



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

Кафедра метеорологических прогнозов
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Изучение условий обледенения в районе аэропорта «Пулков»

Исполнитель **Вильбаум Юрий Альбертович**
(фамилия, имя, отчество)

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

Топтунова Ольга Николаевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

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

Анискина Ольга Георгиевна
(фамилия, имя, отчество)

« 29 » мая 2022 г.

Санкт-Петербург
2022

СОДЕРЖАНИЕ

Сокращения.....	3-4
Введение.....	5-7
1. ОБЛЕДЕНЕНИЕ	
1.1 Физические условия возникновения обледенения.....	7
1.2 Обледенение в воздухе и на земле.....	8-11
1.3 Обледенение как опасное для авиации явление.....	11-12
1.4 Прогноз обледенения.....	12-15
2. АЭРОПОРТ «ПУЛКОВО»	
2.1 Основные физико-географические и климатические характеристики.....	16-18
2.2 Краткие технические характеристики.....	18-20
3. ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ОБЛЕДЕНЕНИЯ В РАЙОНЕ АЭРОПОРТА «ПУЛКОВО»	
3.1 Систематизация и анализ исходных данных.....	21-25
3.2 Характерные синоптические ситуации, при возникновении обледенения.....	25-31
3.3 Основные особенности вертикального профиля атмосферы при обледенении.....	32-36
3.4 Анализ условий обледенения в воздухе.....	37-42
3.5 Использование данных «прогностического зонда» при оценке возможности возникновения обледенения.....	43-46
3.6 Комплексный метод прогноза обледенения.....	47-48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	49
Список использованных источников.....	50
Приложение А: рабочие таблицы.....	51-84

Сокращения

C – север

CB – северо-восток

B – восток

ЮВ – юго-восток

Ю – юг

ЮЗ – юго-запад

З – запад

СЗ – северо-запад

FL- эшелон

Км/ч- километры в час

ABM- арктическая воздушная масса

АМЦ - Авиационный метеорологический центр

UTC- всемирное скоординированное время

ВС- воздушное судно

НЯ- неблагоприятное явление

ОЯ- опасное явление

FZFG- замерзающий туман

FZRA- замерзающий дождь

FZDZ- замерзающая морось

SIGMET- выпускаемая органом метеорологического слежения (ОМС) информация о фактическом или ожидаемом возникновении определенных явлений погоды по маршруту полета и других явлений в атмосфере которые могут повлиять на безопасность полетов воздушных судов (ВС).

AIRMET- выпускаемая органом метеорологического слежения информация о фактическом или ожидаемом возникновении определенных явлений и условий погоды по маршруту полета, которые могут повлиять на безопасность полетов ВС на малых высотах и которые не были уже включены в прогноз для полетов на малых высотах (GAMET) в соответствующем районе полетной информации (РПИ (FIR)), или его субрайоне.

TAF- название кода для передачи прогнозов погоды по аэродрому.

METAR- название кода для передачи регулярных метеорологических сводок погоды по аэродрому. METAR (сообщения по результатам регулярных наблюдений) выпускается с часовыми или получасовыми интервалами, в 00 и 30 минут каждого часа.

ВВЕДЕНИЕ

Обледенением называется отложение льда на обтекаемых частях самолетов и вертолетов, а также на силовых установках и внешних деталях специального оборудования при полете в облаках, тумане или мокром снеге. Обледенение возникает в том случае, если в воздухе на высоте полета имеются переохлажденные капли, а поверхность воздушного судна имеет отрицательную температуру [1].

Информация об обледенении, а также о его прогнозе в настоящее время является востребованной при метеорологическом обеспечении авиации. Для авиации опасно тем, что уменьшается подъемная сила, увеличивается масса самолета, снижается тяга силовой установки, уменьшается вертикальная скорость набора высоты, снижаются потолок и максимальная скорость полета, увеличивается расход топлива [2].

Недостаточный учёт условий, приводящих к обледенению может привести к авиационному происшествию. Обледенение опасно не только в воздухе, но и на земле. Предупреждения об опасных для авиации явлениях включают информацию, в том числе и об обледенении (умеренном и сильном), которое передаётся через коды SIGMET, AIRMET и предупреждения по аэродрому. Последствия обледенения могут привести к ухудшению лётных качеств воздушных судов. Поэтому своевременное предупреждение об обледенении поможет предотвратить возможные лётные происшествия и минимизировать экономические потери.

В связи с этим очень важно развивать точность прогнозирования обледенения, так как авиакомпаниям необходимо максимально гарантировать безопасность перелёта пассажиров и увеличивать заблаговременность прогноза, чтобы уже как можно раньше определить опасное для авиации явление [2].

К возникновению обледенения приводят ряд факторов физического и синоптического характера: сублимация водяного пара на поверхности ВС; замерзание переохлажденных капель воды, сталкивающихся с поверхностью ВС при полёте в облаках, осадках, тумане; в зоне атмосферных фронтов, особенно на тёплом фронте зимой, холодном фронте 2 рода, и фронте окклюзии вблизи точки окклюзии.

В данной работе рассматриваются синоптические условия и вертикальный профиль атмосферы при возникновении обледенения в районе аэропорта «Пулково», оценивается возможность использования данных «прогностического зонда» и «комплексного метода» для прогноза обледенения и производится сравнение полученных результатов с данными бортовой погоды.

Цель работы: изучить условия наземного обледенения в районе аэропорта «Пулково» и сравнить результаты расчёта обледенения в воздухе по двум методам.

Задачи для выполнения поставленной цели:

- определить основные характеристики замерзающих осадков и соответствующие им синоптические ситуации;
- выявить особенности вертикального профиля атмосферы при возникновении наземного обледенения;
- выполнить расчёты обледенения в задаче «Прогностический зонд» ПО «ГИС Метео»
- выполнить расчёты обледенения по «комплексному методу»

Для решения поставленных задач использовались различные литературные источники. Кроме этого были использованы данные фактической погоды в коде METAR за период 01.10.2016 г. - 30.04.2021 гг., архив синоптических приземных карт, архив данных зондирования атмосферы, данные «прогностического зонда» за период 10.11.2021 г.-28.02.2022 г., данные

бортовой погоды, предоставленные Северо-Западным филиалом ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» за период 01.01.2016 г. – 28.02.2022 г.

Работа состоит из введения, трёх разделов, заключения, списка использованных источников, приложения А (рабочие таблицы).

В первом разделе рассматриваются основные факторы, влияющие на возникновение обледенения и приводятся основные методы его прогнозирования.

Второй раздел посвящён описанию кратких физико-географических, климатических и технических характеристик аэропорта «Пулково».

Третий раздел включает в себя описание исходных данные, результаты их систематизации и анализа, а также результаты расчёта и прогноза обледенения с помощью «прогностического зонда» и «комплексного метода» в сравнении с бортовой погодой.

1. ОБЛЕДЕНЕНИЕ

1.1 Физические условия возникновения обледенения

К причине обледенению воздушного судна можно отнести следующее:

1) Сублимация водяного пара на поверхности ВС. Этот процесс происходит в ясном небе, когда холодное ВС попадает в более теплый и влажный воздух.

Возникает при быстром снижении из более холодных верхних слоев атмосферы в нижние, более теплые слои или при входе в слой инверсии. В ясную морозную погоду сублимация водяного пара на поверхности самолета может произойти и на земле, на стоянке.

2) Замерзание переохлажденных капель воды, сталкивающихся с поверхностью ВС при полёте в облаках, осадках, тумане. Данная причина является преобладающей для возникновения обледенения.

Лед, снег и град обычно сносятся потоком не вызывая обледенения. Оседание этих частиц наблюдается только при достаточно больших положительных значениях температуры поверхности самолета, когда частица успевает сначала расплавиться, а затем снова замерзнуть при столкновении на поверхности ВС с себе подобными. Сублимация водяного пара имеет место в тех случаях, когда упругость водяного пара в воздухе превышает упругость насыщения пара над льдом. Это происходит при соприкосновении водяного пара (воздуха) с более холодными, чем воздух, частями самолета (при быстром снижении самолета из зоны холодного воздуха или при входе самолета в слой инверсии). При этом на поверхности самолета образуются кристаллы льда, которые быстро исчезают [8].

1.2 Обледенение в воздухе и на земле

Отложения льда во время полёта зависят от микроструктуры облаков, температуры воздуха на эшелоне полета и самого режима полета. По своему характеру отложения льда могут быть в виде льда, изморози или инея. Лед

может быть прозрачным, матовым (полупрозрачным или смешанным) и белым (т.н. крупнообразным). Прозрачный лед образуется в случае полёта в облаках, состоящих только из переохлажденных капель, или под облаками в зоне переохлажденного дождя при температурах от нуля до -10°C . Лед отлагается весьма интенсивно, преимущественно на передних кромках крыла и стабилизатора, на носовой части самолета и воздухозаборнике [2].

Образующийся лед гладкий плотно прилипает к поверхности самолета, удаляется он с трудом. Обычно прозрачный лед незначительно искажает профиль несущих поверхностей самолета и мало опасен до тех пор, пока толщина льда небольшая. При значительной толщине такое отложение льда становится опасным [3].

Матовый (полупрозрачный, смешанный) лед возникает при полете воздушного судна в смешанных облаках, состоящих из большого количества мелких и крупных переохлажденных капель, а также из ледяных снежинок и кристаллов. Такое отложение возникает чаще всего при температуре воздуха от -6 до -10°C и является наиболее тяжелым и опасным видом обледенения.

Белый (крупнообразный) лед возникает вследствие замерзания мелких капель при температуре ниже -10°C . Обледенение такого характера обычно наблюдается в облаках, состоящих из сравнительно однородных мелких капель. Образующийся белый пористый лед, неплотно прилипает к поверхности самолета. При продолжительном полете и увеличении плотности льда он может представлять серьезную опасность.

Для оценки влияния обледенения на полет вводится понятие интенсивности обледенения. В самом общем виде интенсивность обледенения — это масса льда, которая откладывается на единице площади в единицу времени. Поэтому в авиации под интенсивностью обледенения понимают толщину слоя льда, который откладывается на поверхности ВС в единицу времени. Интенсивность

обледенения измеряется в миллиметрах в минуту [мм/мин]. Обозначается такое обледенение буквой пси (ψ), символ, похожий на трезубец.

Факторы, оказывающие влияние на интенсивность обледенения:

- Температура воздуха. Самое сильное обледенение в интервале температур от 0 ...-10 °С
- Водность облаков. Чем больше водность облака, тем интенсивнее обледенение. Самое сильное обледенение наблюдается в кучево-дождевых и слоисто-дождевых облаках при водности более 1 г/м³.
- Наличие и вид осадков. В облаках, из которых выпадают осадки, интенсивность обледенения уменьшается, так как уменьшается их водность. Самое сильное обледенение - в ледяном дожде. В мокром снеге обледенение слабое или умеренное.
- Размеры переохлажденных капель. Чем крупнее капли, тем интенсивнее обледенение, так как они обладают большой силой инерции и, следовательно, тем больше капля осядет и замерзнет на выступающей поверхности крыла.
- Профиль крыла. Чем тоньше профиль крыла, тем интенсивнее обледенение.
- Скорость. При скоростях полета до 300 км/ч чем больше скорость полета, тем интенсивнее обледенение.

Также хотелось отметить и наземное обледенение, к которому можно причислить гололёд.

Гололед — слой матового или прозрачного льда, нарастающего на поверхности земли и различных предметах вследствие замерзания капель переохлажденного дождя или мороси, реже тумана. Обычно гололед бывает при слабых морозах (от 0° до минус 5°). Плотность гололеда бывает различна, но обычно колеблется в пределах 0,5-0,9 г/см³. Прозрачность гололеда зависит от величины капель, из которых он образуется, и от температуры воздуха [9]

Температура воздуха у поверхности земли при гололеде чаще всего находится в пределах от 0 до -3°C , в отдельных случаях до -16°C . По аэросиноптическим условиям различают внутримассовый и фронтальный гололед.

Внутримассовый гололед образуется обычно в зонах адвекции теплого и влажного воздуха при отрицательной температуре в приземном слое. Благоприятными условиями для его образования являются: – выпадение морозящих осадков из достаточно мощной слоистой облачности, на верхней границе которой отмечается положительная температура; – наличие слоя инверсии, нижняя граница которой располагается на высоте около 500–1000 м, а верхняя – на высоте около 1500 м.

Фронтальные гололеды наблюдаются преимущественно перед теплыми фронтами и теплыми фронтами окклюзии при выпадении переохлажденного дождя. Такие гололеды наиболее интенсивны и опасны. Для фронтальных гололедов характерна резкая смена отрицательных температур перед фронтом на положительные за линией фронта, когда в холодном воздухе приземные температуры находятся в пределах от -1 до -8° , а в теплом – от $+5$ до $+10^{\circ}$. Для европейской части СНГ гололедные образования на теплых фронтах наиболее часты при выходе южных циклонов [10].

В отдельных случаях гололеды связаны с медленно перемещающимися холодными фронтами (10—20 км/ч), особенно при возникновении на них волновых возмущений. Авиационных пользователей так же интересует прогноз замерзающих осадков, чтобы вовремя начать очистку ВПП и предотвратить образование гололёда на ВПП. [11].

1.3 Обледенение как опасное для авиации явление.

На регулярных авиалиниях стран - членов ИКАО неоднократно фиксировались аварии транспортных самолетов из-за обледенения при посадке в сложных метеорологических условиях. Все перечисленные выше причины, в свою очередь, зависят от водности облака, фазового состояния и размера облачных

частиц, температуры воздуха и температуры поверхности самолета, скорости полета и особенностей обтекания отдельных частей воздушного судна [3].

Вертолеты более подвержены обледенению, чем самолеты, и их с технической точки зрения намного труднее защитить от обледенения. Это несмотря на то, что физические условия обледенения самолетов и вертолетов практически одинаковы. При горизонтальном полете с относительно большой скоростью в условиях, благоприятных для обледенения, лед обычно отлагается на винтах, лобовых частях вертолета, носовой части кабины, антеннах, приемнике воздушного давления и т.д. В то время, когда происходит полёт малыми скоростями в режимах набора высоты и вертикального снижения или при висении обледеневают только винты. Наибольшую опасность представляет обледенение несущего винта, которое возможно при любом режиме полета вертолета [3].

По сравнению с самолетами вертолеты более чувствительны к обледенению, так как на лопастях винтов лед откладывается быстрее, чем на плоскостях самолетов при одних и тех же погодных условиях. В тех случаях, когда в прогнозах погоды указывается умеренное или сильное обледенение, вертолеты полетов не совершают. Обледенение вертолетов наиболее вероятно при полетах в облаках, в зоне области переохлажденного дождя или над открытыми водными пространствами при температуре воздуха от 0 до -10 °С. Если полет выполняется при температуре воздуха -20 °С и ниже, лед может образоваться на внутренней поверхности фонаря кабины вертолета, в итоге значительно ухудшаются условия обзора и затрудняется ориентировка видимости [10].

1.4 Прогноз обледенения

а). Синоптический метод

Этот метод заключается в определении слоев, в которых наблюдается облачность и отрицательные температуры воздуха. Слои с возможным обледенением определяются по аэрологической диаграмме. Наиболее опасное обледенение наблюдается в слое, где температура воздуха колеблется от 0 до -

20°C, а для возникновения сильного или умеренного обледенения опасным является перепад температур от 0 до -12°C. В качестве дополнительной информации синоптики могут использовать установленную зависимость. Если в интервале температур от 0 до -12°C дефицит точки росы больше 2°C, в интервале температур от -8 до -15°C дефицит точки росы больше 3°C, а при температурах ниже -16°C дефицит точки росы больше 4°C, то с вероятностью более 80% обледенение при таких условиях наблюдаться не будет [2].

б). Метод Годске.

Возможность возникновения обледенения определяется по методу Годске при помощи запускаемых два раза в сутки радиозондов. Они проводят регистрацию фактических значений вертикальных профилей температуры воздуха, точки росы, относительной влажности, высоты нижней границы облаков и т.д.

$$T_{н.л.} = -8D = -8(T - T_d) \quad (4.1)$$

Где:

$T_{н.л.}$ - температура насыщения над льдом

D - дефицит температуры точки росы

T - Температура

T_d - точка росы

Обледенение возможно, если температура насыщения над льдом будет выше температуры окружающего воздуха. Годске рекомендует использовать свой метод прогноза обледенения воздушного судна только до высоты 2000 м [2].

При прогнозе гололеда необходимо оценить аэросиноптические условия, определить возможность выпадения осадков и их фазовое состояние, спрогнозировать температуру воздуха у поверхности земли. При наличии на синоптической карте зоны гололеда необходимо рассчитать ее

перемещение и оценить эволюцию в соответствии с ожидаемой эволюцией воздушной массы или атмосферного фронта.

Таблица 1.1. Определение фазового состояния гололёда [12].

<p>Гололед</p>	<p>От 0,5 до -3, в отд. случая х до -16</p>		<p>От 5 до - 5</p>	<p><u>Образование внутримассового и фронтального гололеда:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - дождь, морось, туман, слоистая облачность; - слой инверсии в пограничном слое атмосферы (положительная ступенька) с температурой на нижней границе приземного слоя инверсии от минус 0,5° до минус 8°; - очаг теплого воздуха на поверхности 850 гПа; - умеренные и сильные ветры в пограничном слое; - если $2 < H - 10^{\circ}\text{C} < 4$ км, а $T_z \leq -1^{\circ}, - 5^{\circ}$, то интенсивность гололеда возрастает.
-----------------------	---	--	------------------------	--

Другим, не менее опасным по формированию ГИО явлением, является мокрый снег, а точнее, отложения мокрого снега. Налипший мокрый снег приводит к массовому обрыву линий электропередач и делает плохо различимыми устройства сигнализации и указатели. Мокрый снег формируется в различных частях барического поля при разнообразных синоптических ситуациях (при приземной температуре от - 2° до + 2°) и выпадает практически лишь в зонах атмосферных фронтов (в 99% случаев). Вероятность выпадения мокрого снега

наибольшая (85-90%) в зоне тех фронтов, вблизи приземной линии которых проходят изотермы интервала 0 - плюс 2°С.

Для ситуаций выпадения мокрого снега характерны следующие особенности термической структуры нижнего, полутора километрового слоя тропосферы:

1. наличие теплого (с положительными температурами) слоя, небольшой мощности (500м и менее), прилегающего к поверхности Земли.
2. отсутствие теплых слоев на вышележащих уровнях.
3. отсутствие, как правило, в нижнем 500-метровом слое инверсионного хода температуры, вследствие чего температура воздуха у поверхности Земли, наиболее высокая во всем пограничном слое атмосферы - в диапазоне 0° - плюс 2°.
4. температура на уровне 500м (~ 925гПа), чаще всего, ниже 0°, но выше минус 3°. Отложение мокрого снега происходит в зоне любого типа фронта: теплого, холодного, окклюзии и вторичного холодного фронта, при этом
 - в зонах малоподвижных фронтов - 53%;
 - быстро смещающихся фронтов - 47%.

2. АЭРОПОРТ «ПУЛКОВО»

2.1 Основные физико-географические и климатические характеристики

На территории Санкт-Петербурга находится аэропорт под названием «Пулково», расположенный в Московском районе. Это единственный аэроузел Северной столицы, обслуживающий официальные рейсы. Международный аэропорт Пулково в городе на Неве является одним из наиболее загруженных аэропортов России.

Самое высокое место в черте города находится в районе Красного Села (70 - 110 м) с максимальной точкой у Вороньей горы (176 м).



Рис. 2.1. Физическая карта Санкт-Петербурга и Ленинградской области

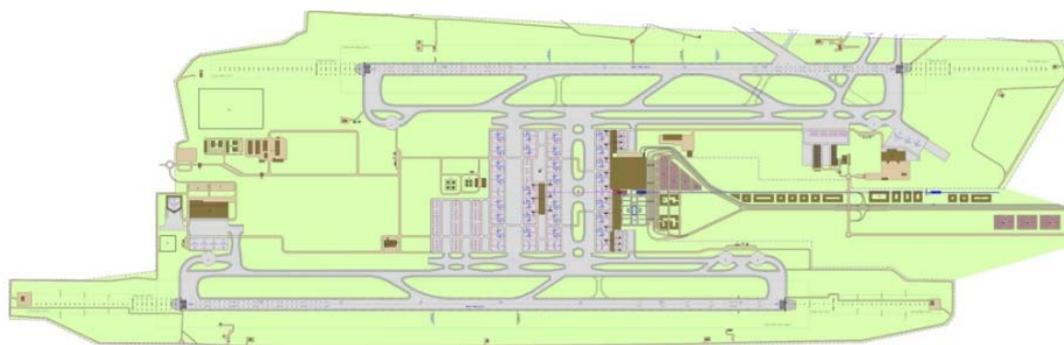


Рис. 2.2. Схема аэродрома “Пулково”

Наиболее высокой является северная часть плато: Можайская или Дудергофская возвышенность с высшей точкой 168 метров над уровнем моря. Чуть ниже располагается рельеф в виде отдельных холмов, средняя высота которых 50-60 м., а наибольшая – Пулковские высоты – 75 м. На юг плато постепенно снижается. Заболоченные почвы занимают почти половину территории района. Аэропорт Пулково расположен в 15 км на юг, юго-запад от города. Высота над уровнем моря 20 м. Поверхность летного поля ровная. Вблизи аэропорта нет крупных промышленных предприятий, но близость большого города создает особенности микроклимата. Санкт-Петербург и его окрестности относятся к атлантико-континентальной области умеренного пояса. Климат города имеет черты и морского, и континентального, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом.

Температурный режим Санкт-Петербурга формируется, в основном, под влиянием, двух факторов: радиационного режима и циркуляции атмосферы. Вторжение атлантических воздушных масс (преимущественно юго-западного и западного направлений) сопровождается обычно ветреной пасмурной погодой, а радиационный фактор больше проявляется при формировании антициклонов – в условиях ясной безветренной погоды. При этом наиболее холодные месяцы года – декабрь и февраль со средними температурами $-7,9...-10,4^{\circ}\text{C}$. Наиболее тёплый месяц года – июль, его средняя суточная температура воздуха составляет $19,5^{\circ}\text{C}$. [14].

Санкт-Петербург по своему географическому местоположению попадает в зону избыточного увлажнения. Среднегодовая сумма осадков в Санкт-Петербурге за последние 30 лет составляет около 650 мм. Выпадение осадков в Санкт-Петербурге определяется, главным образом, интенсивностью циклонической деятельности. В течение года осадки выпадают неравномерно: большая их часть (67%) приходится на тёплый период (апрель – октябрь, с максимумом в июле – августе) и только 33% – на холодный (минимум в феврале – марте).

Одной из основных характеристик осадков является их интенсивность. В холодный период года интенсивность их невелика – в среднем 0,2-0,4 мм/ч. В летние месяцы интенсивность возрастает до 1,1-1,3 мм/ч за счет ливневых осадков.

На территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области в течение всего года преобладают ветры южного, юго-западного, северо-западного и западного направлений, так как повторяемость этих направлений, как правило, превышает 50%.

На большей части территории в течение всего года преобладают слабые (от 0 до 5 м/сек) ветры, повторяемость которых составляет 70 - 90 % зимой и 80 – 90% летом. Повторяемость умеренных ветров (от 6 до 9 м/сек) и сильных (от 10 м/сек и более) в большей степени зависит от сезона.

2.2 Краткие технические характеристики

Аэродром относится к классу А, зарегистрирован в государственном реестре гражданских аэродромов Российской Федерации, имеет Свидетельство о государственной регистрации и годности аэродрома к эксплуатации № 60, подтверждающее пригодность аэродрома для международных полетов. Аэродром соответствует сертификационным требованиям и нормам годности к эксплуатации гражданских аэродромов. Аэродром имеет две параллельные независимые взлетно-посадочные полосы с искусственным покрытием, систему магистральных, соединительных и вспомогательных рулежных дорожек, восьмую категорию по уровню требуемой пожарной защиты. В аэропорту Пулково операции взлета и посадки могут осуществляться независимо от метеоусловий.

Характеристики ВПП: Размеры: * ВПП-1 – 3780 x 60 м; * ВПП-2 – 3397 x 60 м.

Абсолютные высоты порогов ВПП: ВПП-1: 10Пр -20,4 м; 28Л-24,1 м; ВПП-2: 10Л – 18,6 м; 28Пр 20,1 м.

ВПП-1 предназначена для выполнения заходов на посадку и посадок по приборам по категории I с курсом 28Л, по категории II – с курсом 10Пр;

ВПП-2 предназначена для выполнения заходов на посадку и посадок по приборам по категории IIIА с курсом 28Пр и 10Л.

Абсолютная высота Аэродрома: 24 м.

Географические координаты КТА: 59°48'01" с. ш. 030°15' 45" в. д.

АМЦ назначен Росгидрометом в качестве:

- аэродромного метеорологического органа по метеорологическому обеспечению международной аэронавигации на аэродроме Санкт-Петербург (Пулково);
- органом метеорологического слежения (далее — ОМС) по обеспечению Санкт-Петербургского РЦ ЕС ОрВД;
- метеорологическим подразделением по обслуживанию Санкт-Петербургского МДП.

Режим работы АМЦ — круглосуточный.

Местонахождение АМЦ — аэродром Санкт-Петербург (Пулково), аэровокзальный комплекс (АВК-1), здание оперативных служб (ЗОС Пулково-1). Регламент работы аэродрома – круглосуточно. Магнитное склонение +11°.

Класс Аэродрома: Аэродром Санкт-Петербург (Пулково)— аэродром гражданский, совместного базирования класса «А», имеющий две параллельные ИВПП с магнитными курсами посадки 095°/275°.

ИВПП: 10Пр/28Л (далее – ВПП-1); ИВПП: 10Л/28Пр (далее – ВПП-2).

Схема глиссады приведена на рисунке 4.

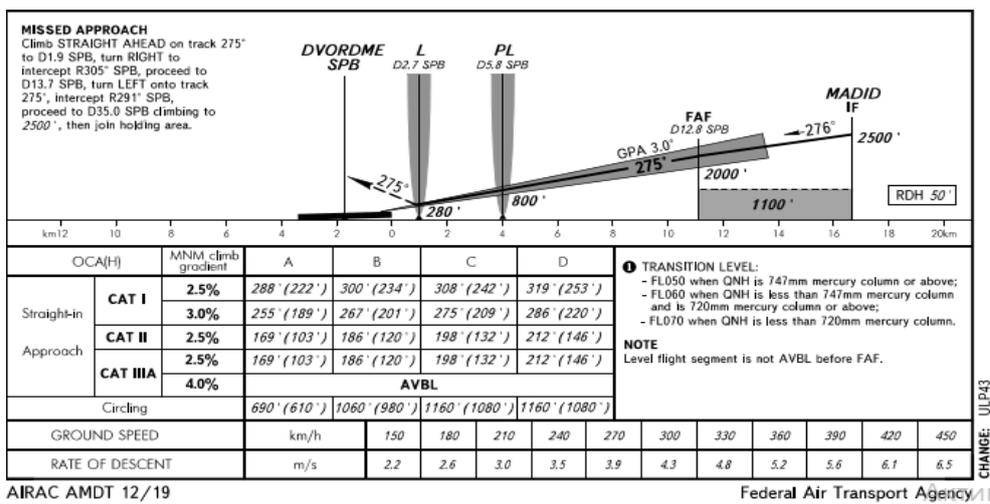


Рис.4 Схема глиссады в аэродроме “Пулково”

Пассажиропоток после распада СССР начал падать и достиг минимума в 1998 году, затем начал возрастать с последующим увеличением до 2008 г. В 2009 году он снова упал из-за экономического кризиса, вследствие которого людям было дорого приобретать билеты. Далее пассажиропоток растёт с каждым годом и достигает максимума в 2019 г., где показатель составил 19,5 млн. пассажиров. В 2020 году из-за новой коронавирусной инфекции, пассажиропоток сильно упал до значений 2011 года. Что касается количества взлётов-посадок, то значения ведут идентично уровню пассажиропотоку. По обработке грузов в 90-е годы значения сильно уменьшилось, затем с каждым годом обработка была неравномерной, то было больше, то меньше. В 00-х годах имел рост с последующими скачкообразными значениями, но в 2020 году заметно снизилось всё по той же причине – COVID-19.

Наибольшее количество рейсов совершается в Симферополь, далее следуют Москва, Сочи и Калининград. Это касается внутренних рейсов. Что же касается по числу пассажиров, то самым загруженным является Москва, число пассажиров составляет около 5200000 пассажиров в год, далее следуют Симферополь, Анталья и Сочи (порядка 700000 пассажиров в год).

3. ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ОБЛЕДЕНЕНИЯ В РАЙОНЕ АЭРОПОРТА «ПУЛКОВО»

3.1 Систематизация и анализ исходных данных

Для анализа аэросиноптических условий наземного обледенения в рассматриваемом районе были использованы данные, полученные из открытых интернет-источников [4,5,6] за период 01.01.2016 г. – 31.12.2021 г. В качестве основной исходной информации были отобраны и систематизированы данные регулярных аэродромных метеорологических наблюдений в коде METAR, содержащие в группе особых явлений текущей погоды дескриптор FZ (замерзающий). За один случай принималось одно сообщение, передаваемое с дискретностью 30 минут.

SA	09/02/2021 00:30->	METAR ULLI 090030Z 23002MPS 3800 0300W FZFG BR VV001 M17/M19 Q1022 R28R/350150 NOSIG RMK QBB050 OBST OBSC=
SA	09/02/2021 00:00->	METAR ULLI 090000Z 25002MPS 0400 0250NE R28R/1000U FZFG VV002 M16/M18 Q1022 R28R/090060 NOSIG RMK QBB060 OBST OBSC=
SA	08/02/2021 23:30->	METAR ULLI 082330Z 27002MPS 0250 0200W R28R/1300U FZFG VV001 M18/M20 Q1023 R28R/090060 NOSIG RMK QBB050 OBST OBSC=
SA	08/02/2021 23:00->	METAR ULLI 082300Z 27003MPS 0200 0150NE R28R/1000D FZFG VV001 M19/M22 Q1023 R28R/090060 NOSIG RMK QBB050 OBST OBSC=
SA	08/02/2021 22:30->	METAR ULLI 082230Z 29003MPS 7000 0300W FZFG SCT007 M19/M21 Q1023 RESN R28R/090060 NOSIG RMK OBST OBSC=
SA	21/02/2021 05:30->	METAR ULLI 210530Z 16002MPS 2500 -SHSN BKN007 BKN020CB OVC033 M03/M04 Q1011 R10L/491038 TEMPO FZDZ OVC002 RMK OBST OBSC=
SA	24/02/2021 09:30->	METAR ULLI 240930Z 14002MPS 7000 OVC005 M07/M09 Q1023 R10R/523040 TEMPO 1500 -FZDZ BR RMK OBST OBSC=
SA	24/02/2021 09:00->	METAR ULLI 240900Z 15002MPS 110V190 7000 OVC005 M08/M09 Q1023 R10R/523040 TEMPO 1500 -FZDZ BR RMK OBST OBSC=
SA	24/02/2021 08:30->	METAR ULLI 240830Z 15002MPS 110V210 4900 BR OVC004 M08/M09 Q1023 R10R/523040 TEMPO 1500 -FZDZ BR RMK QBB140 OBST OBSC=
SA	24/02/2021	METAR ULLI 241830Z 18003MPS 150V230 9999 -SHSN -FZRA BKN004

	18:30->	BKN020CB M01/M01 Q1013 R10L/690336 NOSIG RMK QBB140 OBST OBSC=
SA	24/02/2021 18:00->	METAR ULLI 241800Z 16003MPS 130V190 4700 -SHSN -FZRA BKN003 BKN017CB M01/M02 Q1013 R10L/690334 NOSIG RMK QBB110 OBST OBSC=
SA	24/02/2021 17:30->	METAR ULLI 241730Z 15003MPS 5000 -SHSN -FZRA BKN002 BKN017CB M02/M03 Q1015 RESHSN R10L/650340 NOSIG RMK QBB080 OBST OBSC=
SA	24/02/2021 17:00->	METAR ULLI 241700Z 15003MPS 120V180 3500 1600E -SHSN BR BKN002 BKN017CB M03/M04 Q1015 RESHSN R10L/650340 NOSIG RMK QBB060 OBST OBSC=
SA	24/02/2021 16:30->	METAR ULLI 241630Z 13004MPS 110V170 0900 0700E R10L/P2000U FZFG BKN001 BKN018CB M03/M04 Q1016 R10L/650340 NOSIG RMK QBB050 OBST OBSC=

Рис.3 Примеры отбора информации.

По результатам отбора исходных данных формировалась рабочая таблица, которая включает в себя дату и время интересующего явления, и наблюдавшиеся при этом метеорологические характеристики (температура воздуха, температура точки росы, направление и скорость ветра.

Далее с сайта Flymeteo [5] были взяты аэрологические диаграммы для соответствующих дат, и произведён анализ вертикального профиля атмосферы.

Также для решения поставленных задач были использованы данные архива синоптических приземных карт с сайта Латвийского центра погоды [6]. В даты с наблюдавшимися замерзающими осадками была проанализирована синоптическая ситуация. В результате сформирована рабочая таблица для дальнейшего анализа, она приведена в Приложении А. Приведем результаты, полученные в ходе анализа рабочей таблицы.

В таблице 3.1 представлено количество случаев с замерзающими осадками и туманом по каждому месяцу рассматриваемого периода.

Таблица 3.1 Количество случаев с замерзающими дождём, моросью и туманом.

явление	месяц						
	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель
замерзающий туман	4	45	11	64	21	36	25
замерзающая морось	0	1	31	18	17	0	0
замерзающий дождь	0	12	64	7	24	13	0

Данные таблицы 3.1 в графическом виде представлены на рисунке 3.1.

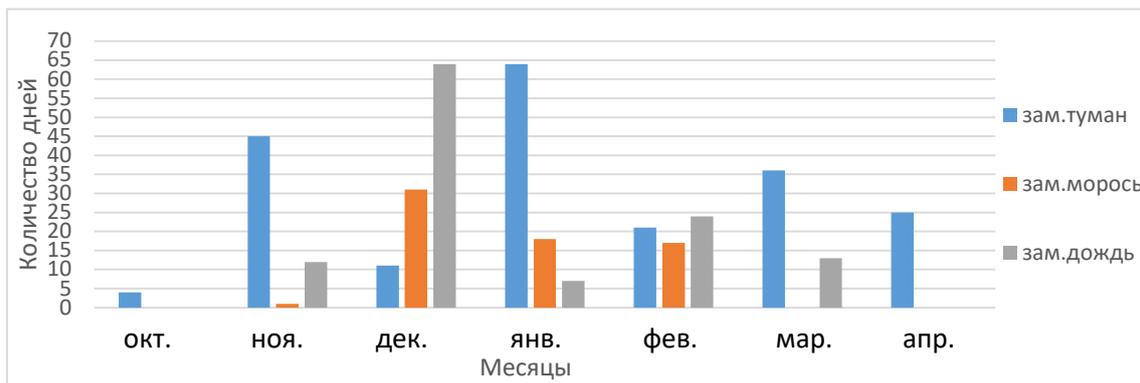


Рис.3.1 Число случаев замерзающих осадков за 2016-2021 гг.

Всего за исследуемый период было выявлено 393 случая с замерзающими явлениями погоды, из них наибольшее количество относится к замерзающему туману – 206. Замерзающий дождь наблюдался 120 раз, замерзающая морось – 67 раз.

Из представленного рисунка видно, что явления, связанные с замерзающими осадками больше приходятся на декабрь и январь. При том, что в декабре превалирует число случаев замерзающего дождя, а в январе и в остальные месяцы, кроме февраля и декабря превалирует замерзающий туман.

На следующем рисунке 3.2 в графическом виде представлена непрерывная продолжительность случаев замерзающих осадков за 2016-2021 гг.

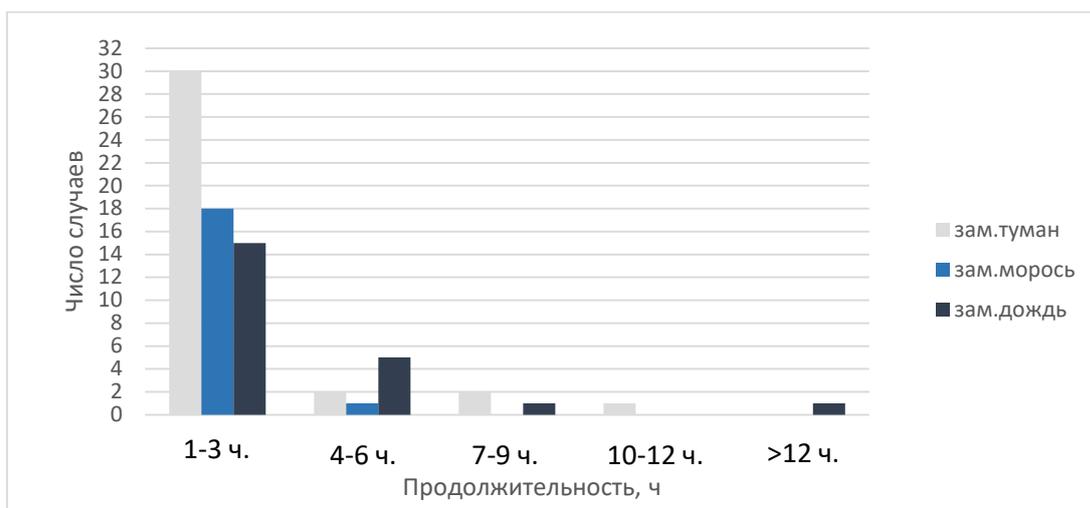


Рис.3.2 Продолжительность замерзающих осадков за 2016-2021 гг.

Из представленного рисунка видно, что 63 случая по продолжительности проходит в течении 1-3 часов. Что касается замерзающего дождя, то по продолжительности встречаются и по 4-6 часов.

Ниже, на рисунке 3.3 представлена роза ветров повторяемости направления ветра за 2016-2021 гг., когда проходили замерзающие осадки.

Из представленного графика видно, что около 30% данных явлений происходит при юго-восточных ветрах. Такие направления ветра, в основном происходят в передних частях циклона и замерзающие осадки происходят в передних частях циклона.

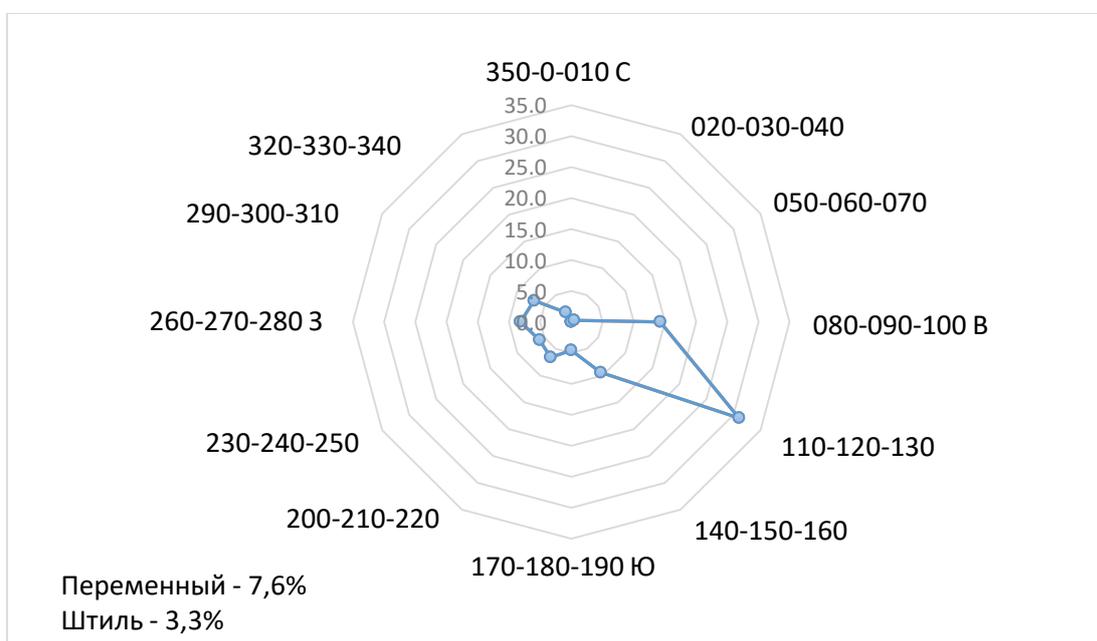


Рис.3.3 Роза ветров повторяемости направления ветра за 2016-2021 гг. при замерзающих осадках.

На рисунке 3.4 представлена в графическом виде повторяемость скорости ветра при замерзающих осадках за 2016-2021 гг.

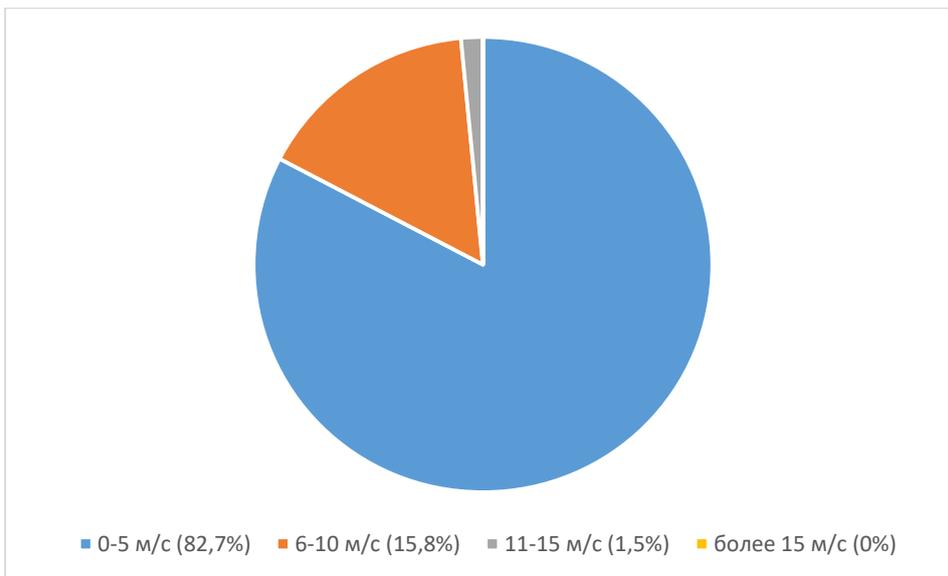


Рис.3.4 Повторяемость скорости ветра при замерзающих осадках за 2016-2021 гг.

Из представленного графика видно, что большинство случаев (83%) всех случаев приходит при скоростях ветра 0-5 м/с, а при 6-10 м/с только 16%.

На рисунке 3.5 представлена повторяемость замерзающих осадков при различных температурах воздуха и точки росы за 2016-2021 гг.

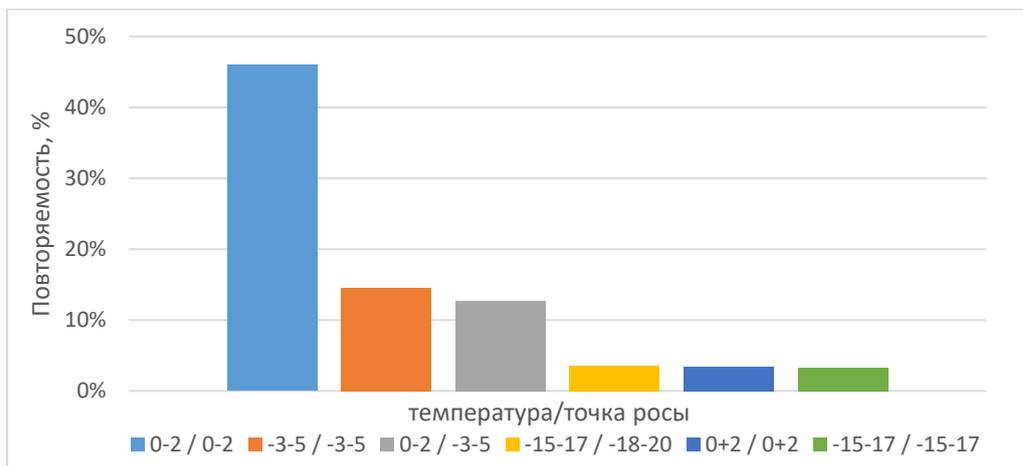


Рис.3.5 Повторяемость замерзающих осадков при различных температурах воздуха и точки росы за 2016-2021 гг.

Из представленного графика видно, что большинство случаев (45%) всех случаев приходит при температуре и температуре точки росы 0-2 град./0-2 град.

3.2 Характерные синоптические ситуации, при возникновении обледенения

В качестве примеров возникновения обледенения, рассмотрим наиболее характерные синоптические ситуации для данного явления.

а). Ситуация за 8.12.2017 г.

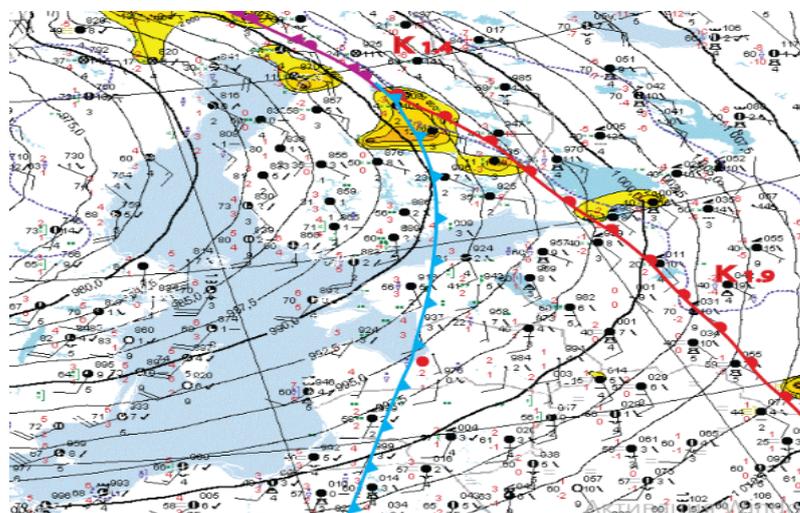


Рис. 3.1 Приземная карта за 9 UTC 8.12.2017 г.

Данный циклон сформировался на севере Атлантического океана. На АТ-500 над ним наблюдались ветры юго-западного направления со скоростью около 20 м/с. На АТ-850 с ним связана зона полярного фронта, контрасты температур около 8 градусов (от -4 град. до +2 град.). Давление в центре в первую половину суток составляло около 986 гПа, на 7.12. около 978 гПа. Циклон смещался на восток со скоростью 45 км/ч и к утру вышел на территорию Санкт-Петербурга сначала тёплым фронтом, затем тёплым сектором. В первой половине следующего дня, 08.01.2021г. циклон продолжал смещаться на восток, северо-восток, существенно замедляясь (скорость около 20 км/ч) и оставляя Санкт-Петербург в своей тыловой части (температура на АТ-850 менялась от -2 град. утром до -6 град. вечером). Давление в центре менялось от 963 гПа утром до 974 гПа вечером. Циклон последний раз был виден на приземной карте в виде замкнутой изобары 11.12.2017г. в 00 часов. На АТ-850 над ним температура около -6 град., на АТ-500 - высотный центр.

В явлениях погоды циклон был выражен следующим образом. В передней части наблюдались осадки виде снега при температурах от 0 град. до -1 град.,

которые усиливались по мере его продвижения на север от слабых до умеренных сильных. В тёплом секторе выпадали слабые дожди и морось при температуре от 0 град. до +1 град. А при прохождении холодного фронта температура пересекла 0 отметку и понизилась к 15 часам до -1-2 град.

б). Ситуация за 22.02.2018 г.

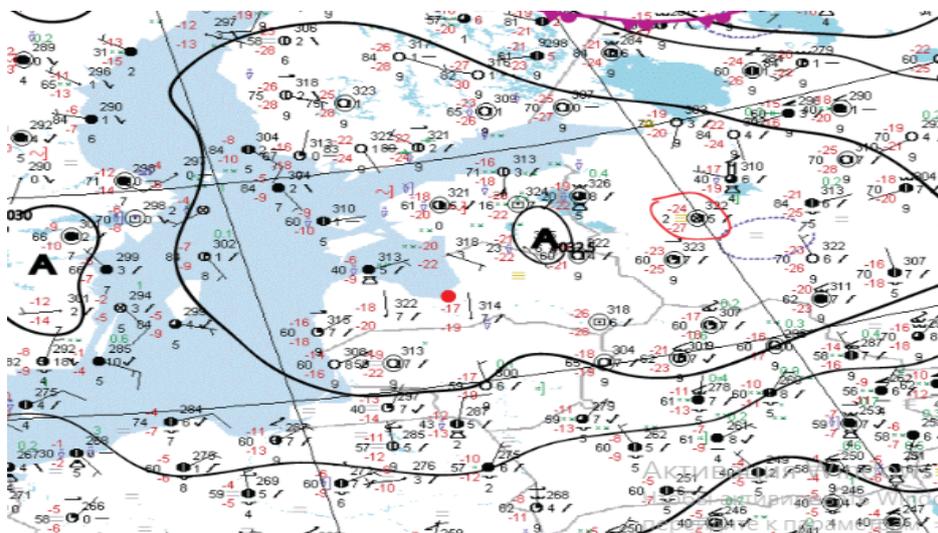


Рис. 3.2 Приземная карта за 22.02.2018 г.

Эта ситуация примечательна тем, что обледенение произошло на фоне влияния центральной части антициклона, причём данная ситуация является типичной для замерзающего тумана. Данный антициклон сформировался на севере Скандинавского полуострова. На АТ-500 над ним наблюдались ветры северо-западного направления со скоростью около 10 м/с. На АТ-850 господствует АВМ, температура около -16 град. Давление в центре в течение суток составляла 1031-1033 гПа. Антициклон смещался на юго-восток со скоростью 20 км/ч.

В явлениях погоды антициклон был выражен в низких температурах (-17-19 град.), скорость ветра была слабой (2-3 м/с).

в). Ситуация за 3.02.2019 г.

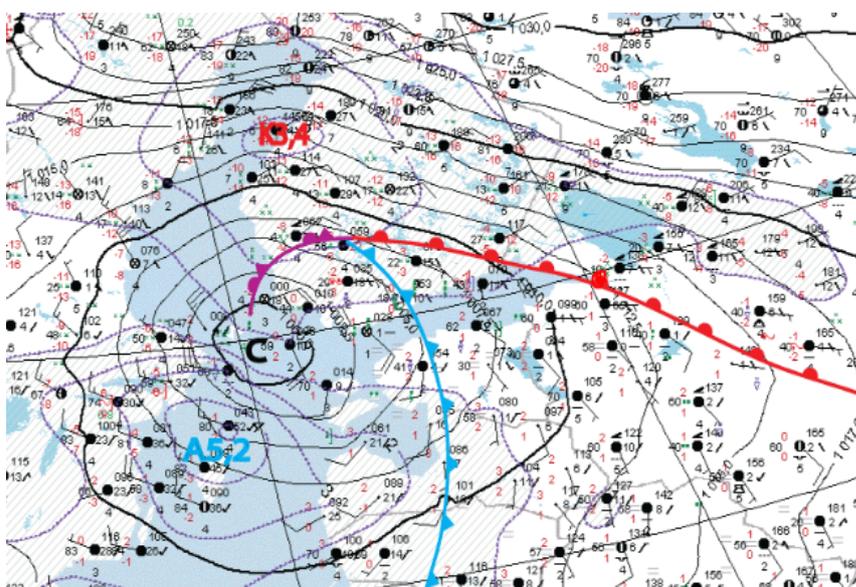


Рис. 3.3 Приземная карта за 3.02.2019 г.

Здесь пример выхода южного циклона, пришедшего на территорию Санкт-Петербурга, который вызвал обледенение. Циклон сформировался на волнящем фронте 02.02.2019г. в 12 часов UTC над Польшей. На АТ-500 над ним наблюдались ветры юго-западного направления со скоростью около 25 м/с. На АТ-850 с ним связана зона полярного фронта, контрасты температур около 6 градусов (от -4 град. до +2 град.). Давление в центре составляло около 994 гПа, к концу дня значение минимального давления не изменилось. Циклон смещался на северо-восток со скоростью 45 км/ч и к утру вышел на территорию Санкт-Петербурга сначала тёплым фронтом, затем тёплым сектором. В первой половине следующего дня, 08.02.2019г. циклон продолжал смещаться на восток, северо-восток, существенно замедляясь (скорость около 35 км/ч). Температура на АТ-850 менялась от 0 град. утром до -4 град. вечером. Давление в центре менялось от 1001 гПа утром до 1004 гПа вечером. Циклон последний раз был виден на приземной карте в виде замкнутой изобары 4.02.2019г. в 06 часов. Давление в центре к этому моменту составляло около 1008 гПа и находился он в районе Ботнического залива. На АТ-850 над ним температура около -8 град., на АТ-500 - высотный центр.

В явлениях погоды циклон был выражен следующим образом. В передней части наблюдались осадки в виде снега при температурах от 0 град. до -1 град.,

которые усиливались по мере его продвижения на северо-восток от слабых до умеренных. В тёплом секторе выпадали осадки при температуре от 0 град. до +1 град. А при прохождении холодного фронта уже вечером температура находилась в пределах нулевой отметки и понизилась к 12 часам до -1 град.

г). Ситуация за 29 декабря 2020 г.

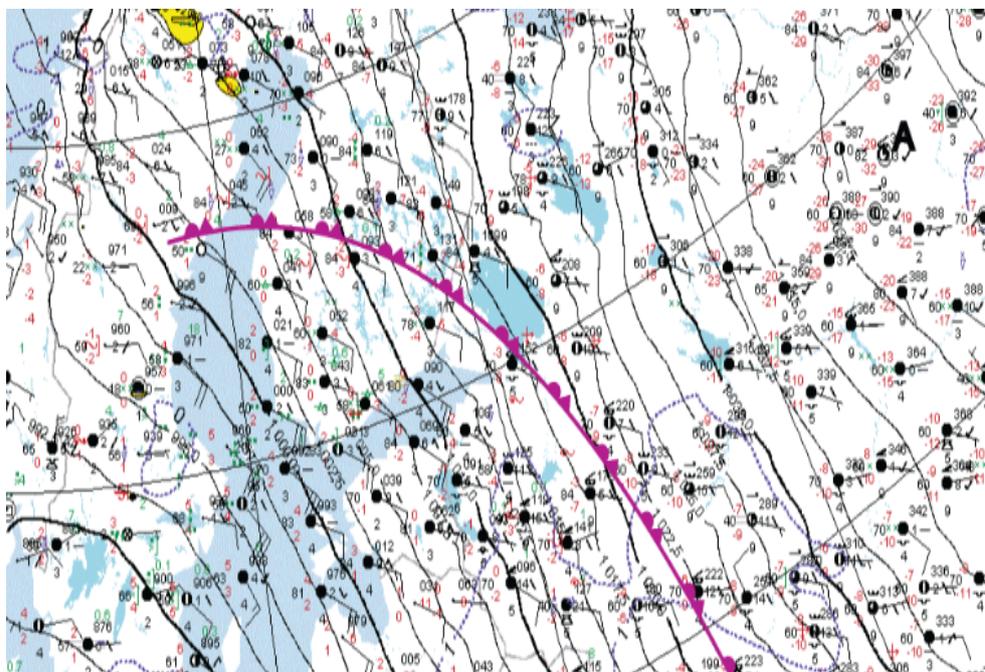


Рис. 3.4 Приземная карта за 29.12.2020 г.

Данная ситуация интересна тем, что замерзающие осадки и обледенение продолжались довольно значительное количество часов (около 15 часов). Эта фронтальная система уже пришла к городу уже на максимальной стадии, переходящей к стадии заполнения. На АТ-500 над ним наблюдались ветры южного направления со скоростью около 20 м/с. На АТ-850 с ним связана зона полярного фронта, контрасты температур около 6 градусов (от -4 град. до +2 град.). Фронтальная система смещалась на восток со скоростью 20 км/ч и ночью вышла на территорию Санкт-Петербурга. В первой половине дня циклон смещался на восток, со скоростью 15 км/ч. Температура на АТ-850 менялась от +1 град. Утром и днём, до -3 град. вечером. Давление во время прохождения фронта менялось от 1012 гПа утром до 1007 гПа вечером. Фронт последний раз был виден на приземной карте 31.12.2020г. в 00 часов. Давление

в пункте к этому моменту составляло около 1015 гПа. На АТ-850 над ним температура около -4 град., на АТ-500 - передняя часть ложбины.

В явлениях погоды фронт был выражен следующим образом. В передней части фронта наблюдались осадки виде ледяного дождя при температурах от 0 град. до -2 град., которые усиливались по мере его продвижения на северо-восток от слабых до умеренных и сильных. А при прохождении фронта окклюзии уже вечером температура понизилась до -3 град.

Далее, рассмотрим синоптические ситуации, наиболее характерные для каждого явления.

На рисунке 3.6 представлена повторяемость синоптических ситуации при замерзающем тумане за 2016-2021 гг.

Из представленного графика видно, что большинство случаев 24% и 22% всех случаев приходит на переднюю часть циклона и на западную периферию антициклона соответственно.

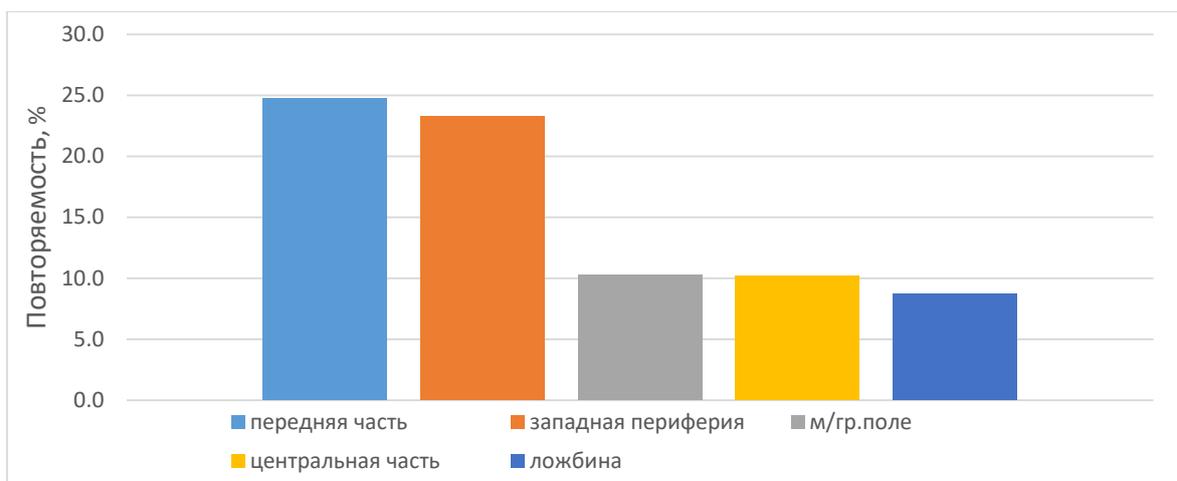


Рис.3.6 Повторяемость синоптических ситуации при замерзающем тумане за 2016-2021 гг.

На рисунке 3.7 представлена повторяемость синоптических ситуации при замерзающей мороси за 2016-2021 гг.

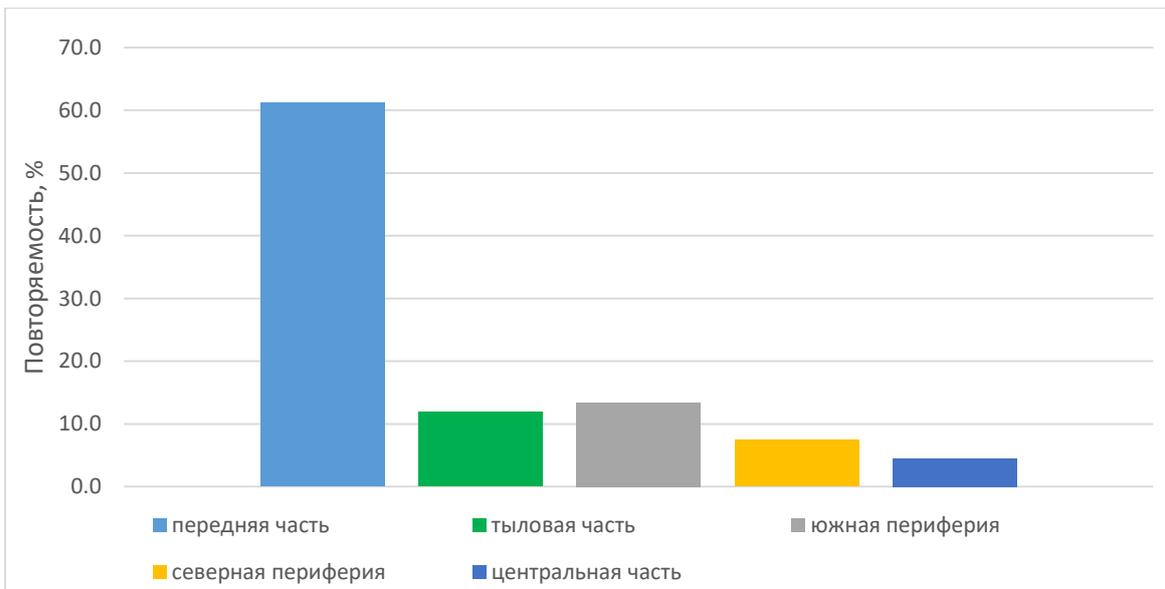


Рис.3.7 Повторяемость синоптических ситуации при выпадении замерзающей мороси за 2016-2021 гг.

Из представленного графика видно, что большинство всех случаев, касающихся замерзающей мороси, 62% относится к передней части циклона.

Ниже, на рисунке 3.8 представлена повторяемость синоптических ситуаций при выпадении замерзающего дождя.

Из представленного графика видно, что большинство всех случаев, касающихся замерзающего дождя, 87% относится также к передней части циклона.

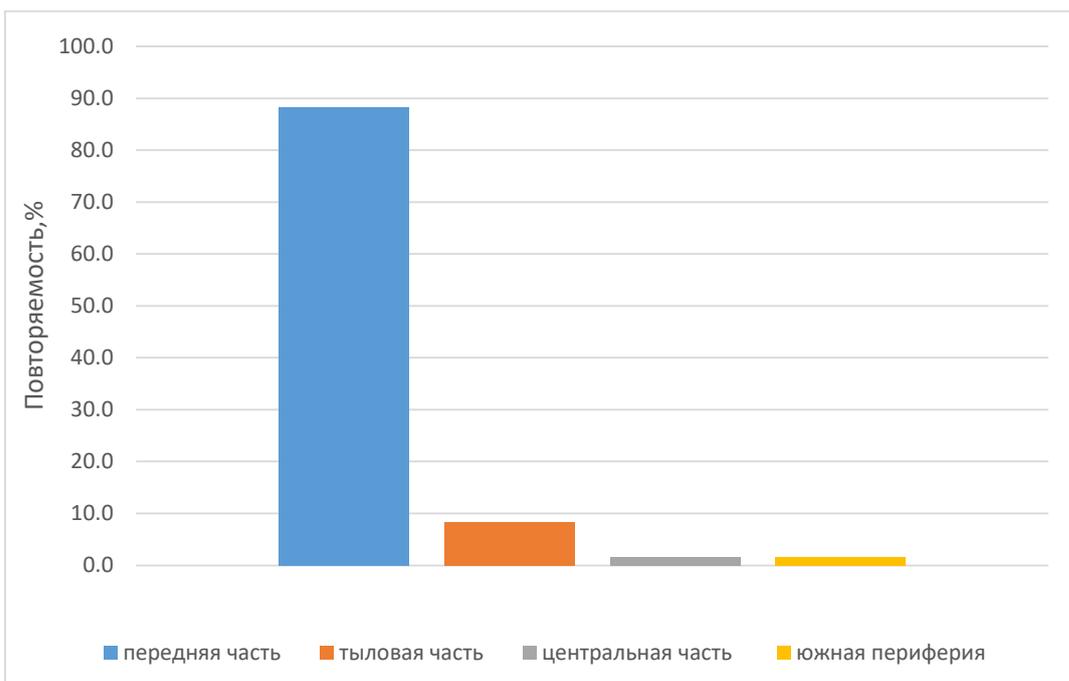


Рис.3.8 Повторяемость синоптических ситуации при выпадении замерзающего дождя за 2016-2021 гг.

Все эти графические данные говорят о том, что наблюдавшиеся случаи замерзающих осадков необходимо связать с синоптическими условиями. Для этой задачи синоптические ситуации были типизированы, результаты в графическом виде представлены на рис.3.9 Преобладающими синоптическими условиями при формировании замерзающих осадков являются, во всех случаях, передние части циклонов и для замерзающего тумана, в равной степени, западные периферии антициклонов.



Рис.3.9 Повторяемость замерзающих осадков в различных синоптических ситуациях.

3.3 Основные особенности вертикального профиля атмосферы при обледенении

В качестве источников информации были отобраны аэрологические диаграммы, в дни с замерзающими осадками и туманом.

В данной части представим информацию, где указаны слои обледенения по аэрологической диаграмме. Как было сказано ранее, для определения обледенения, используется метод Годске.

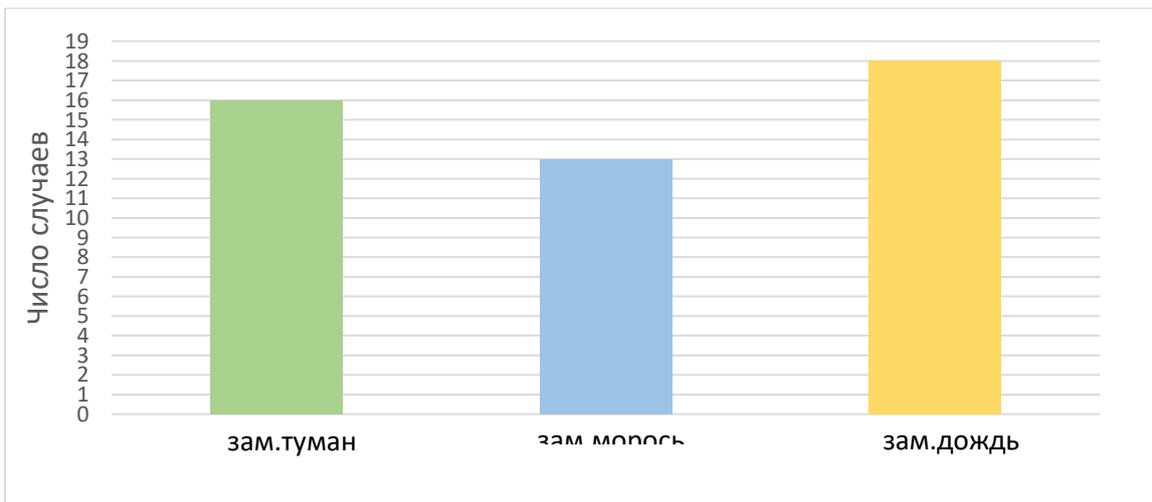


Рис.3.11 Число случаев обледенения при замерзающих осадках, подтверждённое методом Годске за 2016-2021 гг.

Из представленного графика видно, что при замерзающем дожде и замерзающем тумане больше всего подтверждается по методу Годске наличие слоёв обледенения.



Рис.3.12 Число случаев наличия и отсутствия инверсии и изотермии на высотах при замерзающих осадках за 2016-2021 гг.

Из представленного рисунка 3.12 видно, что в большинстве случаев на диаграмме встречаются на высотах слои инверсии и изотермии, причём при замерзающей мороси и дожде они встречаются везде.

Также характерным случаем, представленным на рисунке 3.13 для диаграммы с наличием обледенения, это переход температуры на высотах через нулевую изотерму.

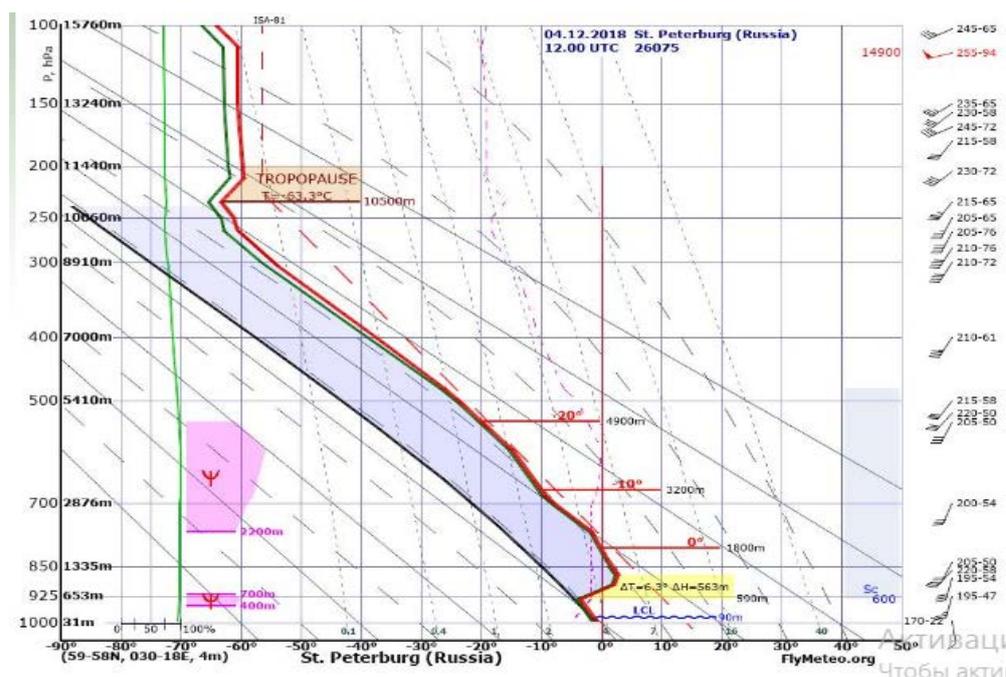


Рис. 3.13 Аэрологическая диаграмма за 4.12.2018 г. 12 UTC

Тогда погода обусловилась влиянием тёплого фронта циклона. Что касается осадков, то здесь фиксировалась замерзающая морось. Слой положительной температуры прослеживается от 750 м до 1800 м.

Ниже, на рисунке 3.14 представлено количество случаев с положительной температурой на высотах.

Из представленного графика видно, что большая часть случаев не имеют слои с положительной температурой, но разница со случаями с положительной температурой небольшая. В случае наличия положительной температуры в слое, то оно встречается больше при замерзающем тумане.

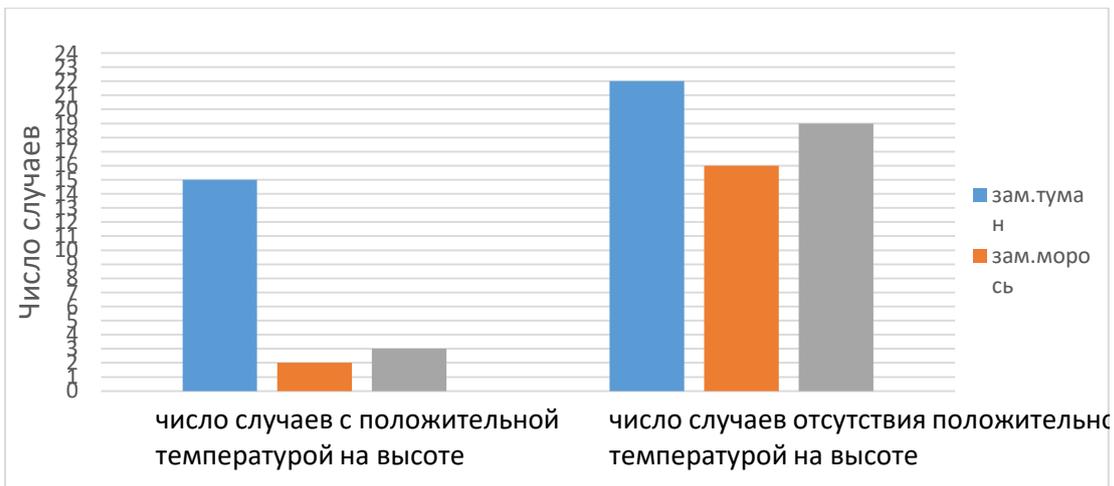


Рис.3.14 Число случаев наличия и отсутствия слоя с положительной температурой при замерзающих осадках на высотах за 2016-2021 гг.

На рисунке 3.15 представлен типичный случай на аэрологической диаграмме, где присутствует слой обледенения. Это случай приземной инверсии. Погода в этот день обуславливалась западной периферией антициклона. Стоит отметить, что толщина слоя приземной инверсии не превышает 1000 м. Причиной этому является замерзающий туман.

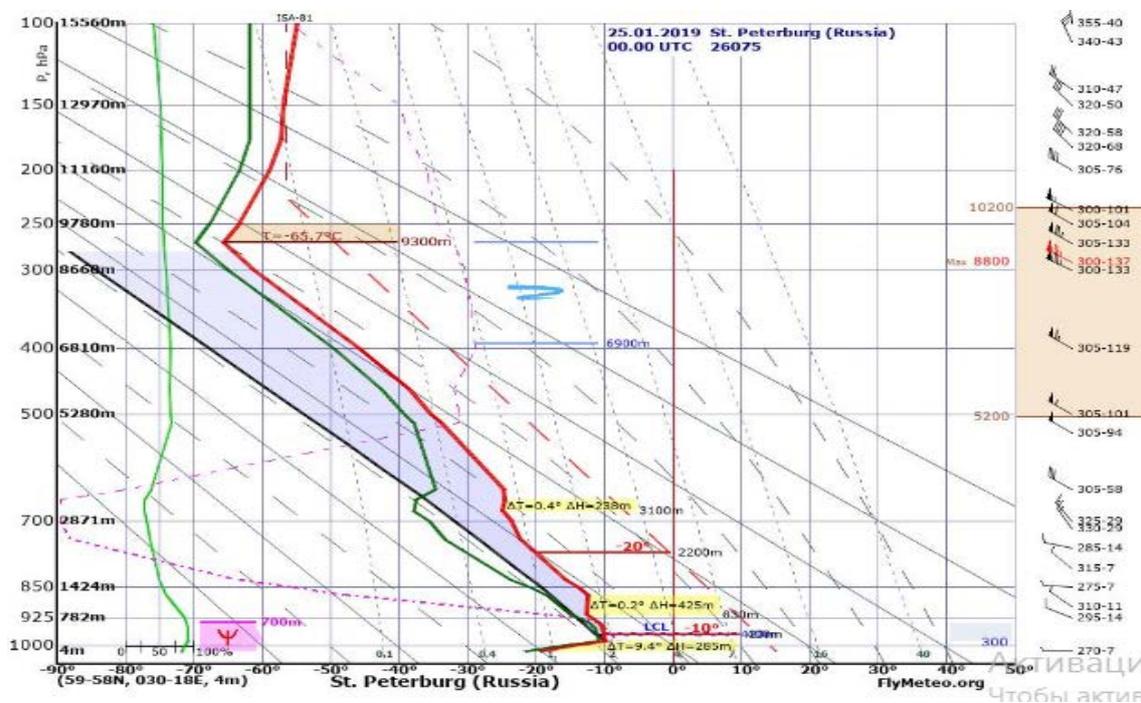


Рис. 3.15 Аэрологическая диаграмма за 25.01.2019 г. 00 UTC

На рисунке 3.16 представлено число случаев с приземной инверсией.

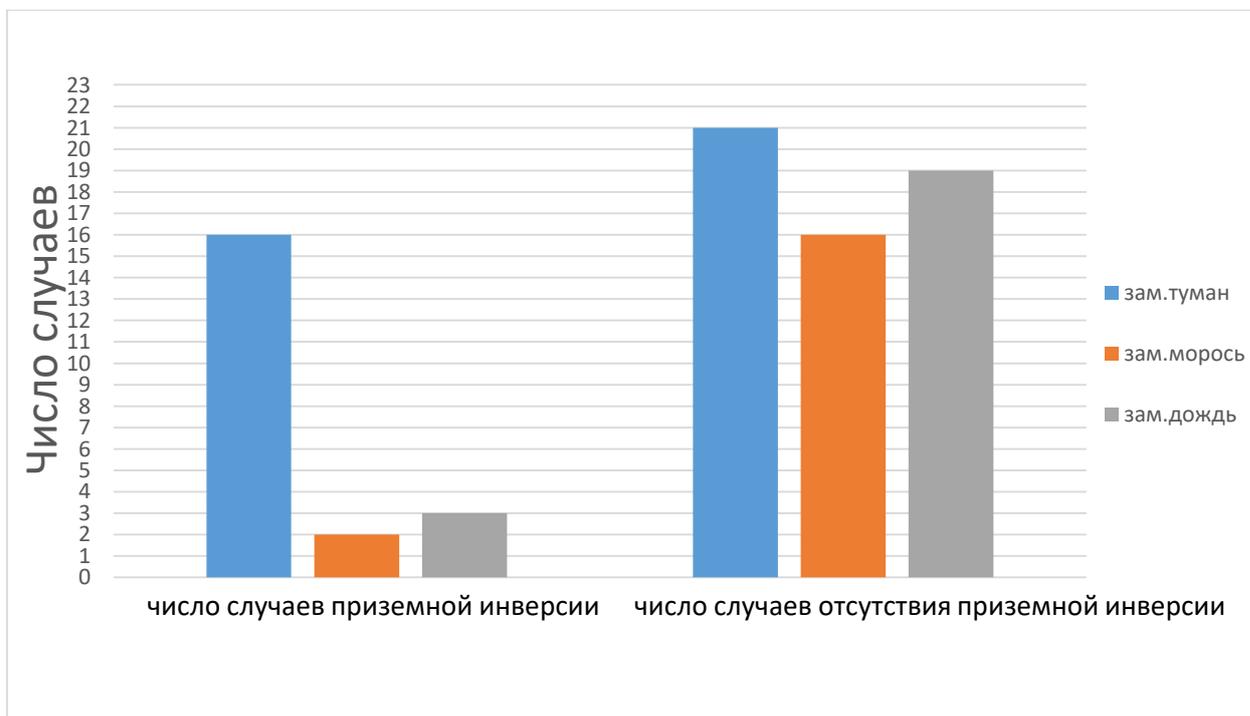


Рис.3.16 Число случаев наличия и отсутствия слоя приземной инверсии при замерзающих осадках за 2016-2021 гг.

Из представленного графика видно, что случаев, где встречается слой приземной инверсии больше при замерзающем тумане.

Подытоживая сказанное можно выявить, что при рассмотрении вертикального профиля температуры воздуха и температуры точки росы в даты с замерзающими осадками было выявлено, что при замерзающем тумане количество случаев наличия и отсутствия слоя приземной инверсией примерно одинаково, в то время как для замерзающего дождя и мороси преобладающими являются условия с отсутствием приземной инверсии. Толщина слоя приземной инверсии в среднем 200–300 м. Наличие приподнятой инверсии или изотермии для всех видов замерзающих осадков является преобладающим условием, при этом температура в этих слоях чаще остаётся отрицательной, за исключением замерзающего тумана, при котором в равной степени наблюдаются отрицательные и положительные температуры в приподнятых инверсиях, толщина слоя в среднем составляет 250–350 м.

3.4 Анализ условий обледенения в воздухе.

Переходя к анализу обледенения в воздухе, стоит отметить, что в его основу были положены данные бортовой погоды, предоставленные Северо-Западным филиалом ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» за период 01.01.2016 г. – 28.02.2022 г. С учетом того, что архив бортовой погоды за 2017 г. содержит данные только за два месяца, из дальнейшего анализа этот год был исключён, так же, как и текущий 2022 г. Результаты систематизации данных бортовой погоды представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты систематизации данных бортовой погоды.

месяц год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	всего
2016	7	14	12	13	3	13	6	9	7	10	24	19	137
2017	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	16	
2018	15	10	13	14	2	9	5	3	12	13	15	27	138
2019	20	17	22	5	10	5	10	8	9	18	13	23	160
2020	22	19	11	11	2	4	5	4	7	13	16	22	136
2021	24	15	16	14	10	3	2	8	14	12	22	19	159
2022	25	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
всего	88	75	74	57	27	34	28	32	49	66	90	110	730

На основе полученных данных, представленные в таблице, были построены графики числа случаев количества дней с обледенением в каждом месяце периода, за каждый год и рассчитана повторяемость в каждом месяце.

Они представлены ниже, на рисунках 3.17-3.19.

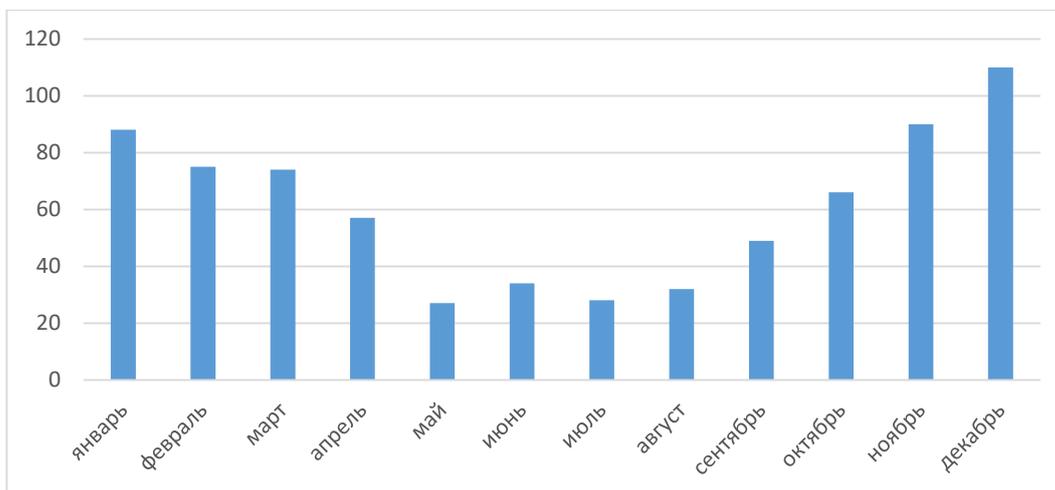


Рис.3.17 Число случаев количества дней с обледенением в каждом месяце периода.

Анализируя рисунок 3.16. можно сказать, что наибольшее количество дней с обледенением наблюдается в декабре, ноябре, январе. Это связано с тем, что в этот период обледенение присутствует в облачности.

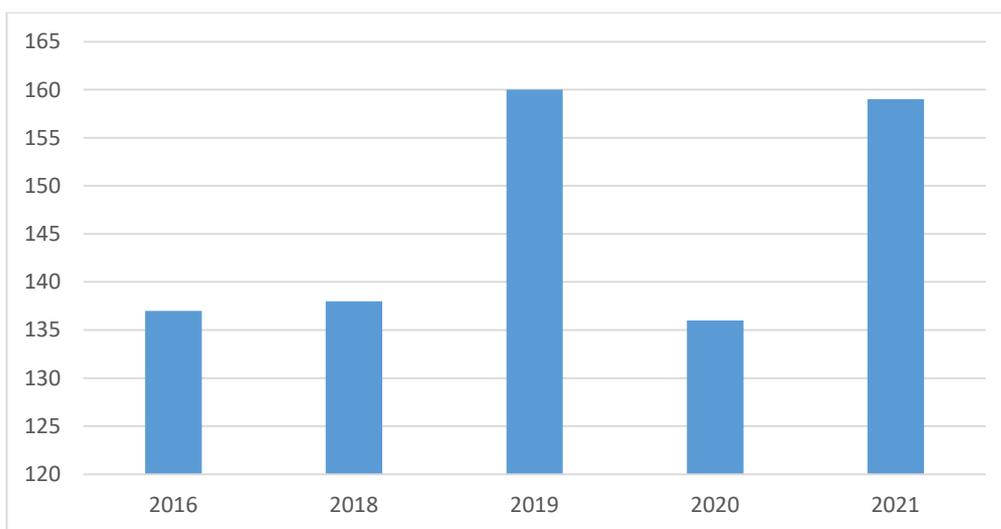


Рис.3.18 График числа случаев количества дней с обледенением в каждом году периода.

Анализируя рисунок 3.17. можно сказать, что наибольшее количество дней с обледенением наблюдалось в 2019 и в 2021 годах, по 160 и 159 дней соответственно.

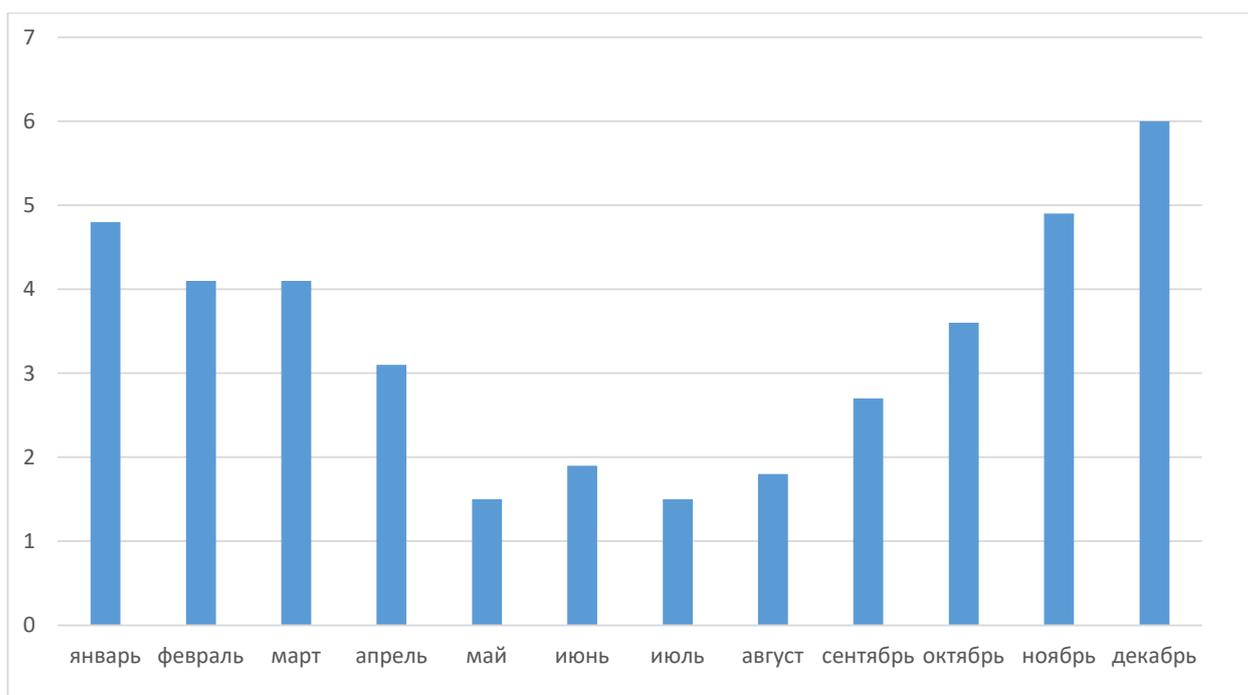


Рис.3.19 График числа повторяемости обледенения в каждом месяце за 2016-2021 гг.

Анализируя рисунок 3.18. можно сказать, что максимальное число повторяемости, с обледенением наблюдается в декабре (6%), ноябре (4,9%), январе (4,7%).

Из анализа данных бортовой погоды можно сделать вывод, что обледенение в районе аэродрома наблюдается в течение всего года, достигая максимальных значений повторяемости в холодный период. За весь исследуемый период количество дней с обледенением составило 40% от общего числа дней периода, 730 из 1826 дней.

Но стоит и отметить, что повторяемость, хоть и минимальная за весь период года, наблюдается и в летние месяцы, подтверждаемые данными бортовой погоды. Рассмотрим некоторые случаи.

Ниже приведены примеры синоптических условий летнего обледенения.

а). Ситуация за 9.07.2019 г.

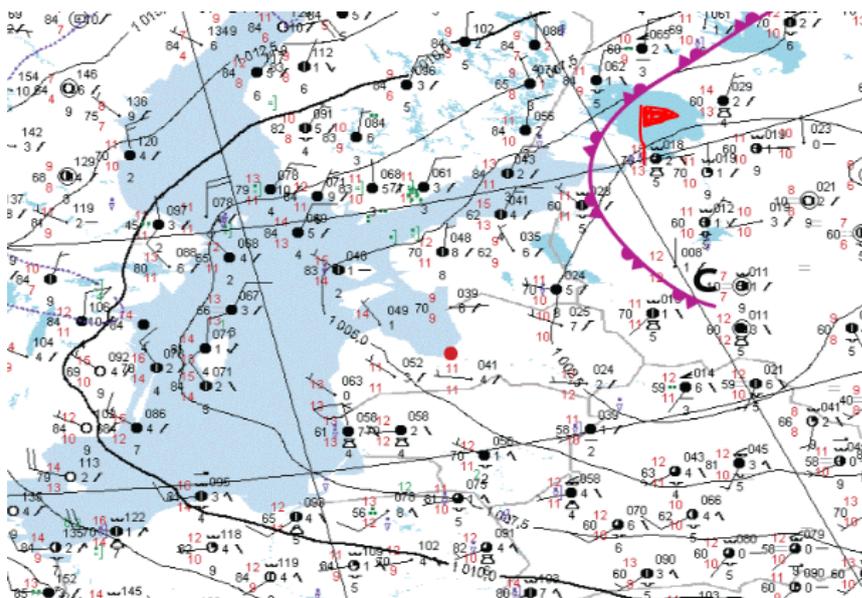


Рис. 3.20 Приземная карта за 9.07.2019 г.

На данном рисунке представлен пример малоподвижного циклона с холодным фронтом окклюзии, находящийся на территории Санкт-Петербурга и Европейской территории России. Циклон сформировался в многоцентровой депрессии 03.07.2019г. в 12 часов UTC над акваторией Норвежского моря. На АТ-500 над ним наблюдались ветры северо-западного направления со скоростью около 20 м/с, 6 июля произошла смена направления ветра у Балтийского моря на западный, юго-западный. При этом скорость ветра уменьшилось до 10-15 м/с. На АТ-850 с ним связана зона арктического фронта, контрасты температур около 6 градусов (от 0 град. до +5 град.). Давление в центре с 3 по 9 июля колебалась от 995 до 1000 гПа. Циклон смещался на юго-восток со скоростью 50 км/ч, далее у акватории Балтийского моря смещается на восток, северо-восток со скоростью 20 км/ч и к вечеру 8.07. на территорию Санкт-Петербурга фронтом окклюзии. В первой половине следующего дня, 09.07.2021г. циклон продолжал смещаться на восток, северо-восток (скорость около 15-20 км/ч). Циклон последний раз был виден на приземной карте в виде замкнутой изобары 12.07.2019г. на побережье Белого моря. Давление в центре к этому моменту составляло около 1007 гПа. На АТ-850 над ним температура около -2 град., на АТ-300 - высотный центр.

В явлениях погоды данный циклон отметился обложным дождём, который в течение суток отметился 25 мм. Приземная температура при этом наблюдалась от 12 до 15 градусов в течение суток.

По данным зондирования за этот день мы наблюдаем наличие обледенения в слое от 3500 до 4600 м, толщина 1100 м. Как видно, температура при которой оно присутствует, это от -5 до -15 градусов Цельсия. Облачность высококучевая.

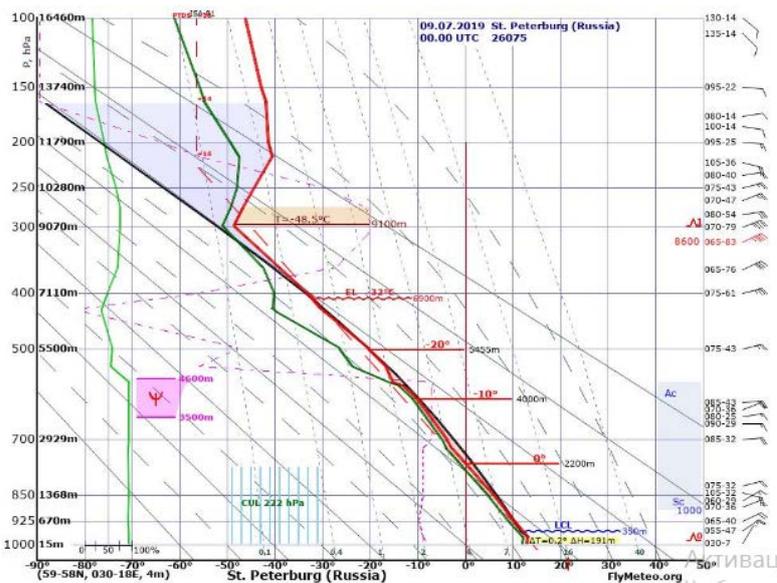


Рис. 3.21 Аэрологическая диаграмма за 9.07.2019 г. 00 UTC

б). Ситуация за 23.08.2021 г.

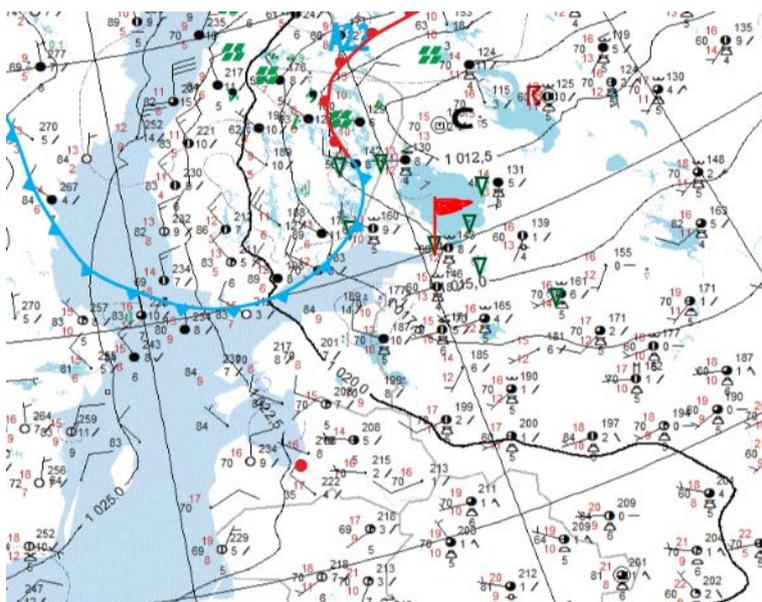


Рис. 3.22 Приземная карта за 23.08.2021 г.

На рисунке 3.22 представлен пример волнового циклона находящегося на территории Финляндии. Циклон сформировался в тыловой части многоцентровой депрессии 21.08.2021 г. в 06 часов UTC над акваторией Ботнического залива. На АТ-500 над ним наблюдались ветры западного направления со скоростью около 10 м/с, далее он смещался на юго-восток. При этом скорость ветра уменьшилась до 5-10 м/с. На АТ-850 с ним связана зона арктического фронта, контрасты температур около 6 градусов (от -2 град. до +4 град.). Давление в центре с 21 по 23 июля колебалась от 1009 до 1013 гПа. Циклон смещался на восток со скоростью 40 км/ч, к утру 23.08. на территорию Санкт-Петербурга холодным фронтом. Во второй половине следующего дня, циклон продолжал смещаться на восток, северо-восток (скорость около 20-25 км/ч). Циклон последний раз был виден на приземной карте в виде замкнутой изобары 25.08.2021 г. над территорией Республики Коми. Давление в центре к этому моменту составляло около 1014 гПа. На АТ-850 над ним температура около +1 град., на АТ-300 - высотный центр.

В явлениях погоды данный циклон отметился дождём, который в течение суток отметился 3 мм. Приземная температура при этом наблюдалась от 11 до 16 градусов в течение суток.

По данным зондирования за этот день мы наблюдаем наличие обледенения в слое от 3500 до 4200 м, толщина 700 м. Как видно, температура при которой оно присутствует, это от -8 до -16 градусов Цельсия. Облачность высокостроистая.

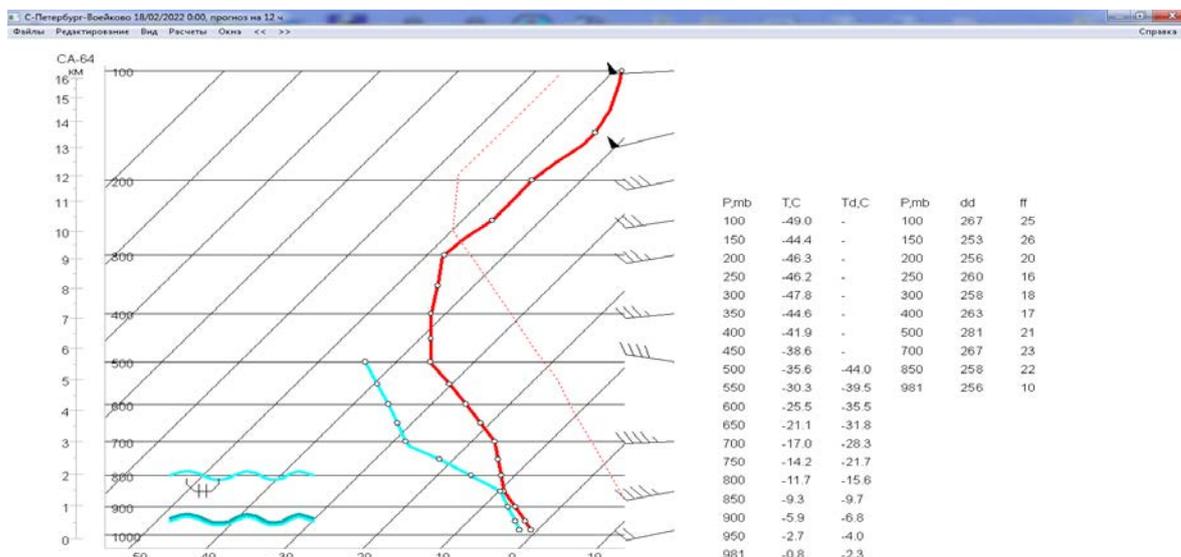


Рис.3.24 Прогностический зонд на 12 ч. от 00 ч. 18.02.2022 г.

По синоптической обстановке погода в Санкт-Петербурге тогда определялась циклоном, прохождением фронта окклюзии. Данные бортовой погоды зафиксировали, действительно, наличие обледенения, причём сильного (наличие символа SEV). Оно оказалось на высоте 1500-2100 м. Это подтверждается рис 3.25

18.02.2022	15:29:00	БПРС17 ЛГАЦ	WX ULLI 181529 CRJ100 SEV ICE OBS AT 1529Z N5930E03105 FL050/FL070=
→		UARS61 RUSP	ARS CRJ100 SEV ICE OBS AT 1529Z N5930E03105 FL050/070=
18.02.2022	14:24:00	БПРС17 ЛГАЦ	WX ULLI 181424 CJ100 SEV ICE OBS AT 1424Z N5929E03105 FL050/FL070=
→		UARS61 RUSP	ARS CJ100 SEV ICE OBS AT 1424Z N5929E03105 FL050/070=
18.02.2022	09:38:00	БПРС17 ЛГАЦ	WX ULLI 180938 A320 MOD ICE OBS AT 0938Z N5947E03054 FL040/FL060=
→		UARS61 RUSP	ARS A320 MOD ICE OBS AT 0938Z N5947E03054 FL040/060=

Рис.3.25 Данные бортовой погоды за 18.02.2022 г.

В качестве примера неоправдавшегося случая, подходит ситуация за 13 января 2022 г. прогностический зонд на 12 ч. выдал данные, по которым слой обледенения на высоте отсутствовал. На рис.3.26 это как раз и видно.

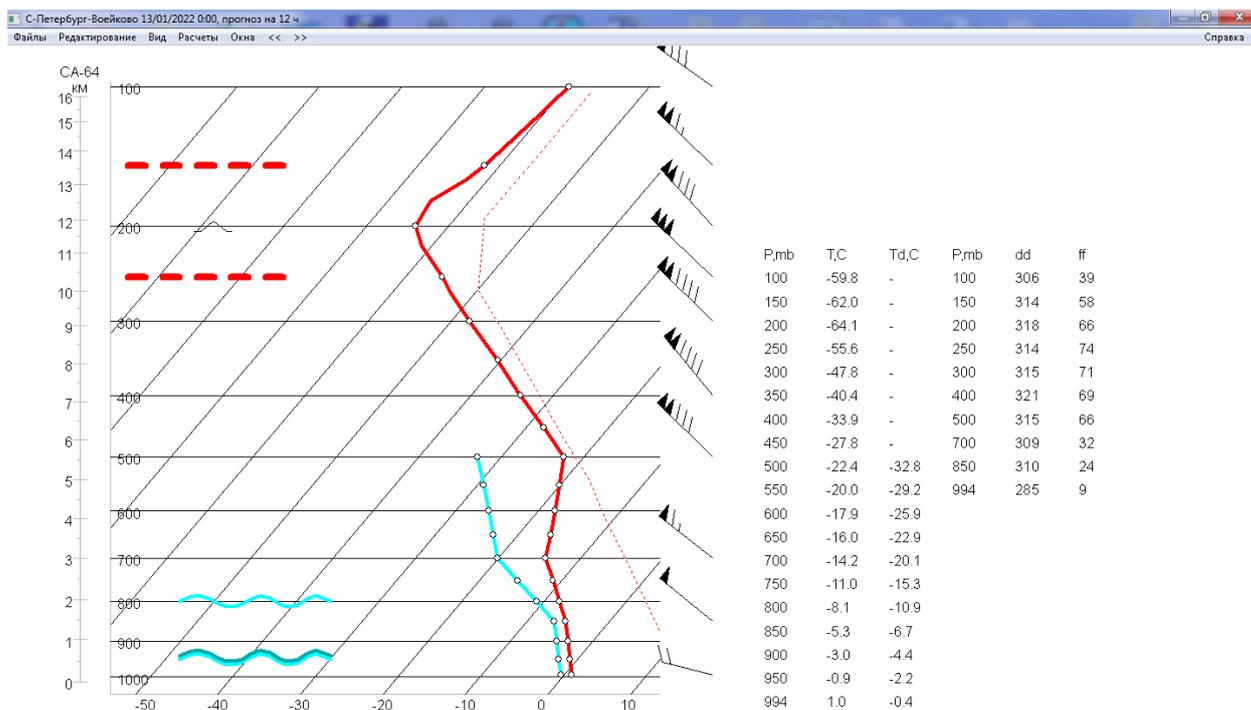


Рис.3.26 Прогностический зонд на 12 ч. от 00 ч. 13.01.2022 г.

По синоптической обстановке погода в Санкт-Петербурге тогда определялась передней частью циклона, прохождением тёплого фронта в ночные часы, затем влиянием узкого тёплого сектора в утренние часы и во второй половине дня прохождением холодным фронтом. Данные бортовой погоды зафиксировали наличие обледенения, причём сильного (наличия символа SEV). Оно оказалось на высоте 3000-4500 м. Это подтверждается рис 3.27

13.01.2022	19:18:00	БПРС17 ЛГАЦ	WX ULLI 131918 CRJ200 MOD ICE OBS AT 1918Z N5944E03039 FL020/FL050=
✈		UARS61 RUSP	ARS CRJ200 MOD ICE OBS AT 1918Z N5944E03039 FL020/050=
13.01.2022	16:18:00	БПРС17 ЛГАЦ	WX ULLI 131618 B738 MOD ICE OBS AT 1618Z N5929E03104 FL100/FL200=
✈		UARS61 RUSP	ARS B738 MOD ICE OBS AT 1618Z N5929E03104 FL100/200=
13.01.2022	15:13:00	БПРС17 ЛГАЦ	WX ULLI 131513 B737 MOD ICE OBS AT 1513Z N5941E03013 FL100/FL150=
✈		UARS61 RUSP	ARS B737 MOD ICE OBS AT 1513Z N5941E03013 FL100/150=
13.01.2022	10:45:00	БПРС17 ЛГАЦ	WX ULLI 131045 B738 MOD ICE OBS AT 1045Z N5921E03119 FL100/FL140=
✈		UARS61 RUSP	ARS B738 MOD ICE OBS AT 1045Z N5921E03119 FL100/140=

Рис.3.27 Данные бортовой погоды за 13.01.2022 г.

Обобщённые результаты представлены в таблицах 4,5,6.

Таблица 4. Оценка расчёта обледенения в задаче «прогностический зонд» по данным зондирования за 00 UTC.

	наличие обледенение	отсутствие обледенения	всего
обледенение прогнозировалось	1	1	2
обледенение не прогнозировалось	16	30	46
всего	17	31	48

В ходе последовательного сравнения полученных результатов с данными бортовой погоды, представленных в таблице, можно сделать вывод, что в 16 из 17 случаев возникала ошибка пропуска явления.

Таблица 5. Оценка соответствия прогнозируемого и наблюдаемого обледенения в задаче «прогностический зонд» прогноз на 12 часов.

	наличие обледенение	отсутствие обледенения	всего
обледенение прогнозировалось	9	0	9
обледенение не прогнозировалось	19	18	37
всего	28	18	46

Таблица 6. Оценка соответствия прогнозируемого и наблюдаемого обледенения в задаче «прогностический зонд» прогноз на 24 часа.

	наличие обледенение	отсутствие обледенения	всего
--	------------------------	---------------------------	-------

обледенение прогнозировалось	5	5	10
обледенение не прогнозировалось	20	16	36
всего	25	21	46

По данным таблиц можно сделать основной вывод: метод даёт большое количество «пропусков явления». По этой таблице также можно сказать, что здесь зафиксировано большинство случаев, когда обледенение не прогнозировалось, но по факту оно было. Таких случаев должно быть как можно меньше, чтоб выгода от прогнозов была больше. Поэтому была разработана схема комплексной оценки наличия обледенения, реализуемая в среде Excel 2016, о котором говорится в далее.

3.6 Комплексный метод прогноза обледенения.

Данная схема комплексной оценки наличия обледенения реализуема в среде Excel 2016. Были построены кривые дефицитов точки росы (голубым и оранжевым цветом, от температуры $+40^{\circ}\text{C}$), соответствующие статистическим данным по наличию и отсутствию облачности на соответственной изобарической поверхности [7], задана линия (синим цветом), отображающая прогноз обледенения по методу Годске [7], выведены вертикальные линии (чёрным цветом), от температуры, соответствующей нулевой температуре поверхности воздушного судна, с учётом кинетического нагрева в облаках при скорости 300 км/ч, 400 км/ч, 500 км/ч и 600 км/ч [7], красным цветом обозначена нулевая изотерма, а также схематично построена глиссада с обозначением удаления от ВПП (км) и скорости воздушного судна (км/ч) на разных этапах снижения. Для оценки условий по наличию или отсутствию обледенения в районе аэродрома вводятся данные аэрологического зондирования, автоматически выполняются построения. В качестве примера

приведём схему, представленную на рис. 3.28, построенную по данным аэрологического зондирования за 00 UTC 10.01.2022 г.

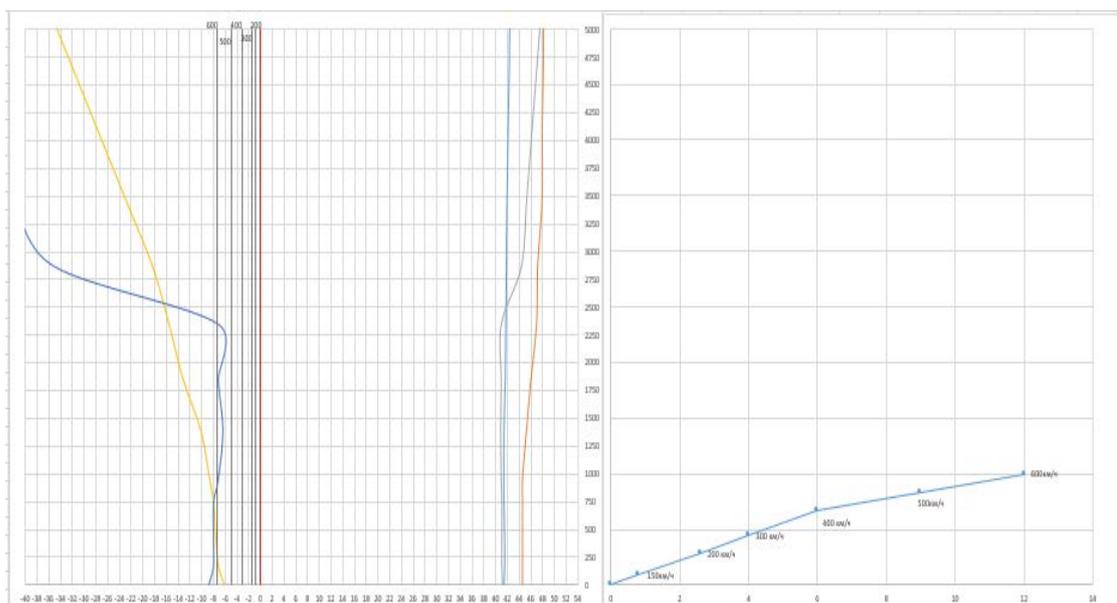


Рис.3.28 Схема прогноза обледенения в воздухе в районе аэродрома за 13.01.2022 г.

На рис.3.28 жёлтым цветом нанесена кривая температуры воздуха, серым – кривая дефицитов точки росы. Обледенение прогнозируется по методу Годске в слое 300-3000 м, на этих высотах дефицит точки росы соответствует наличию облачности. Обледенение прогнозируется в первом слое для скорости воздушного судна ниже 600 км/ч. По данным бортовой погоды 10.01.2022 г. в 04.00 UTC умеренное обледенение наблюдалось в слое 600–1500 м, что входит в диапазон значений. Расчёты производились 48 раз. Результаты сравнивались с данными бортовой погоды. За случаи успешных прогнозов по наличию обледенения считались те, которые были подтверждены бортовой погодой. Общие результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7. Оценка соответствия расчётного и наблюдаемого обледенения по “комплексному методу”.

	наличие обледенение	отсутствие обледенения	всего
обледенение	14	23	37

прогнозировалось			
обледенение	не		
прогнозировалось	3	8	11
всего	17	31	48

По данным таблицы 7 можно сделать вывод: метод даёт большинство количеств “ошибок-страховок”. Действительно, по времени, близкое к 00 UTC нет данных бортовой погоды по обледенению, но есть в некоторые дни позже доклад. Говоря об ошибках лишних прогнозов (ложных тревог) нужно пояснить, что, как и в оценке первого метода здесь присутствует неопределённость. Связана она с тем, что обледенение в это время могло быть, но воздушных судов в небе не было. Однако, преимущество второго метода перед первым очевидно из-за большего количества верного определения явления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении работы были выполнены следующие задачи:

1. Определены основные характеристики замерзающих осадков и соответствующие им синоптические ситуации.

Преобладающими условиями при замерзающих осадках являются: температура воздуха и температура точки росы от 0°C до -2 °C, юго-восточный ветер 0-5 м/с, продолжительность 1-3 часа, синоптические условия - передние части циклонов.

2. Выявлены особенности вертикального профиля атмосферы при возникновении наземного обледенения.

Наличие приподнятой инверсии или изотермии для всех видов замерзающих осадков является преобладающим условием.

3. Выполнен расчет обледенения в задаче «Прогностический зонд» ПО «ГИС Метео»;

Расчёты производились 140 раз по трём условиям заблаговременности: 00ч; 12ч.; 24ч. (за исключением 4 случаев отсутствия данных). Результаты сравнивались с данными бортовой погоды. За случаи успешных прогнозов по отсутствию обледенения считались те, которые не были подтверждены бортовой погодой. Вывод состоит в том, что метод даёт большое количество «пропусков явления».

4. Выполнен расчет обледенения по «комплексному методу»;
Метод даёт большинство количеств “ошибок-страховок”. Действительно, по времени, близкое к 00 UTC нет данных бортовой погоды по обледенению, но есть в некоторые дни позже доклад. Однако, преимущество второго метода перед первым очевидно из-за большего количество верного определения явления.

Полученные в ходе работы результаты могут быть использованы в качестве дополнительного предиктора при прогнозировании замерзающих осадков и тумана.

«Комплексный метод» достаточно прост и нагляден, может использоваться на любом аэродроме.

Список использованных источников

1. Сафронова Т.В. Авиационная метеорология: учебное пособие. Ульяновск: УВАУ ГА, -2005. - 215 с.
2. Богаткин О.Г. «Основы авиационной метеорология», О.Г. Богаткин – С.-П.: изд. РГГМУ, 2009. – 338 с.
3. Богаткин О.Г. «Авиационная метеорология для лётчиков», О.Г. Богаткин – С.-П.: изд. ПолиКром, 2014. – 251 с.
4. Интернет-портал «Flymeteo» [Электронный ресурс]. - URL: <https://flymeteo.org/>

5. Интернет-портал «OGIMET» [Электронный ресурс]. - URL: <https://ogimet.com/>
6. Интернет-портал «LVGMC Frontala analize» [Электронный ресурс]. - URL: <https://www4.meteo.lv/frontala-analize/>
7. Интернет-ресурс «Погода и климат» [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/dictionary/28/>
8. Интернет-ресурс <http://nauka21.ru/wp-content/uploads/2020/05/domnikov.pdf>
9. Интернет-ресурс <http://www.pogodaiklimat.ru>
10. Интернет-ресурс <https://flymeteo.org/stat/iceglaze.php>
11. Дашко Н. А. Курс лекций по синоптической метеорологии [Текст] /. - Владивосток: ДВГУ, 2005
12. Методическое пособие прогноза фазового состояния осадков. Условия выпадения мокрого снега и образования налипания мокрого снега на территории деятельности ФГБУ «Центрально-черноземное УГМС» в градации опасных явлений – Курск, 2012
13. Швер Ц.А. Климат Ленинграда. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1982. – 254 с.
14. Интернет-ресурс Экологический портал Санкт-Петербурга <http://www.infoeco.ru/index.php?id=1091>

Приложение А: исходные данные

10 ноября 2016	Явление	направление	скорость	видимость	ВНГО	Кол-во облачности	температура	точка росы	Синоптическая ситуация	Слой обледенения
	замерзающий туман	110	2	4000	60	1-2	-15	-17	прохождение фронта окклюзии в ложбине	0-4900 м
22:00		110	2	6000	60	1-2	-16	-17		
22:30		100	2	6000	60	1-2	-16	-17		
23:00		100	2	6000	-	нет существенной облачности	-16	-17		
23:30		110	2	3000	-	нет существенной облачности	-17	-19		
11 ноября 2016										
0:00	замерзающий туман	переменный	1	6000	-	нет существенной облачности	-17	-18	прохождение фронта окклюзии в ложбине	0-1300 м
0:30		штиль		6000	60	1-2	-18	-20		
1:00		штиль		8000	-	нет существенной облачности	-18	-20		
1:30		100	3	7000	-	нет существенной облачности	-19	-21		
2:00		110	1	8000	-	нет существенной облачности	-19	-21		
2:30		переменный	1	8000	60	3-4	-17	-19		
3:00		переменный	1	8000	60	5-7	-17	-18		
3:30		переменный	1	8000	60	8	-16	-17		
4:00		штиль		8000	60	8	-15	-17		
4:30		переменный		8000	60	8	-15	-16		

5:00		90	1	более 10000	60	8	-14	-16		
16 ноября 2016										
15:00	замерзающая морось	340	4	9000	270	3-4 и 5-7 (540 м)	-1	-2	передняя часть циклона, влияние фронта окклюзии	нет обледенения
27 ноября 2016										
14:30	замерзающий дождь	330	5	9000	210	3-4 и 5-7 (570 м)	-2	-2	тыловая часть циклона, конвективные заряды с Ладоги	300-3300 м
15:00		340	4	5000	270	3-4 и 5-7 (540 м)	-1	-2		
8 декабря 2016										
21:30	замерзающий туман	280	3	300	50	замерзающий туман	0	0	малоградиентное поле пониженного давления	2500-3700 м
22:00		270	3	350	50	замерзающий туман	0	-1		
22:30		270	3	600	50	замерзающий туман	-1	-1		
23:00		300	2	400	50	замерзающий туман	-1	-1		
23:30		280	3	900	50	замерзающий туман	0	-1		
9 декабря 2016										
0:00	замерзающий туман	290	1	300	50	замерзающий туман	0	-1	передняя часть фронта окклюзии	нет обледенения

0:30		260	3	300	50	замерзающий туман	0	-1		
15 декабря 2016										
17:00	замерзающая морось	200	3	3000	90	8	-3	-3	прохождение тёплого фронта	нет обледенения
17:30		190	2	4000	180	8	-2	-3		
18:00		переменный	1	4000	180	8	-2	-3		
18:30		210	2	4000	180	8	-2	-2		
16 декабря 2016										
21:30	замерзающая морось	300	4	2600	90	8	-2	-2	прохождение тёплого фронта	нет обледенения
22:00		320	3	3200	150	8	-2	-2		
22:30		310	2	5000	210	8	-1	-2		
17 декабря 2016										
0:00	замерзающая морось	300	4	более 10 км	240	8	-1	-2	прохождение тёплого фронта	нет обледенения
0:30		300	3	более 10 км	270	8	-1	-2		
1:00		310	3	более 10 км	240	8	-1	-2		
3:30		290	4	800	50	8	-1	-2		
4:30		280	4	более 10 км	180	8	-2	-2		
5:00		280	5	8000	210	8	-1	-2		
5:30		280	4	3900	150	8	-1	-2		
6:00		280	5	5000	120	8	-1	-2		

6:30		270	4	4800	90	8	-1	-2		
15 января 2017										
0:00	замерзающий туман	100	3	1500	540	5-7	-1	-1	прохождение тёплого фронта	100-3500 м
0:30		70	2	1900	180	3-4	-1	-1		
1:00		80	2	1700	180	5-7	-1	-1		
1:30		70	2	2000	210	5-7	-1	-1		
18 января 2017										
12:30	замерзающий дождь	250	5	более 10 км	270	8	0	-2	влияние точки окклюзии, далее прохождение тёлого фронта	200-2600 м
13:00		240	5	более 10 км	270	8	0	-1		
26 января 2017										
13:30	замерзающая морось	260	5	2800	150	8	0	-1	прохождение тёплого фронта	200-1430 и 2400-5400 м
28 января 2017										
4:00	замерзающий туман	260	4	700	60	туман	0	0	тёплый сектор циклона	200-530 м
5:30		250	3	600	50	туман	0	0		
13:00		230	3	1700	50	туман	-1	-1		
2 февраля 2017										
16:30	замерзающая морось	160	4	более 10 км	180	8	-2	-3	прохождение тёплого фронта	100-2200 и 3500-4400 м

17:00		180	3	более 10 км	180	8	-2	-3		
17:30		220	3	более 10 км	210	8	-2	-3		
10 февраля 2017										
20:00	замерзающая морось	300	2	8000	150	8	-5	-6	центральная часть антициклона	500-900 м
22:00		270	2	4000	90	8	-5	-5		
28 февраля 2017										
3:30	замерзающий дождь	140	3	более 10 км	270	5-7	-2	-3	прохождение тёплого фронта	0-400 м
4:00		150	3	более 10 км	240	5-7	-2	-3		
4:30		170	4	более 10 км	210	5-7	-2	-4		
5:00		130	5	более 10 км	180	5-7 и 8 (600 м)	-1	-3		
5:30		140	5	более 10 км	180	5-7 и 8 (600 м)	-1	-3		
6:00		130	5	более 10 км	210	5-7 и 8 (600 м)	-1	-2		
6:30		140	5	более 10 км	210	5-7 и 8 (600 м)	-1	-2		
7:00		140	5	более 10 км	210	5-7 и 8 (600 м)	0	-2		
7:30		150	5	более 10 км	210	5-7 и 8 (600 м)	0	-1		

7 марта 2017										
22:00	замерзающий дождь	120	6	8000	360	5-7	0	-2	прохождение тёплого фронта	нет обледенения
22:30		110	6	8000	270	3-4 и 5-7 (420 м)	0	-2		
23:00		110	6	более 10 км	270	8	0	-1		
23:30		110	6	8000	210	8	0	-1		
8 марта 2017										
0:00	замерзающий дождь	120	5	более 10 км	240	8	0	-1	прохождение холодного фронта	нет обледенения
0:30		120	4	более 10 км	240	8	0	-1		
1:00		120	5	более 10 км	240	8	1	-1		
1:30		130	5	более 10 км	210	8	1	0		
12 марта 2017										
15:00	замерзающий туман	280	2	100	30	туман	0	-1	прохождение фронтальной системы вблизи точки окклюзии	нет обледенения
15:30		320	2	150	30	туман	-1	-1		
16:00		280	2	150	30	туман	-1	-1		
16:30		переменный	1	100	30	туман	-1	-1		
17:00		280	2	150	30	туман	-1	-2		
17:30		переменный	1	150	30	туман	-2	-2		
18:00		переменный	1	400	30	туман	-2	-2		

18:30		переменный	1	600	80	туман	-2	-2		
20 марта 2017										
4:00	замерзающий туман	130	1	2300	210	1-2	-1	-2	барическая седловина	нет обледенения
4:30		переменный	1	3100	210	1-2	-1	-2		
5:00		120	2	4500	-	нет существенной облачности	-1	-2		
5:30		90	2	5000	-	нет существенной облачности	-1	-1		
6:00		110	2	6000	-	нет существенной облачности	-1	-1		
6:30		110	3	6000	-	нет существенной облачности	0	-1		
7:00		110	3	6000	-	нет существенной облачности	1	0		
6 апреля 2017										
22:30	замерзающий туман	270	3	700	50	замерзающий туман	0	0	юго-западная периферия циклона	нет обледенения
23:00		290	2	400	50	замерзающий туман	0	-1		
23:30		переменный	1	250	30	замерзающий туман	0	-1		
7 апреля 2017										
0:00	замерзающий туман	переменный	1	250	30	замерзающий туман	0	-1	юго-западная периферия циклона	972-4100 м
0:30		200	2	350	50	замерзающий	-1	-1		

						туман				
1:00		переменный	1	400	50	замерзающий туман	-1	-1		
1:30		переменный	1	250	30	замерзающий туман	-1	-1		
2:00		переменный	1	300	50	замерзающий туман	-1	-1		
2:30		150	1	400	50	замерзающий туман	-2	-2		
3:00		штиль		900	60	замерзающий туман	-2	-2		
2 ноября 2017										
21:00	замерзающий туман	90	4	300	30	5-7	-7	-7	влияние волнящего тёплого фронта	нет обледенения
21:30		100	4	400	60	5-7	-6	-7		
22:00		90	2	400	30	5-7	-7	-7		
22:30		100	2	450	50	5-7	-7	-7		
23:00		110	2	300	50	5-7	-7	-8		
23:30		110	2	400	180	5-7 и 8 (180 м)	-7	-8		
24 ноября 2017										
6:30	замерзающий дождь	160	5	более 10 км	510	5-7	0	-2	прохождение тёплого фронта	нет обледенения
8 декабря 2017										
10:30	замерзающий дождь	150	7	более 10 км	210	3-4 (210 м), 5-7 (540 м) 8 (990 м)	-1	-2	прохождение тёплого фронта	4600-5000 м
12 декабря										

2017										
12:00	замерзающий дождь	130	8 (порыв 14)	более 10 км	180	5-7, 8 (900 м)	-1	-2	прохождение тёплого фронта	400-900 и 2000-5200 м
12:30		130	7 (порыв 13)	более 10 км	180	5-7, 8 (900 м)	0	-1		
16 декабря 2017										
7:00	замерзающая морось	100	3	1200	140	5-7	0	0	проходени оноклюзии фронта	3200-3700 м
7:30		100	3	1500	80	5-7	0	0		
8:00		100	3	1800	110	5-7	0	0		
8:30		100	3	2600	110	5-7	0	0		
9:00		100	3	2600	110	5-7	0	0		
9:30		110	3	2800	110	5-7	0	0		
10:00		100	2	2800	110	5-7	0	0		
21 декабря 2017										
18:00	замерзающая морось	переменный	1	6000	120	8	-1	-2	прохождение оноклюзии фронта	3000-4600 м
18:30		переменный	1	8000	150	8	-1	-1		
20:30		230	3	6000	210	8	0	-1		
21:00		230	4	6000	150	8	0	-1		
10 января 2018										
22:00	замерзающая морось	300	6	1300	60	8	-1	-1	влияние тёплого сектора циклона	1600-1800 и 3100-3500 м
22:30		330	5	3200	60	8	-1	-2		
23:00		330	4	4300	80	8	-2	-2		
23:30		310	4	4200	100	8	-2	-2		

11 января 2018											
0:00	замерзающая морось	300	3	8000	120	5-7 и 8 (390 м)	-2	-2	влияние тёплого сектора циклона, далее прохождение холодного фронта	45-1400 м	
12 января 2018											
9:30	замерзающий туман	переменный	1	900	80	8	-5	-6	центральная часть антициклона	нет обледенения	
14 января 2018											
7:00	замерзающая морось	200	2	5000	180	8	-5	-6	центральная часть антициклона	500-1072 м	
21 февраля 2018											
4:30	замерзающий туман	290	2	300	50	замерзающий туман	-16	-17	центральная часть антициклона	нет обледенения	
5:00		260	2	200	50	замерзающий туман	-15	-17			
5:30		270	2	300	40	замерзающий туман	-15	-17			
6:00		280	2	400	30	замерзающий туман	-15	-17			
19:00		280	3	150	60	замерзающий туман	-13	-14			
19:30		280	3	750	70	замерзающий туман	-13	-14			
20:00		290	3	2500	50	замерзающий	-13	-15			

						туман				
22 февраля 2018										
5:00	замерзающий туман	270	3	500	50	туман	-17	-19	северо-восточная периферия антициклона	0-300 м
5:30		280	2	400	50	туман	-17	-19		
4 декабря 2018										
10:00	замерзающая морось	150	5	9000	210	8	0	-1	прохождение тёплого фронта	400-700 и 2200-4900 м
10:30		160	5	более 10 км	180	8	0	-1		
11:00		150	5	9000	180	8	0	-1		
11:30		160	5	более 10 км	150	8	0	-1		
25 декабря 2018										
1:00	замерзающий туман	260	2	2100	100	8	-3	-4	северо-восточная периферия антициклона	1200-1500 и 2800-3100 м
1:30		270	3	800	60	туман	-3	-4		
28 декабря 2018										
6:30	замерзающий туман	170	2	700	80	туман	-5	-5	влияние ложбины и прохождение фронта окклюзии	2850-4000 м
7:00		140	3	500	50	туман	-5	-5		
7 января 2019										
16:00	замерзающая	250	5	7000	150	8	-2	-2	влияние южной	1100-1600 м

	морось								периферии циклона и прохождение фронтальных систем вблизи точки окклюзии	
16:30		260	5	8000	150	8	-1	-2		
17:00		260	6	9000	180	8	-1	-2		
17:30		260	6	8000	180	8	-1	-2		
18:00		240	5	6000	240	5-7	-2	-2		
11 января 2019										
8:30	замерзающий дождь	220	9 (порыв 14)	9000	390	3-4 и 8 (1050 м)	-3	-5	влияние южной периферии циклона и прохождение фронтальных систем вблизи точки окклюзии	700-828 и 1500-3600 м
9:00		210	6 (порыв 12)	9000	360	3-4 и 8 (900 м)	-3	-5		
25 января 2019										
0:30	ледяной замерзающий туман	штиль		8000	50	5-7	-21	-23	центральная часть антициклона	0-700 м
1:00		переменный	1	9000	60	5-7	-20	-22		
28 января 2019										
1:00	замерзающий туман	110	1	4400	60	5-7	-18	-20	передняя часть циклона, влияние тёплого фронта	0-834 м
1:30		120	1	600	80	8	-17	-19		
2:00		110	2	8000	110	5-7	-17	-19		

2:30		переменный	1	9000	60	5-7	-17	-19		
31 января 2019										
4:30	замерзающий туман	штиль								
5:00		130	1	250	360	3-4, 5-7 (1380 м)	-4	-4	западная периферия антициклона, приближение (влияние) тёплого фронта южного циклона	нет обледенения
5:30		220	1	300	330	5-7	-4	-4		
6:00		210	1	350	60	3-4, 5-7 (1380 м)	-5	-6		
9:00		310	1	400	50	3-4	-5	-5		
10:00		310	2	600	240	1-2	-4	-4		
10:30		290	2	200	240	1-2	-4	-4		
16:00	временами зам.туман	штиль		2000	240	3-4	-8	-9		
16:30		190	2	8000	60	3-4	-9	-10		
17:00		переменный	1	7000	60	3-4	-11	-12		
17:30		250	1	4300	60	3-4	-11	-12		
18:00		240	1	6000	60	1-2	-13	-14		
18:30	временами	270	1	3600	60	1-2	-11	-12		
19:00	зам.туман	переменный	1	4100	60	1-2	-11	-12		
19:30	замерзающая	210	2	2200	60	1-2	-12	-13		
20:00	морось	270	2	2000	60	5-7	-10	-12		
20:30		переменный	1	1700	60	5-7	-10	-11		
21:00		переменный	1	550	30	5-7	-10	-11		
2 февраля 2019										

21:00		80	8	6000	150	5-7, 8 (990 м)	-3	-4	передняя часть циклона, приближающийся тёплый фронт	200-2000 м
21:30		90	7	4300	150	8	-3	-4		
22:00		90	8	3300	150	8	-3	-4		
22:30		90	7	4600	150	8	-3	-4		
23:00		90	8	4800	180	8	-3	-4		
23:30		90	8	6000	210	5-7	-3	-4		
3 февраля 2019										
13:30	замерзающий дождь	110	7	9000	210	5-7, 8 (990 м)	-1	-2	прохождение тёплого фронта	0-5800 м
14:00		110	7	9000	180	5-7, 8 (990 м)	-1	-2		
14:30		110	7	более 10 км	150	5-7, 8 (990 м)	-1	-2		
14 февраля 2019										
4:30	замерзающий дождь	240	2	9000	330	3-4, 5-7 (510 м)	0	-1	прохождение фронта окклюзии в южной периферии циклона	1500-3000 м
5:00		240	4	более 10 км	240	3-4, 8 (540 м)	0	-1		
16 февраля 2019										
2:30	временами зам.туман	270	4	9000	140	5-7	-1	-1	прохождение тёплого фронта	4500-5200 м
3:00	временами зам.туман	270	4	более 10 км	150	5-7	1	0		
4 марта										

2019										
0:30	временами зам.туман	110	4	4200	1380	5-7	-11	-12	прохождение фронта окклюзии, циклоническая депрессия	0-500 м
1:00		110	2	5000	-	нет существенной облачности	-12	-13		
1:30		110	2	7000	-	нет существенной облачности	-12	-13		
2:00		100	2	5000	-	нет существенной облачности	-12	-13		
2:30		100	3	7000	210	5-7	-12	-13		
3:00		100	3	9000	120	8	-10	-12		
21 апреля 2019										
0:30	временами зам.туман	переменный	1	5000	-	нет существенной облачности	0	-1	центральная часть антициклона, западная периферия антициклона	нет обледенения
1:00		переменный	1	3800	-	нет существенной облачности	-1	-1		
1:30		160	1	5000	-	нет существенной облачности	-2	-3		
2:00		штиль		5000	-	нет существенной облачности	-2	-3		
2:30		140	2	4600	-	нет существенной облачности	-2	-3		
3:00		90	1	6000	-	нет существенной облачности	-2	-3		
27 ноября 2019										

16:30	замерзающий дождь	140	4	2600	60	8	-1	-2	циклоническая депрессия, прохождение точки окклюзии	500-1230 и 3900-5100 м
17:00		130	4	2300	60	8	-1	-2		
17:30		130	3	3900	60	8	-1	-1		
18:00		140	3	7000	80	8	0	-1		
18:30		150	4	5000	60	8	0	-1		
19:00		150	4	3700	60	8	0	-1		
19:30		150	4	3100	80	8	0	-1		
20:00		160	4	4000	90	8	0	-1		
20:30		170	4	3800	80	8	0	-1		
4 декабря 2019										
4:00	замерзающий дождь	210	4	более 10 км	330	3-4, 8 (690 м)	0	-2	влияние и прохождение тёплого фронта	1300-1550 и 3400-4100 м
4:30		220	4	более 10 км	330	3-4, 8 (570 м)	0	-1		
5:00		230	6	более 10 км	240	3-4, 8 (570 м)	0	-1		
29 декабря 2019										
23:00	замерзающий дождь	200	4 (порыв 10)	более 10 км	300	1-2, 3-4 (600 м), 8 (870 м)	-2	-3	прохождение тёплого фронта	400-1320 и 2100-5800 м
23:30		210	4 (порыв 9)	более 10 км	300	1-2, 3-4 (540 м), 8 (870 м)	-1	-3		
10 января 2020										
17:00	замерзающий туман	290	3	450	50	замерзающий туман	-2	-3	передняя часть южного циклона	нет обледенения

17:30		250	2	550	50	замерзающий туман	-2	-3		
18:00		280	2	250	50	замерзающий туман	-3	-3		
18:30		280	2	250	50	замерзающий туман	-3	-3		
19:00		230	3	250	50	замерзающий туман	-3	-3		
19:30		260	2	250	50	замерзающий туман	-3	-3		
20:00		260	2	250	50	замерзающий туман	-2	-3		
20:30		260	3	250	50	замерзающий туман	-2	-3		
21:00		280	3	300	50	замерзающий туман	-2	-3		
21:30		300	3	600	50	замерзающий туман	-2	-3		
22:00		270	3	650	50	замерзающий туман	-2	-3		
22:30		280	3	350	50	замерзающий туман	-2	-3		
23:00		270	3	500	50	замерзающий туман	-2	-3		
23:30		270	3	600	50	замерзающий туман	-3	-3		
11 января 2020										
0:00	замерзающий	270	3	550	50	замерзающий	-3	-4	передняя часть южного	200-340 м

	туман					туман			циклона	
0:30		270	3	400	50	замерзающий туман	-3	-4		
1:00		270	3	500	50	замерзающий туман	-3	-4		
1:30		280	3	600	50	замерзающий туман	-3	-4		
29 января 2020										
17:30	замерзающий дождь	110	5	более 10 км	210	5-7	-1	-2	передняя часть циклона, влияние фронта окклюзии	185-800 м
18:00		110	5	более 10 км	180	5-8	-1	-2		
18:30		110	5	более 10 км	180	5-9	-1	-2		
30 января 2020										
2:30	замерзающая морось	100	5	2400	60	8	-1	-2	передняя часть циклона, влияние фронта окклюзии	100-800 и 3300-3900 м
3:00		90	5	2200	60	8	-1	-2		
3:30		90	5	2100	60	8	-1	-2		
4:00		90	5	2200	80	8	-1	-2		
4:30		100	5	2300	60	8	-1	-2		
5:00		90	5	1900	80	8	-1	-2		
8 февраля 2020										
21:00	временами	220	2	более 10	300	8	-1	-3	северная периферия	нет обледенения

	зам.морось			км					антициклона	
21:30		230	2	более 10 км	300	8	-1	-3		
22:00		230	3	более 10 км	330	8	-1	-3		
22:30		220	2	более 10 км	450	8	-1	-3		
23:00		переменный	1	6000	480	5-7	-1	-3		
2 марта 2020										
23:00	замерзающий туман	120	2	400	50	замерзающий туман	0	-1	передняя часть циклона	нет обледенения
23:30		130	2	600	50	замерзающий туман	0	-1		
3 марта 2020										
0:00	замерзающий туман	120	2	650	50	замерзающий туман	-1	-1	передняя часть циклона	нет обледенения
0:30		110	2	400	50	замерзающий туман	-1	-2		
1:00		120	2	400	50	замерзающий туман	-1	-1		
1:30		100	2	800	50	замерзающий туман	-1	-1		
2:00		100	2	300	50	замерзающий туман	-1	-1		
16 марта 2020										
4:00	замерзающий	220	8	более 10 км	330	1-2, 5-7 (690 м)	0	-2	прохождение тёплого	

	дождь			км					фронта, тёплый сектор циклона	нет обледенения
4:30		220	6 (порыв 11)	более 10 км	480	1-2, 8 (1200 м)	0	-2		
21 октября 2020										
2:30	замерзающий туман	130	1	650	50	замерзающий туман	-2	-3	седловина, влияние приближающегося тёплого фронта	нет обледенения
3:00		110	1	1000	50	замерзающий туман	-2	-2		
3:30		110	2	400	50	замерзающий туман	-1	-2		
4:00		110	2	600	50	8	-1	-2		
1 ноября 2020										
0:30	замерзающий туман	90	2	200	140	замерзающий туман	-1	-1	западная периферия антициклона, влияние размытого тёплого фронта	нет обледенения
1:00		100	3	150	90	замерзающий туман	-1	-1		
1:30		100	2	250	30	замерзающий туман	-1	-1		

2:00		100	2	500	50	замерзающий туман	-2	-2		
2:30		90	2	400	50	замерзающий туман	-2	-2		
3:00		90	2	250	30	замерзающий туман	-2	-2		
3:30		100	2	450	30	замерзающий туман	-2	-2		
4:00		110	3	900	30	замерзающий туман	-2	-2		
4:30		100	3	300	30	замерзающий туман	-2	-2		
5:00		переменный	1	350	50	замерзающий туман	-1	-1		
5:30		100	2	200	30	замерзающий туман	-1	-1		
6:00		100	2	300	30	замерзающий туман	-2	-2		
14:00		100	5	300	50	замерзающий туман	0	-1		
14:30		110	5	300	30	замерзающий туман	0	0		
15:00		110	4	350	50	замерзающий туман	-1	-1		
15:30		110	5	400	50	замерзающий туман	-1	-1		

16:00		100	5	500	50	замерзающий туман	-1	-1		
16:30		110	4	400	50	замерзающий туман	-1	-1		
17:00		100	5	550	50	замерзающий туман	-1	-1		
17:30		110	4	600	50	замерзающий туман	-1	-1		
18:00		120	4	900	50	замерзающий туман	-1	-1		
11 ноября 2020										
3:30	замерзающий туман	280	2	500	50	замерзающий туман	-1	-2	северная периферия антициклона	нет обледенения
4:00		280	2	700	50	замерзающий туман	-1	-2		
11 декабря 2020										
9:00	замерзающий дождь	130	3	более 10 км	480	3-4, 5-7 (1080 м)	-5	-8	передняя часть циклонической депрессии, прохождение фронта окклюзии	2900-4800 м
9:30	замерзающий дождь	130	3	более 10 км	480	3-4, 8 (1200 м)	-5	-7		

10:00	замерзающий дождь	130	3	более 10 км	330	3-4, 8 (1110 м)	-5	-7		
10:30	замерзающий дождь	130	3	более 10 км	300	1-2, 5-7 (510 м), 8 (1110 м)	-4	-7		
11:00	замерзающий дождь	140	3	более 10 км	330	1-2, 5-7 (480 м), 8 (990 м)	-4	-6		
11:30	замерзающий дождь	140	4	более 10 км	270	1-2, 5-7 (480 м), 8 (990 м)	-4	-6		
12:00	замерзающий дождь	120	3	более 10 км	270	8	-4	-6		
12:30	замерзающая морось	120	3	более 10 км	270	8	-4	-5		
13:00	замерзающая морось	120	4	7000	210	8	-4	-5		
13:30	замерзающий дождь	120	3	2800	210	5-7, 8 (1080 м)	-4	-5		
16 декабря 2020										
3:00	замерзающий дождь	150	3	9000	150	5-7, 8 (1200 м)	0	-1	передняя часть циклона, влияние тёплого фронта	0-900 и 3500-4700 м
3:30		170	4	6000	150	5-7, 8 (1200 м)	0	-1		
4:00		160	3	6000	240	5-7, 8 (1200 м)	0	-2		
4:30		160	3	более 10 км	240	5-7, 8 (990 м)	0	-2		

5:00		160	4	более 10 км	240	5-7, 8 (990 м)	0	-2		
5:30		150	3	более 10 км	240	5-7, 8 (990 м)	0	-2		
6:00		180	2	более 10 км	240	5-7, 8 (990 м)	0	-2		
6:30		180	5	более 10 км	240	5-7	0	-2		
7:00		180	5	более 10 км	240	5-7	0	-2		
18 декабря 2020										
6:00	замерзающий дождь	100	4	4200	150	5-7	-1	-2	передняя часть циклона, влияние тёплого фронта, переходящую во влияние фронта окклюзии	1900-4700 м
6:30	замерзающий дождь	110	3	2700	150	5-7	-1	-2		
7:00	замерзающий дождь	110	6	3600	210	5-7	-1	-2		
7:30	замерзающий дождь	110	6	5000	210	3-4, 5-7 (630 м)	-1	-2		
8:00	замерзающий дождь	110	6	9000	150	3-4, 5-7 (660 м)	-1	-2		

	ДОЖДЬ									
11:30	временами зам.дождь	110	6	1400	150	3-4, 8 (630 м)	-1	-2		
12:00	временами зам.дождь	110	4	1800	150	5-7	-1	-2		
12:30	временами зам.дождь	110	4	4400	150	5-7	-1	-2		
13:00	временами зам.дождь	110	5	6000	90	5-7	-1	-2		
13:30	временами зам.дождь	110	5	более 10 км	90	5-7	-1	-2		
14:00	временами зам.дождь	100	6	более 10 км	90	5-7	-1	-2		
14:30	временами зам.дождь	110	7	более 10 км	90	5-7	-1	-2		
15:00	временами зам.дождь	110	7	более 10 км	90	5-7	-1	-2		
15:30	временами зам.дождь	110	5	9000	90	5-7	-1	-2		
16:00	временами зам.дождь	110	5	6000	90	5-7	-1	-2		
16:30	временами зам.дождь	110	5	6000	90	5-7	-1	-1		
17:00	временами зам.дождь	110	4	6000	90	5-7	-1	-1		
29										

декабря 2020										
4:00	замерзающий дождь	130	6	более 10 км	630	5-7, 8 (1080 м)	-2	-6	передняя часть циклонической депрессии, прохождение фронта окклюзии	2500-4500 м
4:30		120	6	более 10 км	720	5-7, 8 (1200 м)	-2	-6		
5:00		120	6	более 10 км	720	5-7, 8 (1200 м)	-2	-6		
5:30		120	8	более 10 км	720	3-4, 8 (1200 м)	-2	-6		
6:00		130	9	более 10 км	600	3-4, 5-7 (900 м)	-2	-5		
6:30		130	9	более 10 км	480	3-4, 5-7 (990 м)	-2	-5		
7:00		120	7 (порыв 12)	более 10 км	390	5-7	-2	-5		
7:30		120	8	более 10 км	360	8	-2	-5		
9:00		120	6	более 10 км	270	5-7	-3	-5		
9:30		120	6	более 10 км	300	5-7	-3	-5		

10:00		110	7	более 10 км	300	5-7	-3	-5		
10:30		110	7	более 10 км	300	5-7	-3	-5		
11:00		100	8	более 10 км	300	5-7	-3	-5		
11:30		110	7	более 10 км	270	8	-3	-5		
12:00		110	8	более 10 км	300	8	-3	-5		
12:30		110	9	более 10 км	270	5-7	-3	-5		
13:00		120	9	более 10 км	270	5-7	-3	-5		
13:30		120	9	более 10 км	270	8	-3	-5		
14:00		120	9	более 10 км	270	8	-3	-5		
14:30		120	10	более 10 км	270	5-7	-3	-5		
15:00		120	8	более 10 км	270	5-7	-3	-4		
15:30		120	8	более 10 км	270	8	-3	-4		
16:00		120	6	более 10 км	240	5-7	-2	-4		

16:30		120	6	более 10 км	240	5-7	-2	-4		
17:00		120	8	более 10 км	240	5-7	-2	-4		
17:30		120	9	более 10 км	240	5-7, 8 (900 м)	-2	-4		
18:00		120	10	более 10 км	240	5-7, 8 (900 м)	-2	-4		
18:30		120	10	более 10 км	240	5-7, 8 (900 м)	-2	-4		
19:00		120	10	более 10 км	240	5-7, 8 (900 м)	-2	-4		
19:30		120	8	8000	240	5-7, 8 (900 м)	-2	-4		
18 января 2021										
5:30	замерзающий туман	280	2	550	60	8	-7	-8	северная периферия антициклона, влияние тёплого фронта	нет обледенения
6:00		280	2	350	60	8	-6	-7		
6:30		280	2	300	60	8	-6	-7		
7:00		280	2	550	60	8	-6	-7		
22 января 2021										
11:30	замерзающий туман	110	5	2400	100	8	-3	-4	тёплый сектор циклона, далее прохождение	2200-3100 и 3800-4300 м

									волнящего фронта (тёплый фронт) следующего циклона	
12:00		130	4	2100	70	8	-2	-3		
12:30		110	4	1300	60	8	-2	-3		
13:00		120	5	900	50	8	-2	-3		
13:30		110	5	700	50	8	-1	-2		
14:00		120	5	650	50	8	-1	-2		
14:30		120	4	700	50	8	-1	-2		
15:00		130	4	1000	60	8	-1	-2		
15:30		130	5	2200	130	5-7, 8 (900 м)	-1	-1		
16:00		140	5	5000	150	5-7, 8 (900 м)	0	-1		
8 февраля 2021										
22:30	замерзающий туман	290	3	7000	210	3-4	-19	-21	западная периферия антициклона	нет обледенения
23:00		270	3	200	50	замерзающий туман	-19	-22		
23:30		270	2	250	50	замерзающий туман	-18	-20		
9 февраля 2021										
0:00	замерзающий туман	250	2	400	60	замерзающий туман	-16	-18	западная периферия антициклона	0-400 м
0:30		230	2	3800	50	замерзающий	-17	-19		

						туман				
1:00		230	2	6000	60	замерзающий туман	-17	-19		
1:30		210	1	1000	60	замерзающий туман	-17	-19		
2:00		штиль		1600	50	замерзающий туман	-16	-18		
2:30		переменный	1	1000	60	замерзающий туман	-15	-17		
3:00		штиль		1200	60	замерзающий туман	-15	-17		
21 февраля 2021										
5:30	замерзающая морось	160	2	2500	210	5-7	-3	-4	передняя часть циклона, прохождение фронта окклюзии	300-4500 м
24 февраля 2021										
14:00	замерзающий дождь	200	2	5000	80	3-4	-4	-5	передняя часть циклона, прохождение тёплого фронта	45-770 и 3360-3600 м
14:30		180	2	5000	90	5-7, 8 (780 м)	-4	-5		
15:00		210	2	6000	80	5-7	-3	-4		

15:30		170	2	6000	90	5-7, 8 (1380 м)	-3	-4		
16:00		150	4	2300	70	5-7, 8 (1380 м)	-3	-4		
16:30		130	4	900	50	5-7	-3	-4		
17:00		150	3	3500	60	5-7	-3	-4		
17:30		150	3	5000	80	5-7	-2	-3		
18:00		160	3	4700	110	5-7	-1	-2		
18:30		180	3	более 10 км	140	5-7	-1	-1		
6 марта 2021										
21:00	замерзающий дождь	250	7	3100	240	5-7, 8 (1080 м)	0	-1	передняя часть циклона, прохождение тёплого фронта, фронта	100-2600 м
21:30		250	6	более 10 км	180	5-7, 8 (1080 м)	0	-1	далее узкий тёплый сектор и прохождение холодного фронта	
22:00		240	8	более 10 км	270	1-2, 3-4 (540 м), 5-7 (1380 м)	0	-1		
26 марта 2021										
22:00	временами замерз. туман	140	1	4100	720	3-4	0	-1	гребень антициклона	нет обледенения
22:30		90	1	2300	990	3-4	-1	-2		
23:00		штиль		4100	990	3-4	-2	-3		
23:30		штиль		2900	1320	3-4	-2	-3		

27 марта 2021										
0:00	временами замерз.туман	110	1	6000	1320	5-7	-2	-2	гребень антициклона	нет обледенения
0:30		130	1	5000	780	5-7	-1	-2		
1:00		100	2	5000	780	5-7	-1	-2		
1:30		100	1	4500	1320	3-4	-1	-2		
3 апреля 2021										
2:30	замерзающий туман	280	3	800	60	8	0	-1	тыловая часть циклона	нет обледенения
8 апреля 2021										
2:30	замерзающий туман	270	3	9000	50	1-2	-4	-5	тыловая часть циклона	нет обледенения
3:00		280	4	200	50	замерзающий туман	-2	-3		
3:30		280	4	300	60	замерзающий туман	-2	-2		
4:00		280	4	300	60	замерзающий туман	-2	-2		
4:30		290	4	450	70	замерзающий туман	-1	-2		
5:00		290	4	500	50	замерзающий туман	-1	-2		
5:30		310	5	650	50	замерзающий	-1	-1		

						туман				
6:00		300	4	1100	50	8	0	-1		