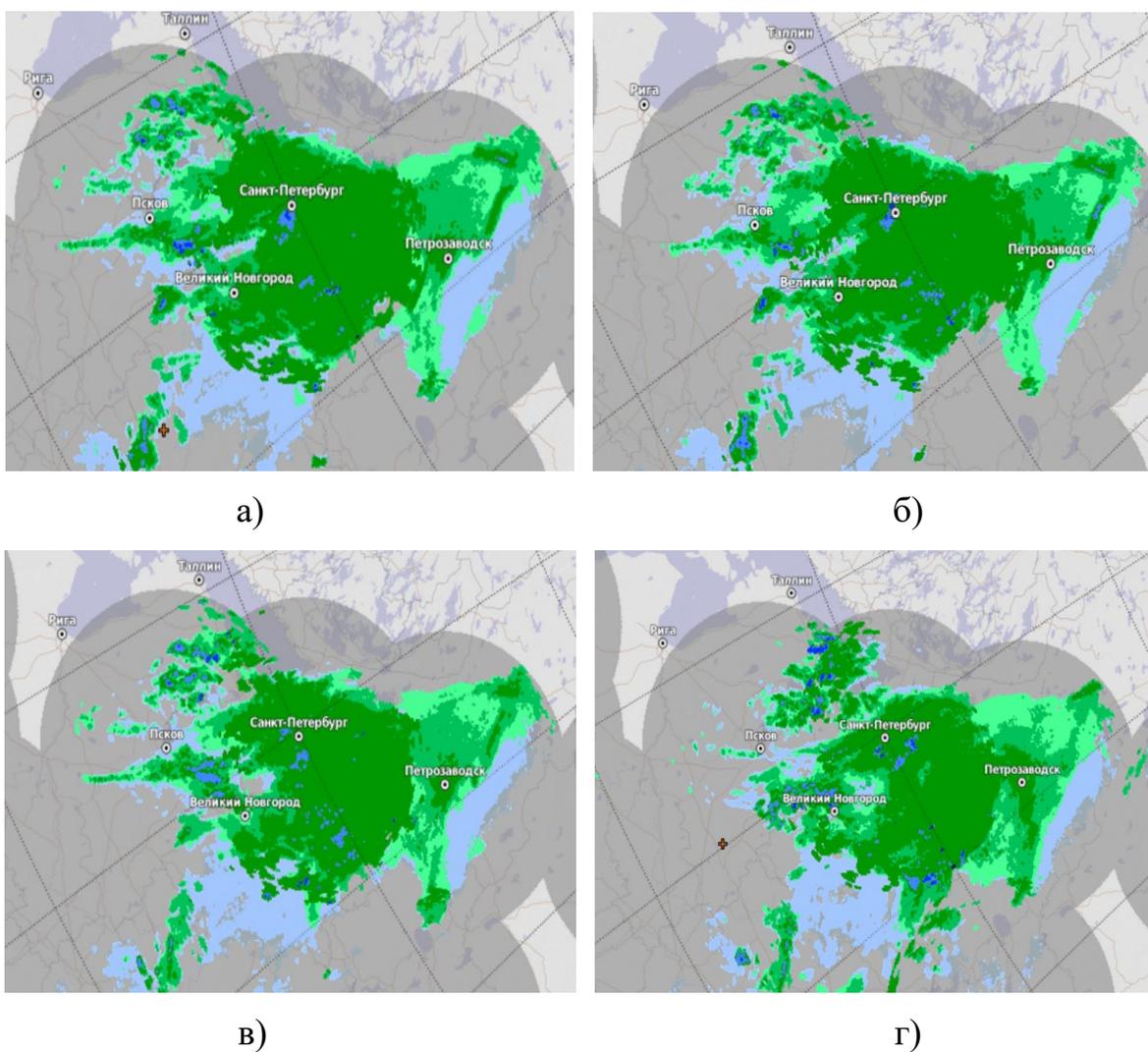


Рисунок 4.4 – Данные сети метеорологических локаторов за 28.01.2025 в период с 10:00 до 13:00

а) 10:00 б) 11:00 в) 12:00 г) 13:00

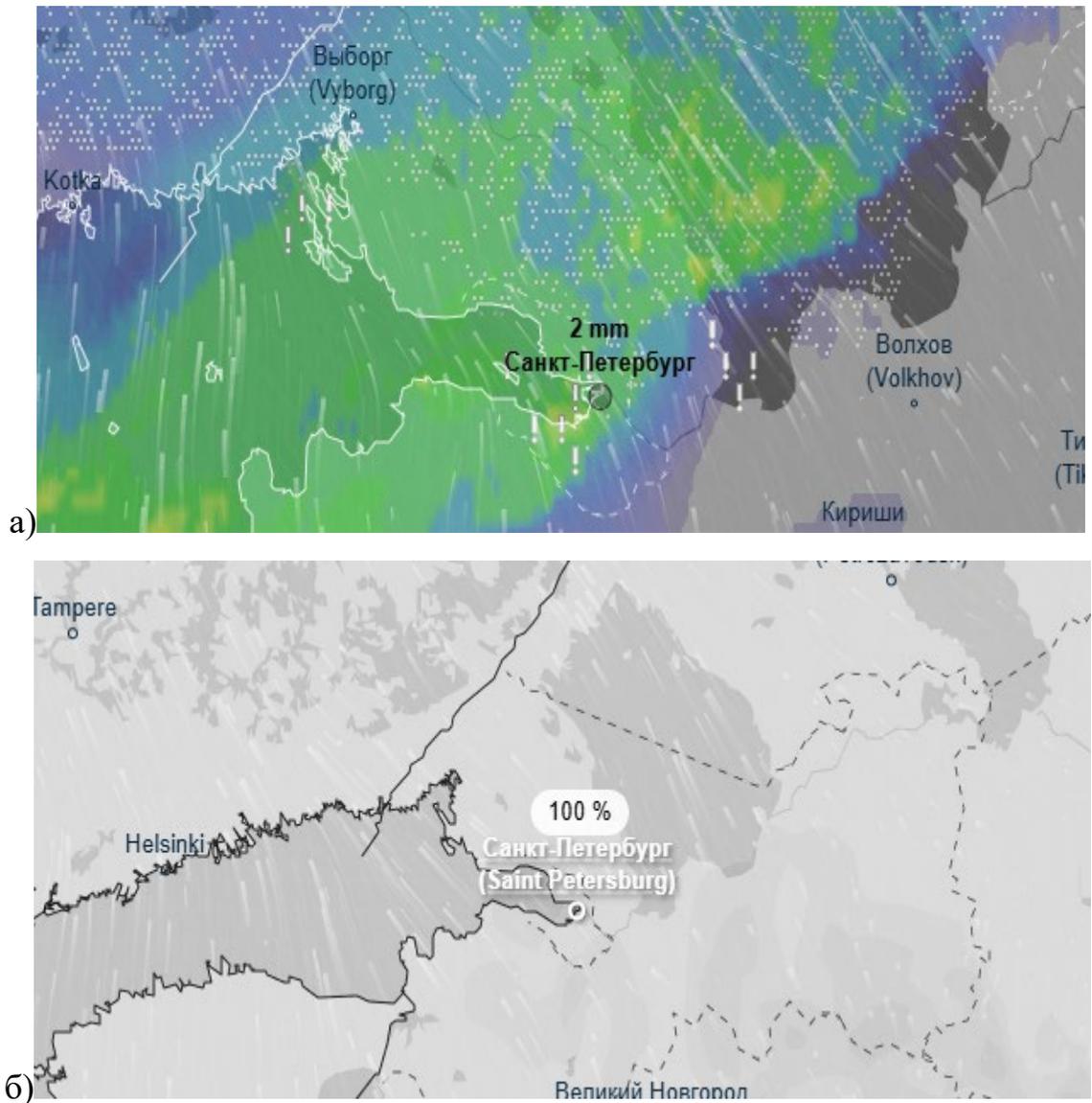


Рисунок 4.5 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай 28.01.2025 в период с 10:00 до 13:00
а) осадки; б) облачность

Погода в Санкт-Петербурге 28 января в период с 14:00 до 17:00 утра определяется проходящим теплым фронтом, движущимся на северо-восток (рис. 4.6).

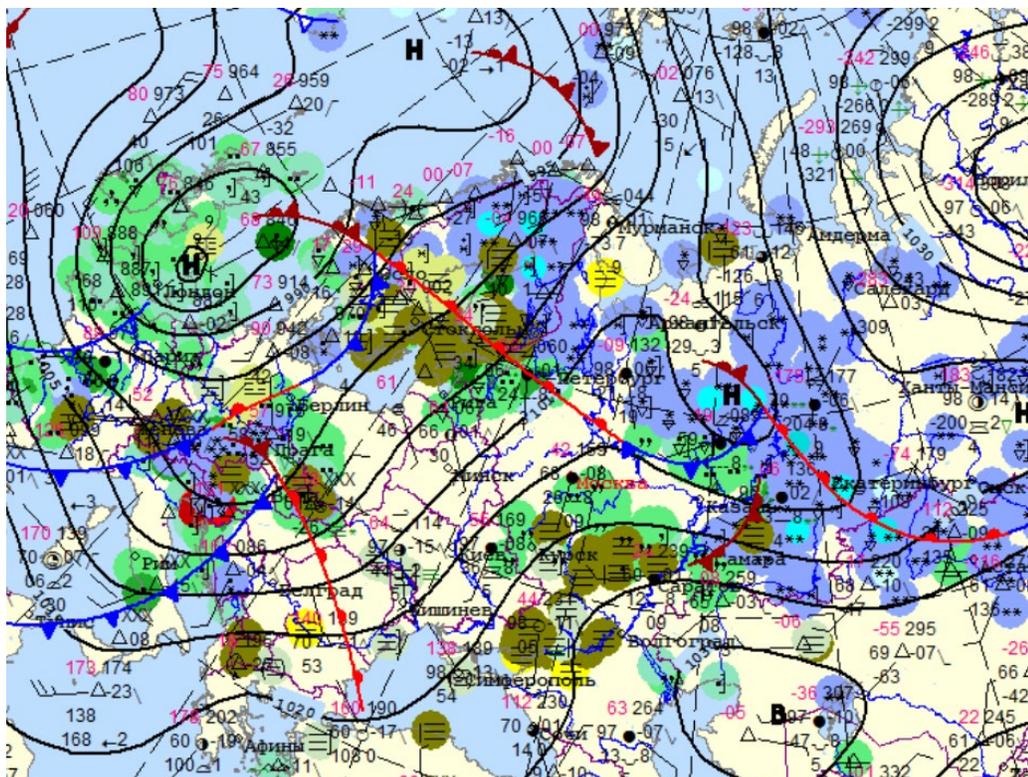
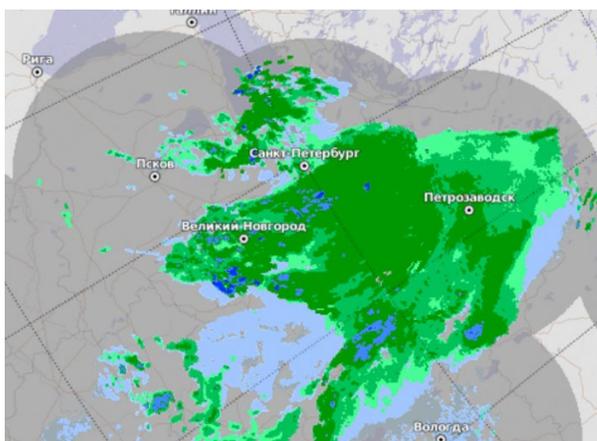


Рисунок 4.6 – Приземная карта за 28 января 2025 года в период 14:00-17:00

В следующие три часа (с 14:00 до 17:00), под действием того же теплого фронта, зона осадков, согласно данным локатора, постепенно смещалась на северо-восток от Санкт-Петербурга в сторону Петрозаводска, что хорошо заметно на рисунках 4.7а-г. Так же стоит отметить постепенное исчезновение зоны осадков над Санкт-Петербургом и рост ее интенсивности, что скорее всего связано с прохождением основной части теплого фронта.

Так же над городом располагается облачный массив, который включает в себя облачность всех трех ярусов с преобладанием слоисто-дождевой, слоисто-кучевой, кучево-дождевой облачности.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.7 – Данные сети метеорологических локаторов за 28.01.2025 в период с 14:00 до 17:00

а) 14:00; б) 15:00; в) 16:00; г) 17:00

Данные полученные с осадкомеров за трехчасовой промежуток, напротив, демонстрируют рост зоны осадков с повышением интенсивности до 4,0 мм, а так же сменой типа осадков, с обложного дождя на замерзающий дождь (рис. 4.8).

Как и в ноябре, после прохождения теплого фронта возникает эффект запаздывания в показаниях осадкомера и метеолокатора.

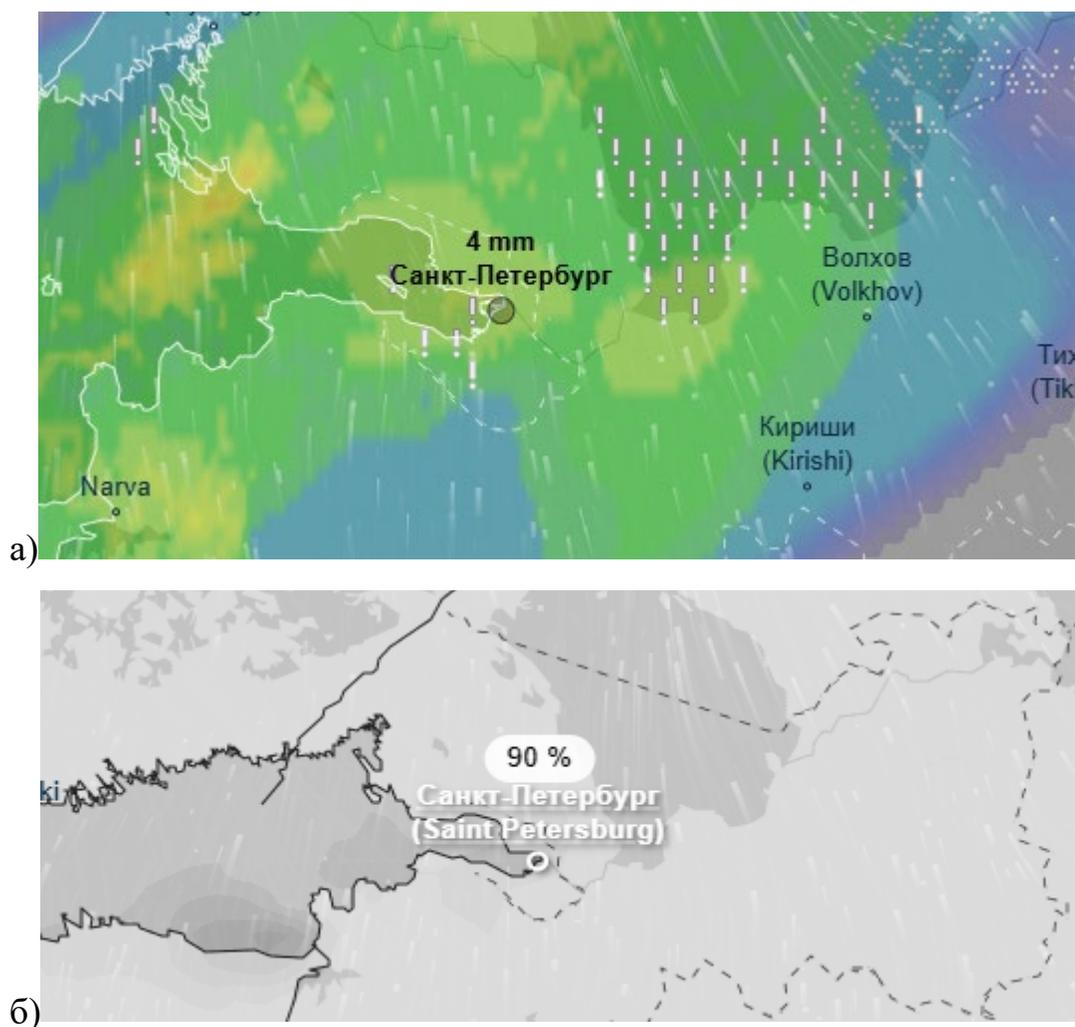


Рисунок 4.8 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай 28.01.2025 в период с 14:00 до 17:00
 а) осадки; б) облачность

В следующие 2 часа (с 17:00 до 19:00) по данным радиолокатора зона осадков над Санкт-Петербургом полностью исчезает. Ее остатки продолжают движение в направлении Петрозаводска (рис. 4.9).

А данные полученные с осадкомеров за двухчасовой промежуток продолжают показывать наличие осадков интенсивностью до 4,0 мм (рис. 4.10)

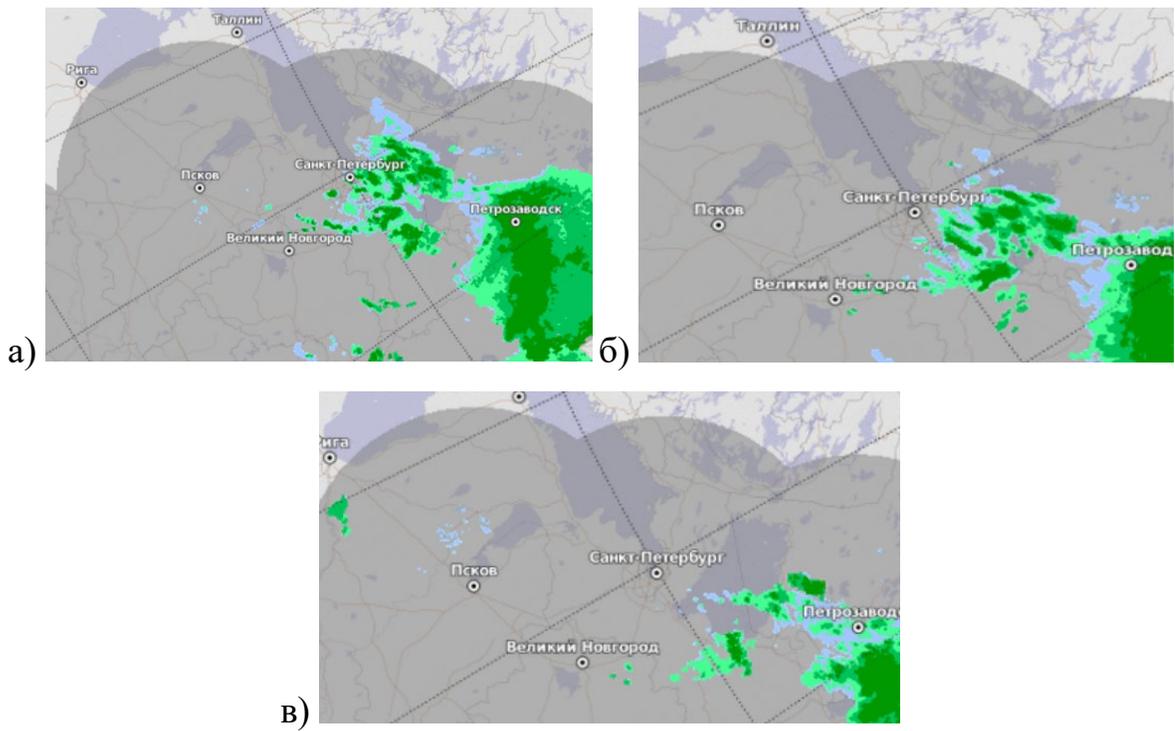


Рисунок 4.9 – Данные сети метеорологических локаторов за 28.01.2025 в период с 17:00 до 19:00
 а) 17:00 б) 18:00 в) 19:00

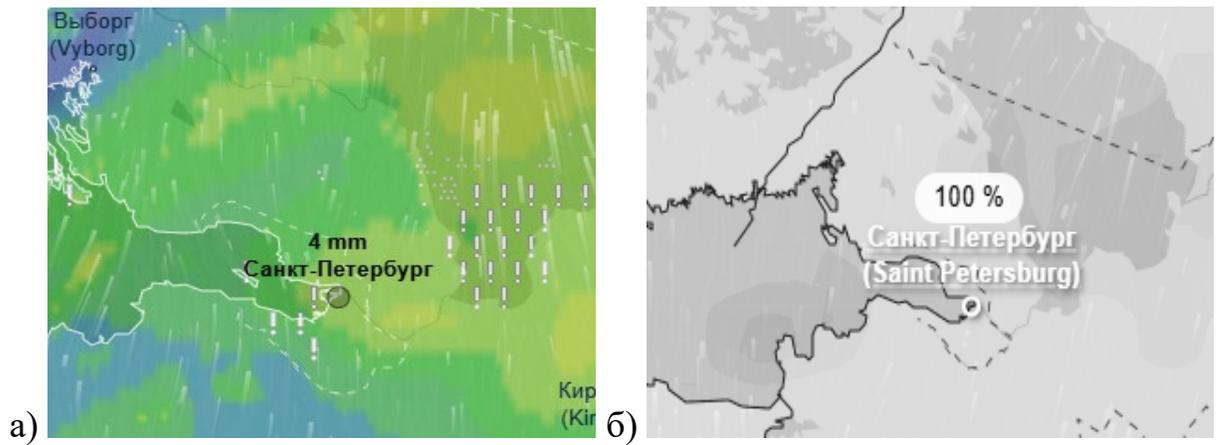


Рисунок 4.10 – Данные интерактивного погодного сервиса Вентускай 28.01.2025
в период с 17:00 до 19:00
а) осадки; б) облачность

Подводя итог двенадцати часового периода за 28 января, отметим, что над территорией Санкт-Петербурга на протяжении почти всего дня располагается зона осадков, постепенно движущаяся в сторону Петрозаводска, в северо, северо-восточном направлении. В первой половине дня осадки были представлены обложным снегом с интенсивностью до 3 мм. Во второй половине дня произошла смена типа осадков со снега на дождь, а после и на замерзающий дождь до 4 мм интенсивностью. Пик размеров и интенсивности зоны осадков пришёлся на 15:00. Далее по данным радиолокатора, зона уменьшалась вплоть до полного исчезновения. По данным осадкомерной сети зона постепенно двигалась в восточном направлении без изменения интенсивности.

Заключение

В данной дипломной работе я собрал и изучил несколько случаев при которых над городом Санкт-Петербург была замечена та или иная зона осадков. Для выполнения этой задачи, мною были проанализированы данные, собранные с помощью Доплеровского двухканального метеорологического лоатора С-диапазона ДМРЛ-С, расположенного в поселке Воейково (Ленинградская область), а так же прогностической сети, использующей осредненные показатели осадкомерной сети, представленной на сайте Ventusky (Вентускай).

В результате проведенной работы, можно сделать вывод, что возникновения зон осадков действительно связано с появлением над пунктом наблюдения циклонической или фронтальной активности. При этом стоит отметить, что тип осадков, а так же характер их выпадения зависит от определённого вида облачности, сформированной под действием ранее упомянутых факторов.

Предполагалось, что использование информации, одновременно полученной с радиолокатора и осадкомерной сети даст потребителю наиболее полную и точную картину о происходящих событиях над какой-либо областью. Однако в процессе работы выяснилось, что добиться подобного результата на практике удастся далеко не всегда. В рассмотренных случаях половина сценариев до конца не соответствуют действительности и возникает такое по нескольким причинам.

Осреднение осадков – пункт, который влияет на изучение осадков в больших населенных пунктах. Стоит учитывать, что не во всех частях исследуемой области находятся осадкомеры, способные предоставить информацию о количестве выпавшей воды или снега, из-за чего происходит осреднение уже имеющихся данных. На примере из данной работы видно, что

иногда, осадкомерная сеть демонстрирует зону осадков, которая проходила над этим пунктом несколько часов назад.

Разные сроки наблюдения – данные, получаемые мной с радиолокатора имеют интервал в десять минут, информация, добытая из осадкомера имеет периодичность в три часа, из-за такого разброса могут возникать различного рода неточности.

Разница измерений – возникает ввиду механизма работы приборов. Метеорологический радиолокатор способен обнаружить облачность на огромных высотах, значения которой зависят от диапазона на которых работает прибор. В данной работе использовался локатор, способный собирать значения влажности на территории до 4км, вмещая их в один пиксель. Осадкомер, в свою очередь, не способен измерять водность того или иного облака, а его приемная площадь колеблется в небольших пределах от 200 до 500 см².

Как итог стоит сказать, что комплексный анализ зон осадков, выполненный с помощью радиолокаторов и осадкомеров можно считать успешным только в половине случаев из-за чего оценить его по достоинству довольно трудно.

Однако в целях описательной работы, связанной с научными изысканиями, данный метод исследования зон осадков может помочь людям с визуализацией и оценкой интенсивности зон осадков.

Список источников

1. Электронный ресурс - Онлайн сервис Ventusky. Режим доступа: <https://www.ventusky.com/ru>
2. Электронный ресурс – Анимированная карта явлений погоды за последние 3 часа по данным радарных наблюдений с сайта «Гидрометцентр России». Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/radanim>
3. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты: [Утв. Центр. комис. по приборам и методам получения и перераб. гидрометеорол. информ. Гос. ком. СССР по гидрометеорологии и контролю природ. среды 26. 12. 78].
4. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). «Методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике». Москва, 2019, 129 с - https://method.meteor.ru/norma/document/dop_3red.pdf
5. Л.И. Дивинский, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова, А.С. Солонин, Т.Е. Симакина К вопросу об обнаружении облачности и осадков по данным доплеровского метеорологического радиолокатора - <https://www.rshu.ru/university/notes/archive/issue39/uz39-87-98.pdf>
6. Электронный ресурс – «Метео Энциклопедия» Режим доступа: <http://meteorologist.ru/>
7. Электронный ресурс – «Международный атлас облаков. Наставление по наблюдению за облаками и другими метеорами (ВМО - №407)» Режим доступа: <https://cloudatlas.wmo.int/ru/home.html>
8. Электронный ресурс – «radartutorial.eu» Режим доступа: <https://www.radartutorial.eu/19.kartei/10.weather/karte031.ru.html>

9. Электронный ресурс – «Анероид.Рф» Режим доступа: <https://www.xn--80aicmxhn.xn--p1ai/info/articles/osadkomer-opisanie.htm>
10. Электронный ресурс – «Википедия» Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>
11. Матвеев Л. Т., 1965 г. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы [учебное пособие] - http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-090546.pdf
12. Электронный ресурс – «Метеоролог И Я» <https://meteo59.ru/book/pribory-i-nablyudeniya/osadkomer.php>