



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 «Исследование условий образования туманов на аэродроме Пулково»

Исполнитель Александрова Карина Витальевна ПМ-Б20-2-3
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)
Волобуева Ольга Васильевна
(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 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ	3
ВВЕДЕНИЕ	4
1 ГЛАВА. КЛАССИФИКАЦИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТУМАНОВ	6
1.1 Классификация туманов	6
1.2 Условия образования туманов	10
1.3 Синоптические условия происхождения туманов	11
1.4 Опасность туманов для авиации	12
2 ГЛАВА. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ТУМАНОВ НА АЭРОДРОМЕ ПУЛКОВО	14
2.1 Прогноз радиационных туманов по методу А.С.Зверева	14
2.2 Прогноз радиационных туманов по методу Б.В. Кирюхина	18
2.3 Прогноз туманов по методу Н. В. Петренко	20
2.4 Прогноз радиационных туманов по методу Д.Н. Лаврищева	21
2.5 Основные методы прогноза адвективных туманов	23
2.6 Прогноз туманов испарения и фронтальных туманов	25
3 ГЛАВА. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТУМАНОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА ПУЛКОВО	27
3.1 Физико-географическое и климатологическое описание аэродрома Пулково	27
3.2 Распределение повторяемости туманов годового и суточного хода	30
3.3 Горизонтальная видимость туманов, встречающихся на аэродроме Пулково	34
3.4 Типы туманов, встречающиеся на аэродроме Пулково	35
3.5 Повторяемость синоптических ситуаций, при образовании туманов на аэродроме Пулково	37
3.6 Апробация методов прогноза туманов на аэродроме Пулково	39
3.7 Обзор случаев возникновения туманов на аэродроме Пулково	40
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	48
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	50

СОКРАЩЕНИЯ

- ВС – воздушное судно;
ВПП – взлетно-посадочная полоса;
АВ-6 – журнал фактической погоды;
АМЦ – авиационный метеорологический центр.

ВВЕДЕНИЕ

В синоптической и авиационной метеорологии туман принято считать неблагоприятным явлением погоды, приводящее к значительному ухудшению видимости, в следствие чего учащаются случаи дорожно-транспортных происшествий, приостановление работы аэропортов и других транспортных средств.

Туман принято рассматривать как опасное погодное явление в том случае, если его обнаружение происходит с дальностью видимости 500 метров или менее, а также при условии продолжительного сохранения тумана более 3 часов. Однако, при снижении видимости тумана до 100 метров и сохранение данного явления в течение 12 часов или более, позволяет классифицировать данное метеорологическое явление как стихийное.

Термин туман применяется для обозначения помутнение воздуха в приземном слое, происходящее при наличии в нем частиц воды и кристаллов льда, при условии того, что горизонтальная видимость составляет менее 1 км в любом направлении. Данное природное явление несет в себе опасность из-за значительного ухудшения видимости. Например, при посадке воздушно-авиационного судна, возможно нарушение визуального контакта с ориентирами взлетно-посадочной полосы или посадочной площадки при изменении туманом видимости в нем, что может усложнить, а иногда и приостановить работу.

При возникновении тумана показатели относительной влажности воздуха могут достигать значений в 85-90%, но возможны случаи, когда влажность достигает максимального 100 % значения. Отмечают случаи, когда туманы образуются при относительной влажности воздуха (менее 50%), но с учетом климатического и географического положения наблюдаемых населенных пунктов, аэродромов и научно-исследовательских станций.

Таким образом, верный учет климатических условий является ведущим аспектом в процессах контроля и повышения регулярности и безопасности

работы воздушного транспорта. Поэтому наиболее актуально исследование условий образований туманов и прогнозирование данного природного явления.

Объект исследования: Туманы, образующиеся в районе аэропорта Пулково г. Санкт-Петербург

Цель работы - анализ условий возникновения туманов на территории аэродрома Пулково.

Для достижения поставленной цели, решены следующие *задачи*:

1. Исследовать типы и условия образования туманов на аэродроме Пулково;
2. Проанализировать синоптические ситуации, связанные с возникновением туманов на аэродроме Пулково;
3. Апробация методов прогноза туманов.

Для анализа условий образования туманов на территории аэродрома Пулково были использованы данные из журнала АВ-6 - архива наблюдений за фактическим состоянием погоды на аэродроме Пулково за период с 2021 по 2022 гг., а также синоптические карты с сайта Гидрометцентра России. Для решения поставленных задач был проанализирован ряд литературных источников, с учетом подробного изучения условий возникновения туманов.

1 ГЛАВА. КЛАССИФИКАЦИЯ И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТУМАНОВ

1.1 Классификация туманов

Туман – это атмосферное явление, определяющее скопление конденсации и трансформации водных частиц в приземном слое воздуха, при его охлаждении ниже температуры точки росы при видимости менее 1 км.

Как правило, туманы можно классифицировать по вертикальной и горизонтальной протяженности, опираясь на следующие характеристики, представленные в таблице 1.1.1 [7].

Таблица 1.1.1 – Классификация туманов по вертикальной протяженности

Вид тумана	Протяженность (в метрах)
Поземный	До 2
Низкий	От 2 до 10
Средний	От 10 до 100
Высокий	Выше 100

Характеристики для туманов, которые развиты по горизонтальной видимости следующие [7]:

Таблица 1.1.2 – Классификация туманов по горизонтальной протяженности

Вид тумана	Видимость (в метрах)
Слабый	500-1000
Умеренный	200-500
Сильный	50-100
Очень сильный	Менее 50

По агрегатному состоянию воды туманы чаще классифицируются как капельные и ледяные [7].

Типы туманов классифицируют в первую очередь от синоптических условий образования [1].

Во-первых, это тип – внутримассовых туманов или туманов охлаждения, возникающих изнутри однородных воздушных масс, а их наименьшая часть определяется как туманы склонов и испарения. Второй тип – это фронтальные туманы, образуемые в непосредственной близости фронтов и способных перемещаться с учетом траектории движения фронта (перед линией фронта – предфронтальные, на линии фронта – фронтальные, и непосредственно за линией фронта – зафронтальные [8]. Физические процессы, приводящие к образованию туманов в природе разнообразны и сложны, поэтому с учетом основных физических процессов типы туманов классифицируют следующим образом:

Туманы охлаждения подразделяются на:

- Радиационные

Радиационные туманы способны образовываться из-за охлаждения поверхностных слоев при воздействии процессов излучения и турбулентного перемешивания прилегающих к земле слоев воздушных масс. В данном случае слои воздушных масс охлаждаются вслед за земной поверхностью, а возникающая инверсия среди температур в совокупности с определенной влажностью воздуха, создает приземный туман. Данный вид туманов возникает при высокой относительной влажности, слабых ветрах и в период отсутствия облачности, образуясь главным образом небольшими очагами, территориально в местах с оврагами, низинами и в долинах рек, исключая возможность возникновения на возвышенных локациях только в случае отсутствия достаточной вертикальной мощности. Радиационные туманы обладают большей плотностью у поверхностных слоев земли, что ухудшает видимость при их присутствии вплоть до нескольких десятков метров. Рассеивание данных видов туманов возможно в утренний период дня благодаря прогреванию солнечными

лучами поверхностных слоев земли и прилегающих слоев воздуха, нарушая процесс инверсии температур и усиливая турбулентность, запуская смешивание нижних слоев воздуха с другими, более сухими и теплыми.

- Адвективные

Адвективные туманы формируются в условиях движения теплых воздушных масс над холодной деятельной поверхностью. Такие туманы способны распространяться на большие территории и достигать в высоту несколько сотен метров. Условия образования адвективных туманов возможно при наличии:

а) умеренной скорости ветров;

б) устойчивой стратификация в исходный момент при высокой относительной влажности;

в) большой разницей среди температур воздушных масс и земными поверхностями;

Отмечается, что при высокой/большой скорости ветров следует турбулентный обмен, препятствующий процессам образования туманов, но при слабом ветре происходит медленное смешение воздушных масс, влекущее медленное охлаждение прилегающей поверхности [5].

- Адвективно-радиационные

Адвективно-радиационные туманы появляются в холодные сезоны при ночном охлаждении воздушных масс в периоды ясной погоды. При образовании таких типов туманов играют роль адвективные и радиационные факторы. К данному типу относятся также туманы, которые формируются в первую очередь в виде слоистой облачности на некоторой высоте от поверхности земли, а затем снижаются. Появляются они чаще всего в ранние утренние часы после ясной ночной погоды, являясь очень плотными и устойчивыми на длительный временной промежуток.

- Орографические

Орографические или туманы склонов образуются по причине возникающего адиабатического охлаждения воздушных масс при их подъеме по склонам гор, особенно благоприятны такие условия при выпадении обильных дождевых осадков на влажную и теплую почву на территории близ склонов.

С поверхностей теплых почв процесс активного испарения приводит к перенасыщению холодных воздушных масс, в затем к образованию устойчивого и плотного тумана. Помимо представленных процессов, в том случае, если образуются порывистые восходящие движения воздушных масс, это становится причиной появления кучевых облаков.

В случае туманов испарения, которые обычно образуются в осенний период над водоемами, а в холодный период такой вид туманов может появляться над полыньями среди льдов или незамерзающими заливами морей. Процесс образования подобного типа туманов схож с образованием «пара» над горячей поверхностью, поскольку туманы испарений могут образовываться в случае, если температура воздуха ниже температуры воды до -10°C [5]. Туманы испарения подразделяются на три вида:

- туманы испарения (парения) водоемов,
- туманы смешения,
- туманы водной пыли.

Существует тип туманов, возникающие при активной деятельности человека, подразделяясь на городские и морозные туманы (печные), а также искусственно созданные туманы для борьбы с заморозками.

- Морозные или ледяные туманы

Подобный вид туманов образуется в основном в зимний период при низких температурах в совокупности с приземной инверсией, в случае если температура в этом слое повышается с высотой. Такие туманы образуются в часы раннего утра, когда воздух переполнен большим количеством ядер конденсации совместно с дымом печей [6].

- Городские туманы

Туманы, связанные с деятельностью человека, имеют темную окраску из-за наличия в них частиц примесей, дыма и сажи, в следствии промышленных выбросов при производстве. Образование тумана подобного типа возможно при достижении относительной влажности показателей равных 75%.

1.2 Условия образования туманов

Туман, как явление имеет способность образовываться до нескольких сотен метров в высоту, при этом, снижая горизонтальную дальность видимости до значений менее 1км [2].

Процесс образования туманов осуществляется при низкой адвективной или ротационной инверсии, в случае если турбулентное перемешивание не достигает больших высот. Следовательно, туман способен образовываться при устойчивых воздушных массах, а в неустойчивых – разрушаться [1].

Отмечается несколько причин при которых происходит насыщение воздушных масс и накоплении водяного пара:

- испарения с поверхности воды, осадков и почв в холодный воздух;
- при процессе слияния близких к насыщению воздушных масс;
- при снижении температур в нижних слоях воздуха в процессе теплообмена с поверхностью земли;

Все представленные процессы возможны при отдельном или совместном взаимодействии. Самой главной причиной тумана является - снижение температуры приземного воздуха, когда происходит соприкосновение с охлажденной поверхностью с учетом фактора смещения. Туман возникает также, в случае, когда у наземной поверхности приобретаются благоприятные условия, поскольку они близко связаны с процессами влажности воздушных масс и изменении температур. Чаще всего туманы образуются в ночное время, слабых ветрах и малооблачной погоде, если насыщенное выхолаживание приземного слоя воздушных масс и температур возрастает с учетом высоты в конкретном

слое. Однако, туман может присутствовать или отсутствовать в отдельных районах при одинаковых метеорологических и синоптических состояниях.

1.3 Синоптические условия происхождения туманов

Процессы образования туманов возможны не только при учете физико-географической специфики исследуемого региона, но и в случае, если существуют похожие синоптические положения.

На формирование тумана значительное влияние оказывает, в первую очередь, состояние поверхности почвы, поскольку оно определяет не только изменения влагосодержания, но и температуры приземного слоя воздуха. В случае формирования адвективных туманов, важно охлаждение почвы, которое редко достигается над оголенной влажной почвой, поскольку чаще всего данный вариант охлаждения возможен над льдами и снегами, характеризующимися высокими значениями эффективного излучения и альбедо. Например, возможно наблюдение адвективных туманов вблизи морских берегов в западных частях антициклона и восточных в теплых секторах циклонов, пока барический градиент достигает величины для адвекции влажного теплого воздуха при ветрах южной четверти. Также адвективно-радиационные туманы создаются чаще всего в северной и западных частях антициклонов при умеренной адвекции влажного воздуха с юга и запада.

Иначе образуются фронтальные туманы, образующиеся чаще всего в северной и восточной части циклона, а также на западной периферии антициклона перед начинающимися теплыми фронтами. А радиационные туманы возникают при радиационном выхолаживании земной поверхности и конкретного слоя воздуха, который прилегает к земле во время наступления антициклонной погоды. Подобные туманы обычно образуются в центрах седловины, антициклонов и на оси барического гребня. Наблюдать их можно на территории с обнаженной почвой при положительной температуре. Это связано в первую очередь с испарением влаги с поверхности почв в дневные часы при

обогащении воздушных масс водяными парами и насыщающими их к ночному времени.

1.4 Опасность туманов для авиации

Для авиации серьезным препятствием считается облачность и ограниченная видимость, влекущие за собой нарушения в регулярности проведения полетов. А наличие тумана приводит к сокращению вертикальной и горизонтальной дальности видимости. Так, невозможным взлёт и посадку ВС делает видимость в тумане, достигающая минимальных значений, установленные на территории аэродрома [2].

Присутствие ледяного тумана приводит в первую очередь к ухудшению видимости, влекущее за собой образование ледяного покрытия на взлетно-посадочных полосах. Кроме того, пилоты могут потерять визуальные ориентиры при снижении на подходе и попытке изучить поле аэродрома под наклонным углом через туман, поскольку ранее у них сформировалось ложное чувство безопасности из-за открытого вида, позволяющего четко разглядеть низ постройки и ВПП. Поэтому для верной оценки видимости при посадке ВС отмечают соотношение горизонтальной и наклонной видимости, учитывая отсутствие или наличие облаков разных форм с высотами нижних границ. Именно высота и видимость нижних границ включены в синоптический погодный минимум [2].

Видимость – это зрительное восприятие объектов, обусловленное контрастными и цветовыми различиями среди фона и предметами. Таким образом видимость характеризуется степенью и дальностью видимости, при учете того, что видимость ВПП – это расстояние при котором пилот ВС, в данный момент присутствующий на осевой линии ВПП, видит из кабины самолета маркировку ВПП или яркие огни, которые обозначают как ее контуры, так и осевую линию. А горизонтальная видимость описывает уже условия обнаружения ряда объектов на высоте полета. Получается, что вертикальная видимость – это своего рода

максимальное расстояние, состоящее в вертикальном направлении, с которого возможно увидеть и опознать неосвещенные объекты в дневное время и освещенные объекты ночью.

Термин наклонная видимость определяется как некое расстояние, в пределах которого экипаж ВС при заходе на посадку, может увидеть огни и наземные объекты. Определяется данная величина визуально. Предельные погодные условия, называемые минимумом погоды, позволяют выполнять полеты под руководством командира ВС, а также эксплуатировать ВС, используя аэродром для взлета и посадки, заранее определив его через видимость и оценкой высоты нижней границы облаков [2].

Метеорологическую дальность видимости определяют и прогнозируют специалисты метеорологи. При процессе установления взаимосвязи между метеорологической видимостью и прочими значениями необходимо для диспетчера и пилота для улучшения оценки погодных условий при взлете, посадке воздушных судов и полетах на различных высотах.

2 ГЛАВА. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ТУМАНОВ НА АЭРОДРОМЕ ПУЛКОВО

В районе аэропорта Пулково радиационные туманы за исследуемый период с 2021-2022 гг. встречались достаточно часто, опираясь на это факт будет целесообразно рассмотреть основные методы прогнозирования данного типа туманов и применить их на практике.

2.1 Прогноз радиационных туманов по методу А.С.Зверева

Прогнозировать радиационные туманы можно с использованием номограммы, а также с помощью расчетных формул. Именно эти два способа предлагает использовать А.С. Зверев.

Первый способ подразумевает под собой использование расчетных формул и графиков с целью определения и нахождения минимальной температуры в приземном слое воздуха.

Для того чтобы выяснить будет наблюдаться радиационный туман или нет, достаточно определить температуру туманообразования в воздушной массе (T_T) и минимальную температуру в приземном слое воздуха (T_{min}). После чего сравнить две искомые величины. При условии если $T_T > T_{min}$ стоит ожидать возникновения тумана, при $T_T < T_{min}$ возникновение тумана маловероятно[1].

Определение температуры при которой образуется туман, осуществляется с использованием температуры точки росы (T_d) и добавочного охлаждения (δT_T), которое необходимо чтобы возник туман с влажностью, соответствующей туману с видимостью менее 1 км. Температура туманообразования определяется по формуле 2.1 и рисунку 2.1.1

$$T_T = T_d - \delta T_T, \quad (2.1)$$

где T_d -температура точки росы в вечерние часы;

δT_T -добавочное охлаждение.

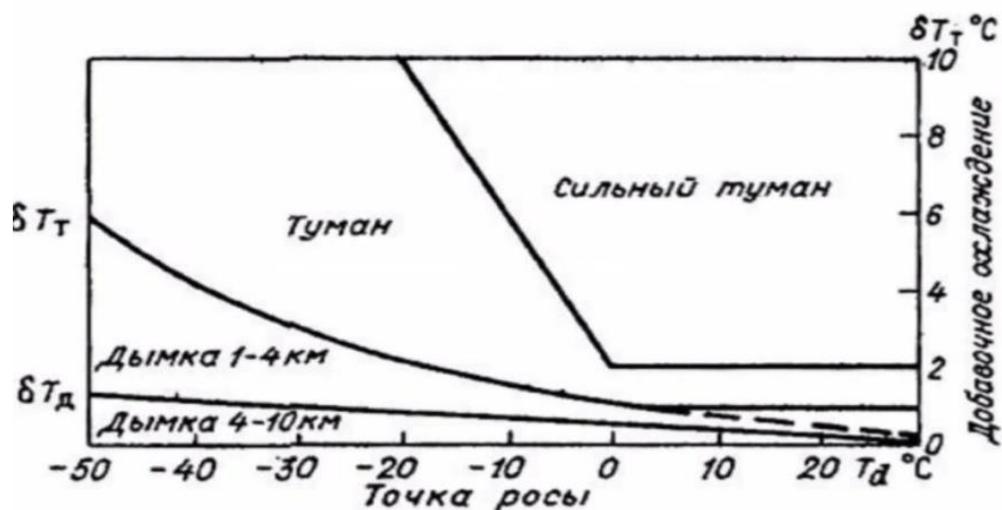


Рисунок 2.1.1 – График, определяющий температуру возникновения тумана

Формула 2.2 и рисунок 2.1.2 позволяют вычислить минимальную температуру:

$$T_{\min} = T_0 - m \Delta T, \quad (2.2)$$

где T_0 -температура воздуха в вечерние часы;

m - поправка на облачность;

ΔT - охлаждение, которое ожидается при ясном небе.

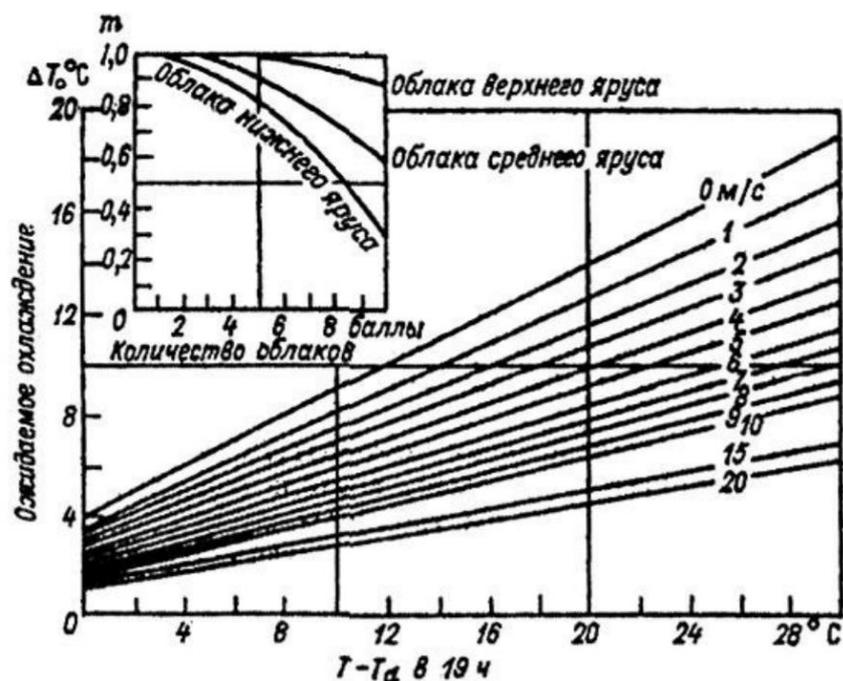


Рисунок 2.1.2 – Номограмма для прогнозирования минимума температуры в вечерние часы

Однако, данный способ прогнозирования радиационных туманов позволяет не только установить факт будет образовываться туман или нет, но также дает возможность спрогнозировать время возникновения тумана.

Предсказать время возникновения радиационного тумана можно по графику Зверева (рис.2.1.3), используя расчетную формулу (2.3). На графике по горизонтальной оси расположено соотношение, значение которого указывает время в какое мог образоваться туман. А по вертикали определяется доля ночи, на которую приходится время возникновения тумана (n).

В том случае если доля ночи принимает значение равное 1, тогда туман стоит ожидать на восходе солнца, значение коэффициента n будет равно 0 на заходе солнца и 0,5 в полночь. Возникновение радиационного тумана близкое к заходу солнца возможно в том случае если, значение величины $\Delta T_T / \Delta T_H$ будет как можно меньше.

$$\frac{T_0 - T_T}{T_0 - T_{min}} = \Delta T_T / \Delta T_H, \quad (2.3)$$

- где: ΔT_T - понижение температуры, наблюдаемое с начала срока до момента возникновения тумана;
- ΔT_H - ожидаемое понижение температуры с исходного срока до момента достижения минимальной температуры в ночное время;
- T_0 - фактическая температура воздуха;
- T_{min} - минимальное значение температуры воздуха.

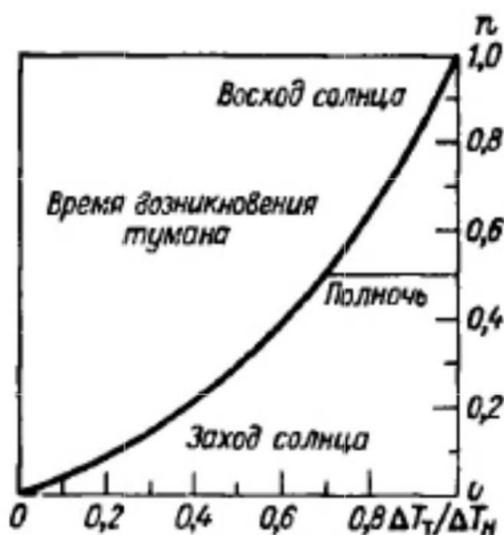


Рисунок 2.1.3 – График для определения времени образования радиационного тумана

Графический способ прогнозирования радиационных туманов по методу А.С.Зверева подразумевает под собой определения понижения температуры в ночное время, при которой возможно возникновение тумана или дымки, с применением номограммы. На рисунке 2.1.4 изображена номограмма, где по горизонтальной оси отложена фактическая температура воздуха, а по вертикальной оси температура туманообразования, которую необходимо определить.

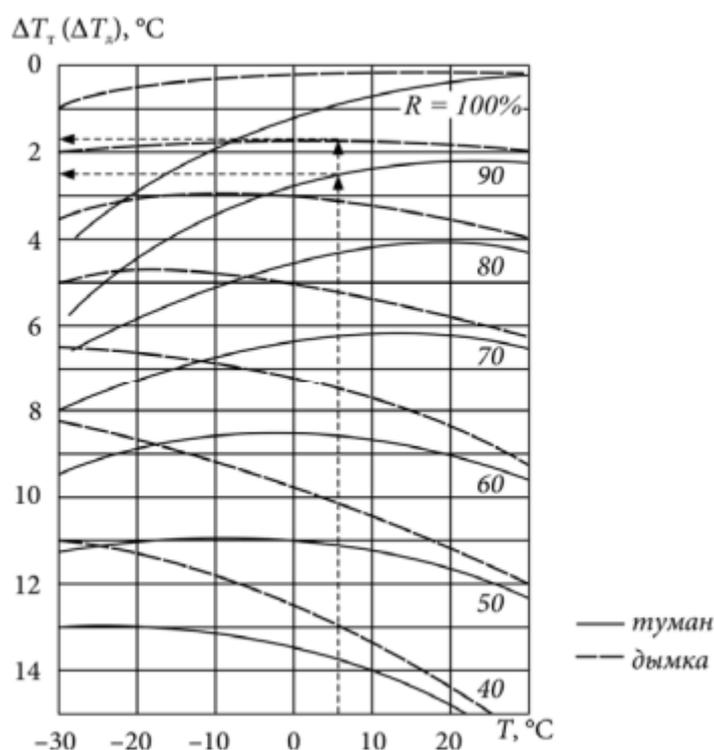


Рисунок 2.1.4 – Номограмма А.С.Зверева для прогнозирования радиационных туманов

Зная температуру воздуха и относительную влажность в вечерние часы, можно спрогнозировать дымку или туман, для этого достаточно подняться по вертикали до кривых линий: пунктирные линии соответствуют понижению температуры необходимой образования для дымки, сплошные – для тумана [4].

2.2 Прогноз радиационных туманов по методу Б.В. Кирюхина

Метод прогнозирования радиационных туманов, предложенный, Б.В.Кирюхиным характеризуется как высоко оправдываемый.

С использованием номограммы, предложенной Б.В.Кирюхиным и расчетным формулам достаточно легко и просто спрогнозировать радиационный туман. Номограмма для прогнозирования радиационных туманов представлена на рисунке 2.2.1, состоит она из двух частей- верхней и нижней. Нижняя часть номограммы содержит в себе информацию о понижении температуры, которая

необходима чтобы воздух достиг насыщения. Таким образом, зная относительную влажность воздуха и исходное значение температуры, будет известна величина ΔT_1 [3].

Верхняя часть номограммы позволяет определить величину ΔT_2 – это понижение температуры, при которой образуется радиационный туман, различающийся по интенсивности. Кривые линии, расположенные в верхней части номограммы, под номерами 0,1 и 2 соответствуют значениям видимости менее 1000 м, менее 500 м и менее 200 м.

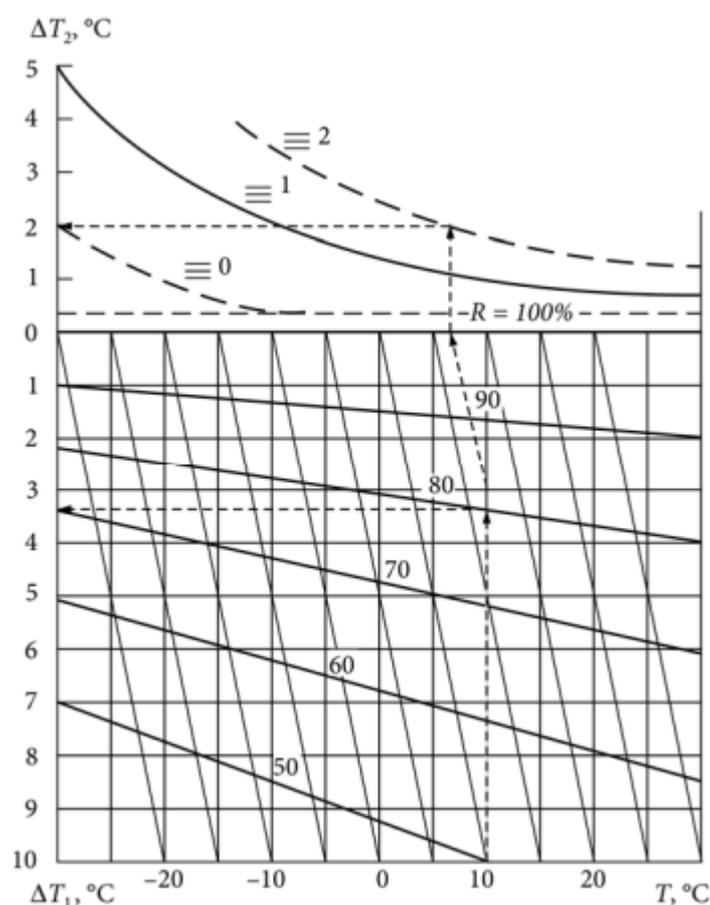


Рисунок 2.2.1 – Номограмма Б.В.Кирюхина для прогнозирования радиационных туманов

Воспользовавшись формулой 2.4 Рассчитывается общее понижение температуры нужное для того, чтобы возник туман с определенной интенсивностью.

$$\Delta T_T = \Delta T_1 + \Delta T_2, \quad (2.4)$$

где ΔT_1 - понижение температуры, приводящая к насыщению воздуха;

ΔT_2 - температура, при которой тумана достигает определенной интенсивности.

Формула 2.5 для расчета температуры туманообразования выглядит следующим образом:

$$T_T = T - \Delta T_T, \quad (2.5)$$

где T - фактическая температура воздуха

2.3 Прогноз туманов по методу Н. В. Петренко

В своем методе Н. В. Петренко предлагает использовать расчетную формулу для определения температуры туманообразования. Формула 2.6 имеет следующий вид:

$$T_T = T_d - \Delta T_d \quad (2.6)$$

где: T_d - температура точки росы, наблюдаемая при заходе солнца ;

ΔT_d - значение снижения температуры точки росы ночью от начала срока до момента возникновения тумана.

Понижение температуры точки росы зависит от температуры в исходный срок и определяется с использованием таблицы 2.3.1, представленной ниже.

Таблица 2.3.1 – Осредненные значения понижения температуры точки росы при различных значениях температуры в наблюдаемый срок.

$T_d, ^\circ\text{C}$	20...11	10...0	-1...-10	-11...-20	-21...-30
$\Delta T_d, ^\circ\text{C}$	1,4	1,6	2,0	2,5	2,3

Для дальнейшего прогнозирования радиационного тумана необходимо использовать график, представленный на рисунке 2.3.1.

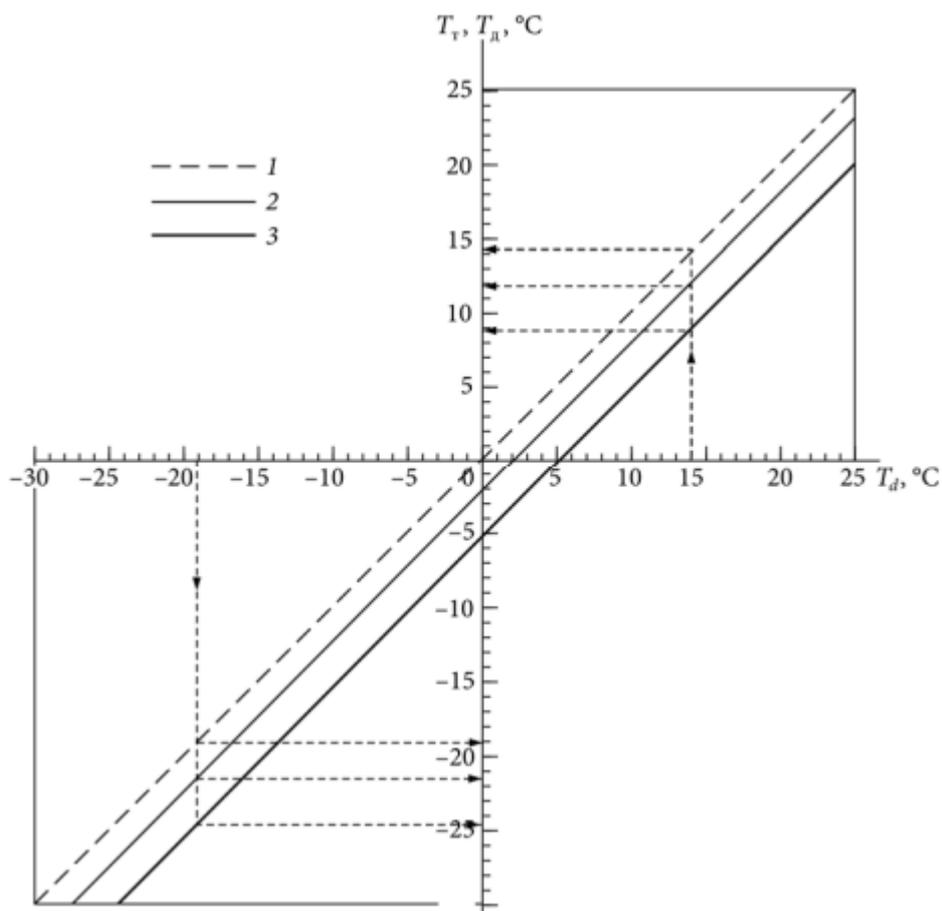


Рисунок 2.3.1 – График для прогнозирования радиационных туманов методом Н.В. Петренко

Суть графика заключается в том, что на вертикальной оси отложены значения температуры туманообразования (T_t), то есть температура при которой возникает туман. А по горизонтали отложены значения температуры точки росы (T_d). Наклонные линии, проведенные на графике, характеризуют интенсивность тумана. Пунктирная линия соответствует области дымки, сплошная – линия слабого тумана, толстая сплошная – обозначает линию сильного тумана [4].

2.4 Прогноз радиационных туманов по методу Д.Н. Лаврищева

Метод Д.Н.Лаврищева подразумевает под собой нахождение температуры туманообразования (T_T) с применением графического метода. На графике (рис. 2.4.1), с помощью которого определяется величина T_T , расположена кривая, которая соотносится с максимальным значением водяного пара при насыщении соответствующего разным значениям температуры.

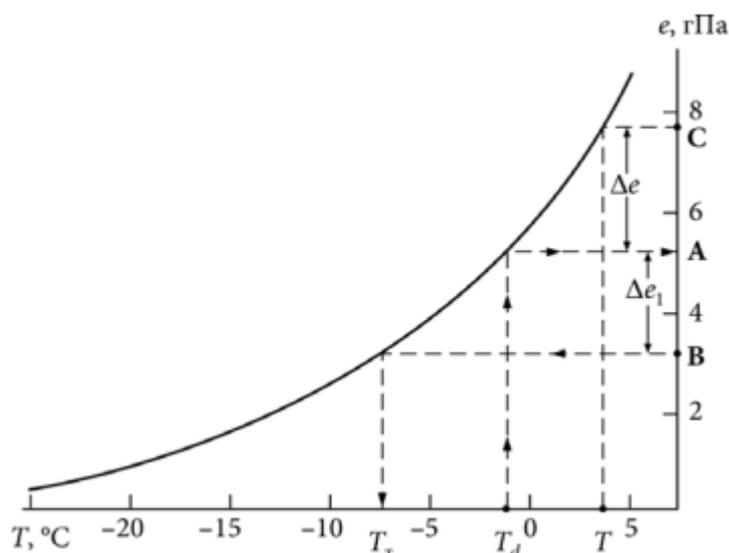


Рисунок 2.4.1 – График позволяющий определить температуру туманообразования по методу Д.Н. Лаврищева

В воздухе фактическое содержание водяного пара определяется температурой точки росы, значение которой можно определить по графику, обозначив точкой А. График также позволяет найти максимальное значение упругости водяного пара, соответствующее температуре воздуха. Значение данной величины фиксируется в точке С [4].

Подобным способом, возможно установить максимальное значение упругости водяного пара, соответствующее температуре воздуха.

Чтобы выяснить при какой температуре возможно образование радиационного тумана (T_T), достаточно опуститься по вертикали вниз из точки А в точку В, разницу между которых будет равна значению величины Δe_1 , определенной по статистическим данным аэродрома [4].

После вышесказанного достаточно сместиться от точки В до кривой, опустить перпендикуляр на горизонтальную ось, соответствующую температуре воздуха, и снять значение температуры туманообразования (ТТ).

2.5 Основные методы прогноза адвективных туманов

Прогноз адвективных туманов по методу И. В. Кошеленко

Данных о скорости ветра и вертикальном градиенте температуры будет достаточно, чтобы воспользоваться графиком, который был предложен И. В. Кошеленко для прогноза адвективных туманов (рис. 2.5.1). В зависимости от того в какую область графика попадет точка пересечения исходных величин, можно будет сделать вывод будет прогнозироваться туман или нет [4,8]. Заблаговременность адвективного тумана, прогнозируемого с помощью графика достигает 9 часов.

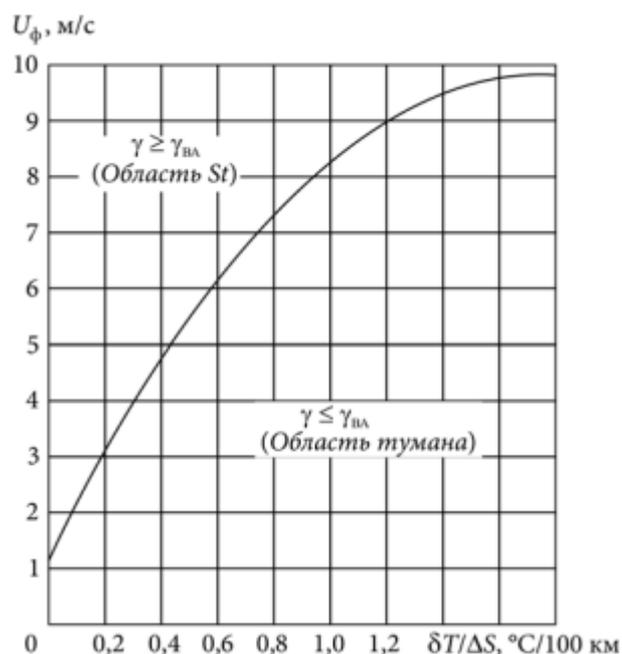


Рисунок 2.5.1 – График прогнозирования адвективного тумана методом И. В. Кошеленко

Прогноз адвективных туманов по методу Н. В. Петренко

Помимо радиационных туманов, по методу Н. В. Петренко имеется возможность прогнозировать туманы адвективного характера.

График изображенный на рисунке 2.5.2 подразумевает под собой использование таких параметров как: скорость ветра у поверхности земли, горизонтальный градиент температуры и значение дефицита точки росы.

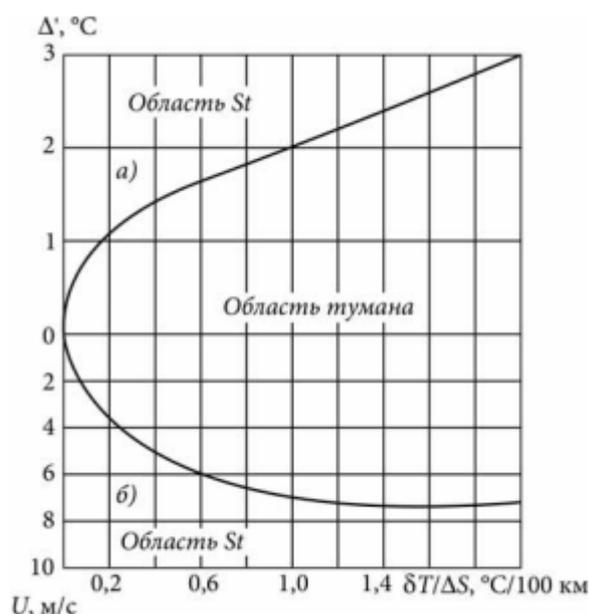


Рисунок 2.5.2 – График Н. В. Петренко для прогноза адвективных туманов.

Адвективный туман стоит ожидать в том случае, если точки, а и б, нанесенные на график по исходным данным, будут расположены в области тумана [4,8].

Прогноз адвективных туманов по методу А.А.Шадринной

Для прогнозирования тумана адвективного характера по изменению температуры точки росы вблизи земли или на уровне 850 гПа был разработан метод А.А.Шадринной. На рисунке 2.5.3 представлен график который позволяет спрогнозировать туман. Для этого достаточно определить куда попадает точка пересечения температуры точки росы и фактической температуры воздуха, если

точка попадает ниже пунктирной или сплошной прямой, в этом случае следует ожидать туман. Пунктирная линия соответствует туману у земной поверхности, а сплошная – на уровне 850 гПа [4].

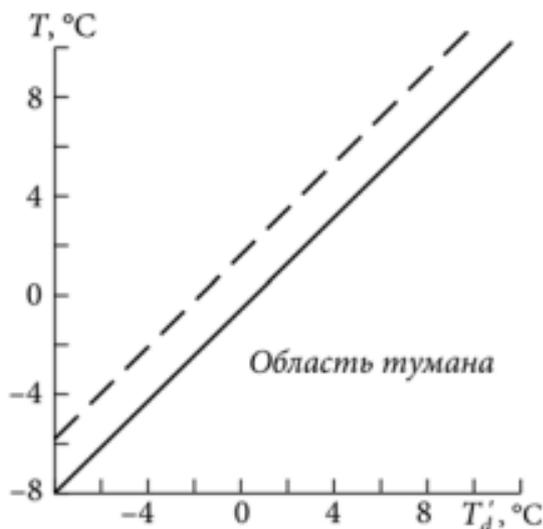


Рисунок 2.5.3 – График для прогноза адвективного тумана по методу А.А. Шадринной

2.6 Прогноз туманов испарения и фронтальных туманов

Прогнозировать туманы испарения можно с помощью графика, который представлен на рисунке 2.6.1. По горизонтали отложена температура воздуха, перемещающегося на сушу с моря, а по вертикали относительная влажность воздуха. В том случае, если при пересечении параметров массы воздуха точка попадет в область: I - туман не будет возникать, II – образование умеренного тумана, III – соответствует густому туману [4].

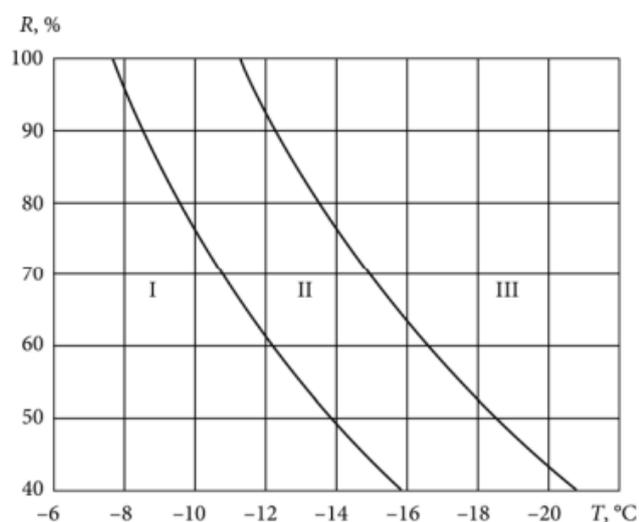


Рисунок 2.6.1 – График прогноза тумана испарения

Чтобы спрогнозировать фронтальный туман достаточно графика на рисунке 2.6.2. График позволяет выяснить будет ли прогнозироваться туман, зная относительную влажность воздуха или дефицит точки росы, значение которых отложено по горизонтальной оси, а также разность температур, которая расположена на вертикальной оси. Фронтальный туман стоит ожидать в прогнозе, когда точка пересечения параметров окажется в зоне тумана, в ином случае туман прогнозироваться не будет [4].

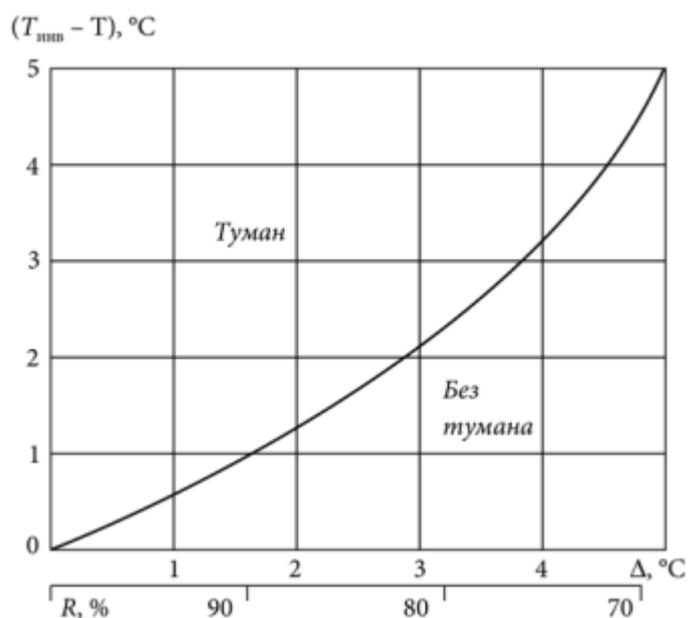


Рисунок 2.6.2 – График прогноза фронтального тумана

3 ГЛАВА. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТУМАНОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА ПУЛКОВО

3.1 Физико-географическое и климатологическое описание аэродрома Пулково

Международный аэропорт Пулково расположен на Северо-Западном округе Российской Федерации. В 15 км от центра города Санкт-Петербург в Московском районе в сторону ЮЮЗ. Значение абсолютной высоты аэродрома составляет 24 м. Местоположение аэродрома располагается среди лесных массивов на Приневской низменности, которая берет свое начало с запада и простирается на восток от Финского залива до Ладожского озера.

Ширина Приневской низменности составляет 30-50 км, а глубина достигает 50-100 м. В основе рельефа Приневской низменности лежит равнина. Но на севере сменяется камовым рельефом, который достигает высоты от 5-30 м. Иными словами появляются разбросанные холмы, состоящие из песков, суглинков с примесью гравия, которые сменяются возвышенностями небольших размеров такими как: Парголовская и Колтушская с высотой до 60 м. Приневскую низменность можно разделить на две части: правобережную и левобережную. Дельта Невы, расположенная на западной стороне Приневской низменности, занимает практически всю территорию города.

На южной части Финского залива, где раскинулись прибрежные низины, находится Дудергофская возвышенность, высота которой достигает 176 м. Более низкая ступень представляет собой цепь холмов высотой до 60 м, тянущихся с юга на юго-запад Санкт-Петербурга. Самая высокая точка – Пулковские высоты (73 м). По направлению на запад от аэродрома в 3-х километрах размещается Лиговский канал. На рисунке 3.1.1 показано расположение аэродрома Пулково.

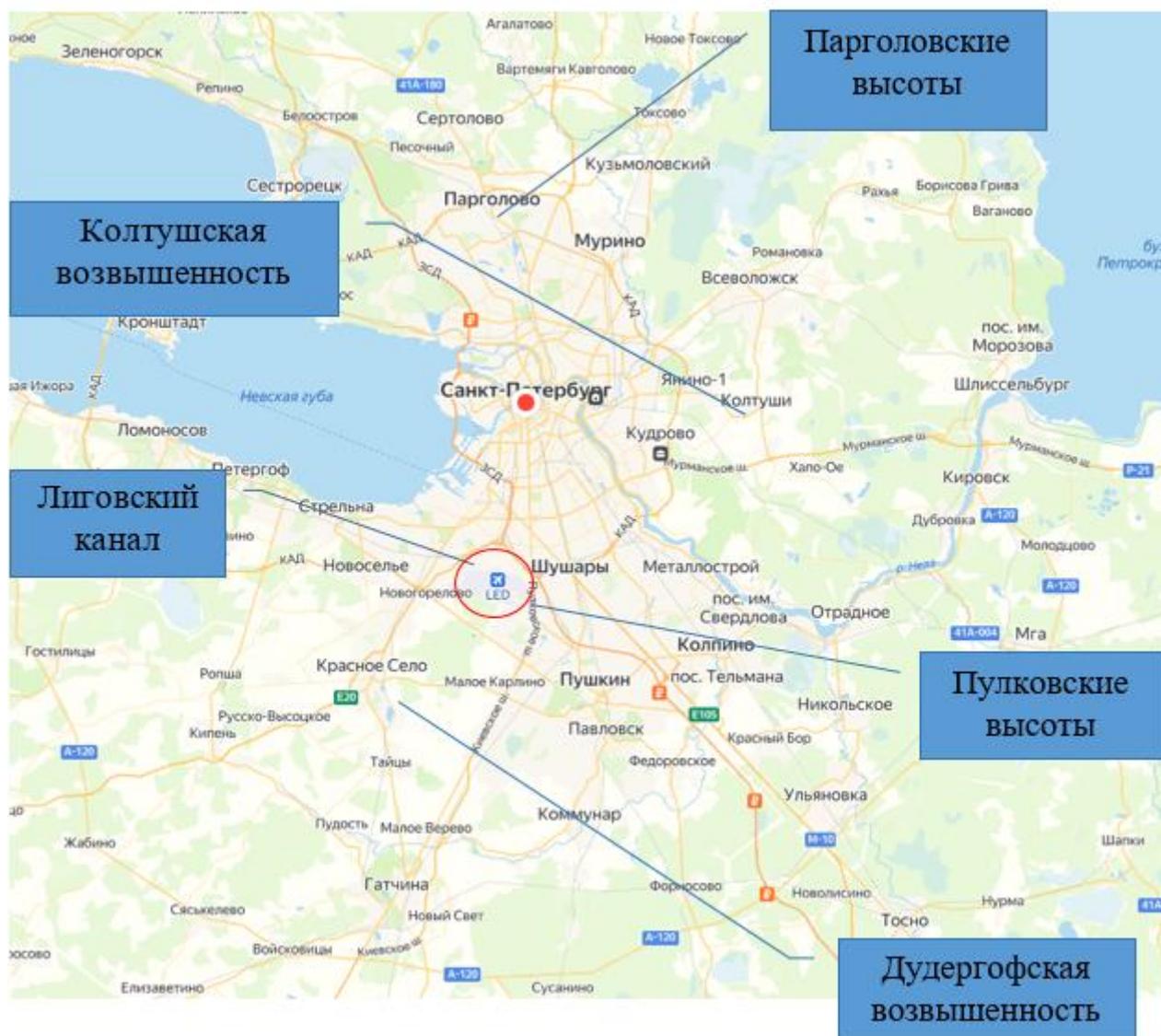


Рисунок 3.1.1 – Расположение аэродрома Пулково

Расположение аэродрома приходится на умеренную зону, меняющуюся с умеренно-континентального климата на умеренно-морской.

В среднем на год приходится 662 мм атмосферных осадков. Максимум наблюдается в августе и составляет около 70 мм осадков, а минимум приходится на март со значением около 31 мм.

Средняя годовая температура воздуха в районе аэродрома Пулково составляет 5,8°C. Самым теплым месяцем принято считать июль, поскольку средняя температура воздуха составляет 18,8°C, а максимальное значение

температуры воздуха в этом месяце составляет 37,1 °С. Самое низкое значение среднемесячной температуры воздуха встречается в январе и составляет -5,8°С, минимум же в этом месяце отмечается при температуре воздуха -35,9°С.

Минимальное атмосферное давление на аэродроме составляет 710 мм. рт.ст.

В среднем скорость ветра составляет 2,3 м/с, преобладающими направлениями ветра в течение года являются: западное, юго-западное и северо-западное направления. Чаще всего встречаются ветры со скоростями 1-6 м/с. В июле, августе и сентябре многократно наблюдаются штили.

Данный регион расположен в области с повышенной влажностью воздуха, в среднем значение относительной влажности достигает 78%. Максимальные значения относительной влажности воздуха в период с сентября по январь составляют 84-85%, а минимум приходится на апрель со значением влажности 67%.

Району аэродрома Пулково свойственно попадать под влияние атлантических воздушных масс. С этим связано усиление циклонической деятельности в холодное полугодие, в то время как для теплого полугодия циклоническая деятельность будет ослабевать.

Именно деятельность циклонов и взаимодействие различных воздушных масс приводят к изменению погодных условий в районе аэродрома Пулково в течение всего года.

В районе аэродрома в течение года наблюдаются ливневые осадки в виде дождя, а в период с сентября по апрель характерны осадки в виде снега.

В отношении метеорологических явлений, можно отметить, что больше всего дней с туманами приходится на сентябрь, а изредка туманы могут возникать в период с мая по июнь. Это объясняется тем что, для возникновения тумана недостаточно периода выхолаживания. Для туманов адвективного характера благоприятными синоптическими ситуациями являются прохождение теплого фронта или теплого сектора циклона.

3.2 Распределение повторяемости туманов годового и суточного хода

В процессе исследования за период с 2021 по 2022 г. в районе аэропорта Пулково было зафиксировано 106 случая возникновения тумана. Обращая внимание на нижеприведенную таблицу 3.2.1 видно, что годом с наименьшим количеством случаев туманов является 2021 г. - за этот год насчитывалось 49 случаев с образованием туманов, которому соответствует 46% повторяемости. Наибольшее число случаев насчитывалось в 2022 г., что соответствует 54%.

Таблица 3.2.1 – Количество туманов, наблюдавшихся на аэродроме Пулково за 2021-2022гг.

Год	2021	2022	Всего
Количество туманов	49	57	106
Повторяемость	46%	54%	100%

Графики, представленные на рисунках 3.2.1 и 3.2.2, позволяют оценить количество и повторяемость случаев возникновения туманов за период 2021-2022 гг.

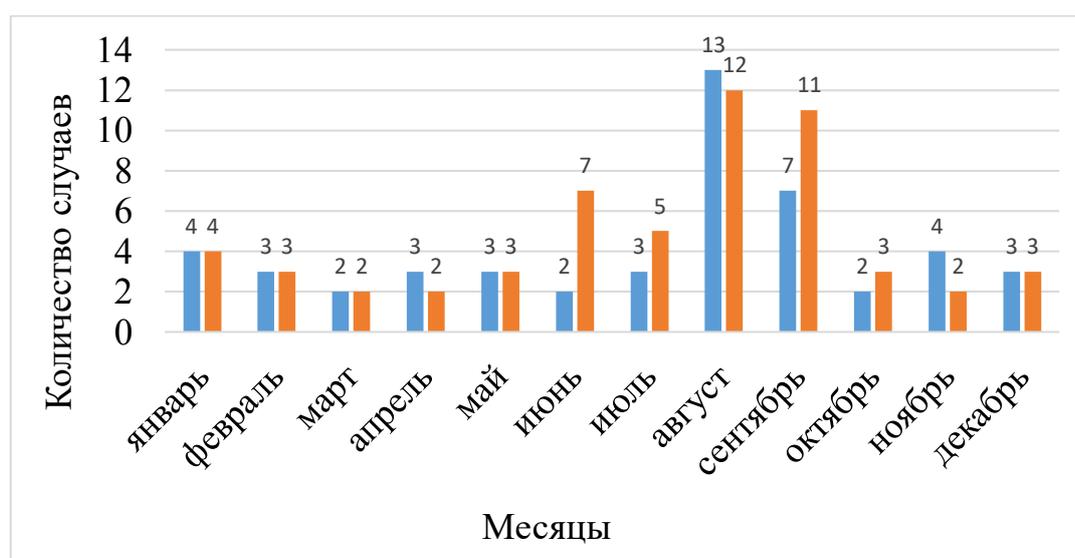


Рисунок 3.2.1 Количество случаев возникновения тумана в районе аэропорта Пулково за период 2021-2022 гг.

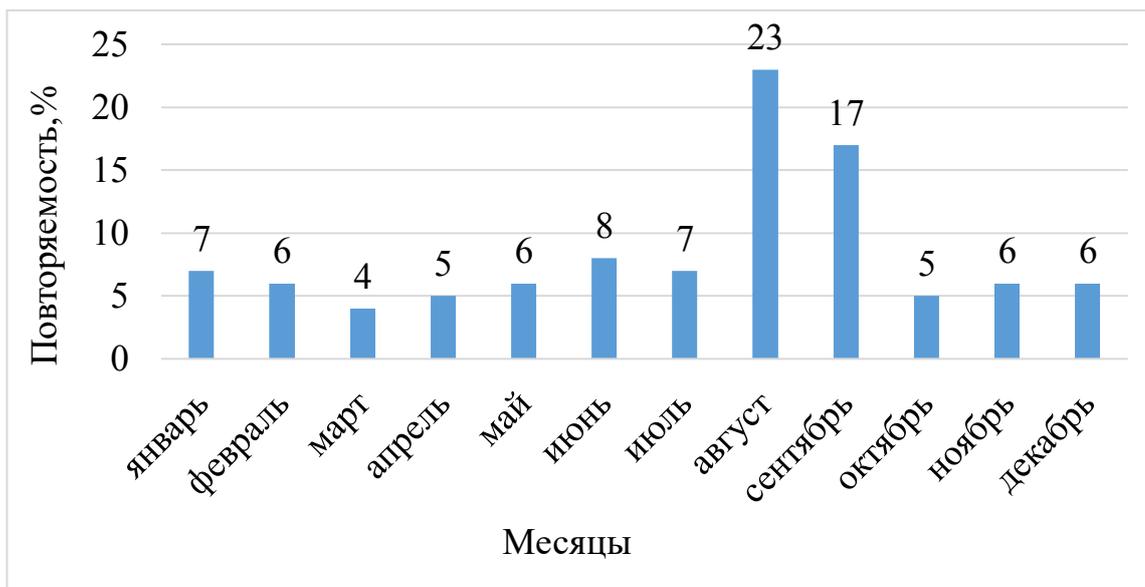


Рисунок 3.2.2 Повторяемость туманов в районе аэропорта Пулково за период 2021-2022 гг.

Анализируя 2021-2022 годы можно сказать, что исследуемый период достаточно богат случаями с появлением туманов на территории аэродрома Пулково, об этом свидетельствуют рисунки 3.2.1 и 3.2.2, на которых отображена информация о тенденции возникновения туманов. Самыми благоприятными месяцами для образования туманов являются сентябрь (17%) и август (23%), поскольку именно в эти месяцы повторяемость случаев, с туманами, принимает наибольшие значения. В июне, июле, мае, феврале, январе, декабре и ноябре число случаев значительно сокращается до 6-8%. Минимальные значения повторяемости приходятся на март и апрель, а также октябрь, и составляет 5% и менее процентов повторяемости случаев.

Суточный ход повторяемости

Повторяемость суточного хода дает возможность рассмотреть наиболее детально время, в которое появляются туманы.

Таблица 3.2.2 – Суточный ход повторяемости случаев возникновения туманов в районе аэродрома Пулково за период 2021-2022 гг.

Время, час	Количество случаев за 2021-2022 гг.	Повторяемость, %
0-6	58	55
6-12	8	7
12-18	6	6
18-24	34	32
Всего	106	100

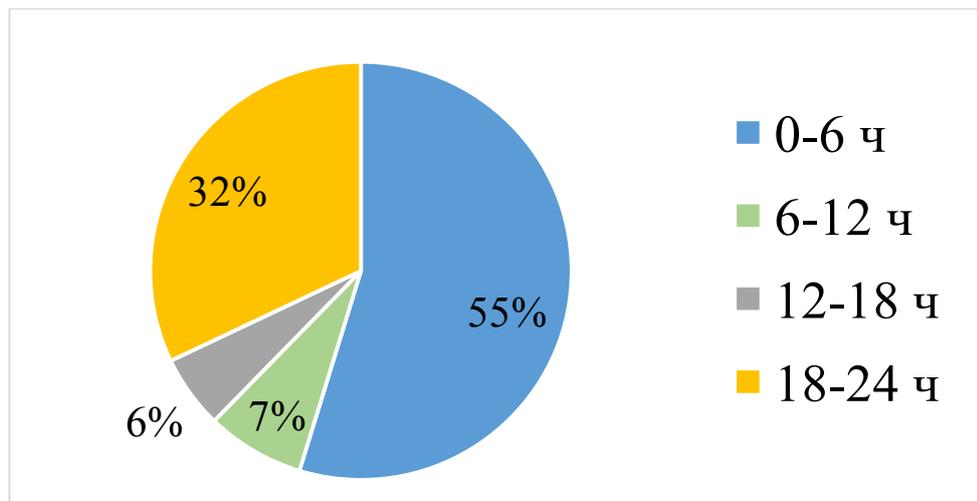


Рисунок 3.2.3 - Суточный ход повторяемости случаев возникновения туманов в районе аэродрома Пулково за период 2021-2022 гг.

На диаграмме (рисунок 3.2.3) представлена информация о повторяемости туманов в разные временные интервалы, важно отметить что 32% случаев наблюдается в период с 18-24 часов, 55% случаев приходится на раннее утро, а точнее с 0-6 ч. Число случаев, когда туманы образовывались с 6-12 часов и с 12

– 18 часов распределились между собой в наименьших процентных соотношениях и составили 7 и 6 % соответственно.

Еще одним не маловажным критерием при исследовании туманов является их продолжительность, поскольку именно она сказывается на степени опасности данного метеорологического явления.

Таблица 3.2.3 – Продолжительность туманов в районе аэродрома Пулково за 2021-2022 гг.

Продолжительность тумана, час	Количество случаев за 2021-2022г	Повторяемость,%
до 1 часа	51	48
от 1 до 2 ч	23	22
от 2 до 3 ч	13	12
более 3 ч	19	18
Всего	106	100

Данные о продолжительности туманов в районе аэропорта Пулково за 2021-2022 гг. отображены на рисунке 3.2.4

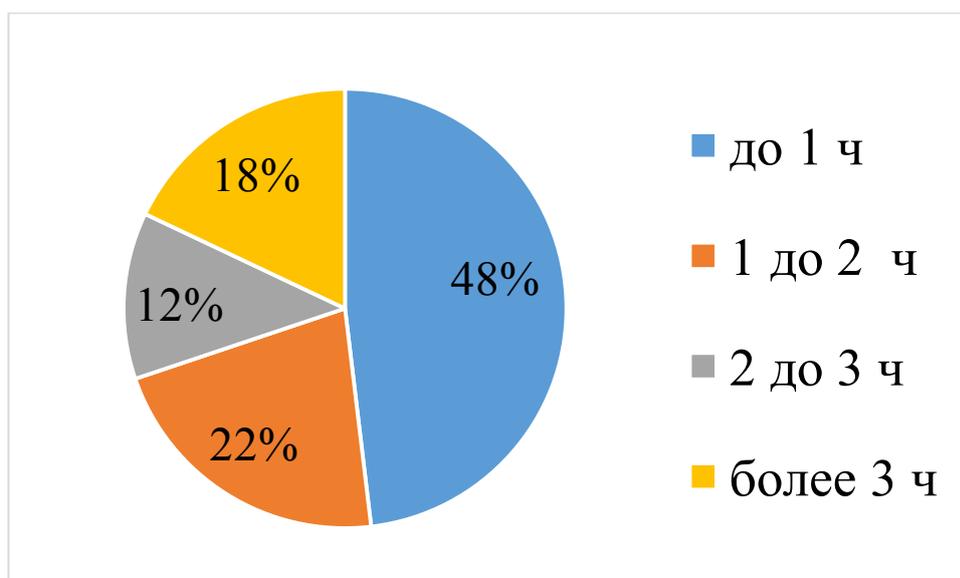


Рисунок 3.2.4 – Повторяемость продолжительности туманов в районе аэродрома Пулково за период 2021-2022 гг.

Исходя из таблицы 3.2.3 и рисунка 3.2.4, 48 % случаев приходится на туманы, длительность которых не превышала 1 часа. Количество случаев туманов, чья продолжительность составляла от 1 часа до 2 насчитывалось 22%, реже всего встречаются туманы длительность которых составляет 2-3 часа – таких случаев зафиксировано 12 %. Что касается туманов, чья продолжительность превышала более 3 часов - было отмечено 18% от общего числа случаев.

3.3 Горизонтальная видимость туманов, встречающихся на аэродроме Пулково

Горизонтальная видимость является ключевым фактором в прогнозировании туманов. Поэтому важно оценить повторяемость случаев с возникновением туманов при разных значениях горизонтальной видимости.

Туманы подразделяются на градации в зависимости от того какая видимость зафиксирована. Эта информация представлена в таблице 3.3.1 и на рисунке 3.3.1.

Таблица 3.3.1 – Повторяемость туманов по горизонтальной видимости в районе аэропорта Пулково за период 2021-2022 гг.

Градации видимости	Количество туманов	Повторяемость, %
Сильный (не превышает 50 м)	10	10
Умеренный (от 50-500м)	81	76
Слабый (от 500-1000м)	15	14
Всего	106	100

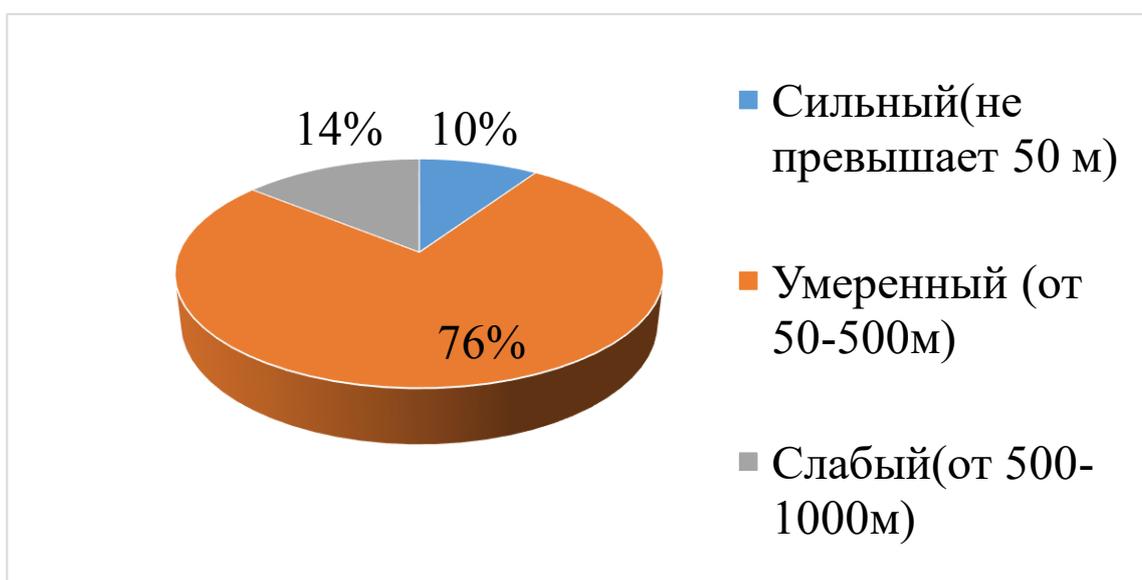


Рисунок 3.3.1 - Повторяемость туманов при различных значениях горизонтальной видимости в районе аэропорта Пулково за период 2021-2022 гг.

За исследуемый промежуток времени было выявлено 76% случаев появления умеренного тумана с видимостью менее 500 м, 14% слабого с видимостью от 500 до 1000 м и 10% сильного тумана с видимостью при котором не превышала 50 м.

3.4 Типы туманов, встречающиеся на аэродроме Пулково

В таблице 3.4.1 и на рисунке 3.4.1 представлена повторяемость различных типов туманов, встречающихся в районе аэродрома Пулково.

Таблица 3.4.1 – Типы туманов, встречающихся в районе аэродрома Пулково за период 2021-2022 гг.

Типы туманов	Количество	Повторяемость, %
Радиационный	64	60
Адвективный	11	10
Адвективно-радиационный	3	3
Фронтальный	28	27
Всего	106	100

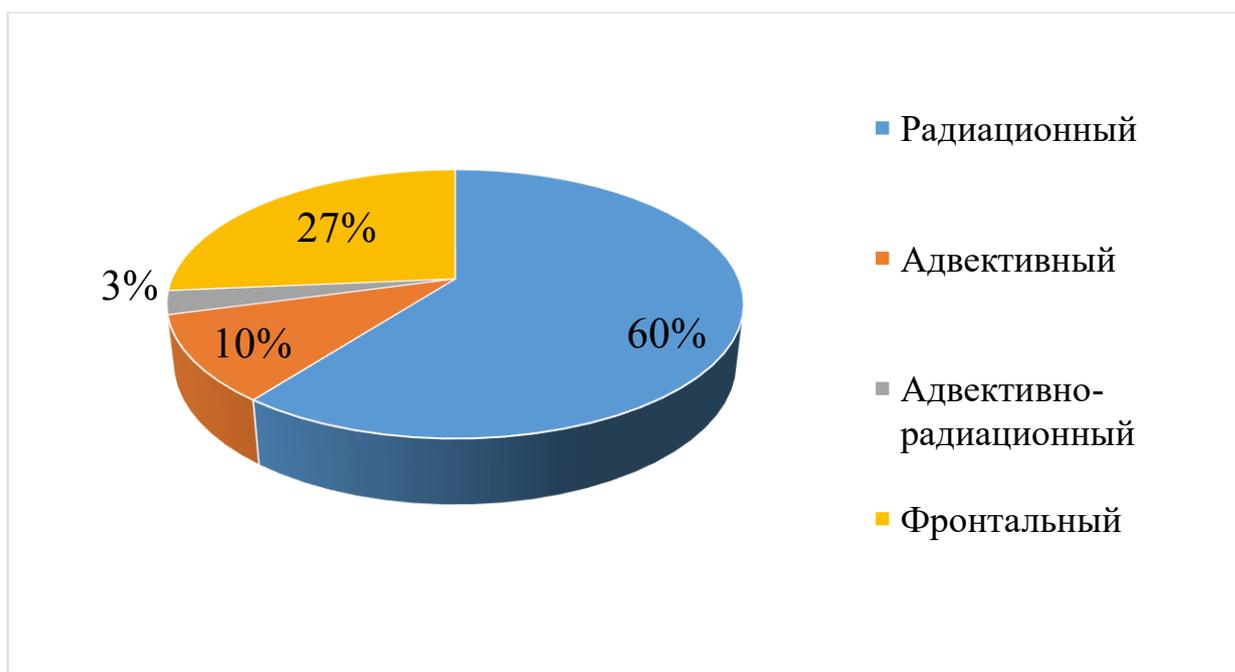


Рисунок 3.4.1 – Повторяемость типов туманов в районе аэродрома Пулково за период 2021-2022 гг.

С 2021 по 2022 гг. было отмечено 60% случаев с наличием радиационных туманов, 27% составили фронтальные туманы, 10% - адвективные и 3% адвективно-радиационные туманы.

3.5 Повторяемость синоптических ситуаций, при образовании туманов на аэродроме Пулково

Чтобы более детально изучить причины и условия возникновения туманов, необходимо рассмотреть синоптические ситуации, при которых туман мог бы образоваться.

В таблице 3.5.1 приведены данные о количестве и повторяемости случаев возникновения туманов.

Таблица 3.5.1 – Повторяемость синоптических ситуаций в случае образования туманов на аэродроме Пулково

Барическое образование	Количество случаев	Повторяемость, %
Циклон	7	7
Антициклон	13	12
Ложбина	4	4
Седловина	9	8
Гребень	20	19
Холодный фронт	9	8
Теплый фронт	4	4
Фронт окклюзии	12	11
Малогradientное поле повышенного давления	14	13
Малогradientное поле пониженного давления	8	8
Теплый сектор	2	2
Западная периферия антициклона	4	4

Всего	106	100
-------	-----	-----

Повторяемость синоптических ситуаций, связанных с туманообразованием проиллюстрирована на рисунке 3.5.1. Чаще всего туманы в районе аэродрома Пулково образовывались, когда Санкт-Петербург находился под действием барического гребня (19%), малоградиентного поля повышенного давления (13%), антициклона (12%) и фронта окклюзии (11%). Повторяемость туманов при перечисленных синоптических ситуациях варьируется от 11 до 19%. При оставшихся синоптических ситуациях, повторяемость которых не превышала 8 %, туманы образовывались не так часто.

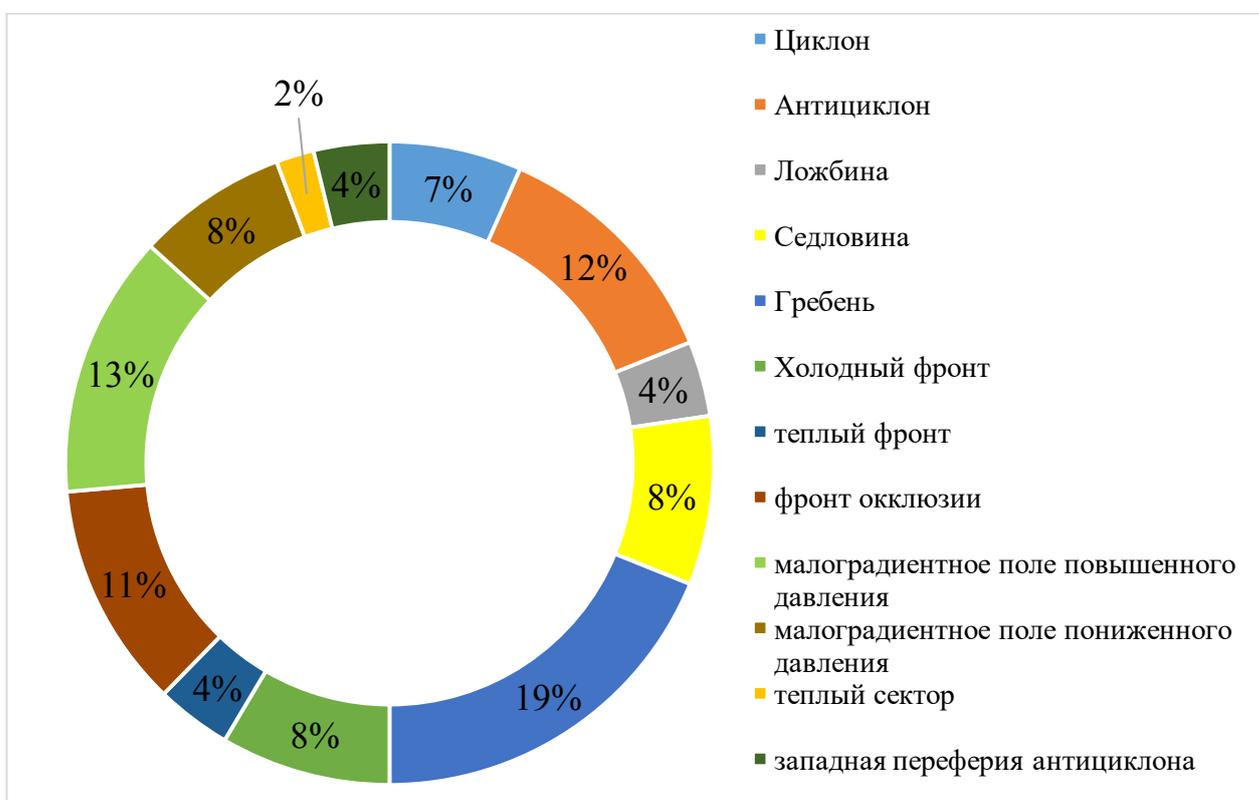


Рисунок 3.5.1 – Повторяемость синоптических ситуаций, связанных с образованием туманов в районе аэродрома Пулково за 2021-2022 гг.

В таблице 3.5.2. представлена повторяемость случаев возникновения туманов на атмосферных фронтах в районе аэродрома Пулково.

Таблица 3.5.2 – Повторяемость случаев образования туманов на атмосферных фронтах

Фронты			
Кол-во случаев	Холодный	Теплый	Окклюзии
		9	4
Повторяемость, %	36	16	48
Всего	25		

Чаще всего туманы образуются на фронтах окклюзии с повторяемостью 48%. На холодных фронтах туманы встречаются чуть реже (36%) и меньше всего на теплых (16%).

3.6 Апробация методов прогноза туманов на аэродроме Пулково

Далее была проведена апробация методов прогнозов радиационных туманов на аэродроме Пулково. Были использованы методы:

- А.С.Зверева (расчетный)
- А.С.Зверева (графический)
- Н.В.Петренко
- Б.В.Кирюхина
- Д.Н.Лаврищева

После использования 5-ти основных методов для прогноза радиационных туманов на аэродроме Пулково за период 2021-2022 г. была получена успешность каждого прогноза. В таблице 3.6.1 представлены результаты оправдываемости прогнозов туманов.

Таблица 3.6.1 – Успешность прогноза при наличии и отсутствии явления

Методы	Успешность прогноза, %	Успешность прогноза при отсутствии явления, %

Метод А.С.Зверева (расчетный метод)	38	36
Метод А.С.Зверева (графический метод)	41	82
Метод Н.В. Петренко	100	84
Метод Б.В. Кирюхина	41	80
Метод Д.Н.Лаврищева	28	68

При анализе таблице 3.6.1, можно сделать вывод о том, что в качестве основного метода для прогнозирования радиационных туманов можно использовать метод Н.В. Петренко, который показал самый большой процент успешности прогноза при наличии (100%) и отсутствии явления (84%), что делает метод достаточно надежным.

Графический метод А.С.Зверева и Н.В. Петренко показали одинаковые результаты, успешность которых составила 41%. Успешность прогноза при расчетном методе А.С.Зверева составила 38%.

Наименьшая успешность прогноза радиационного тумана наблюдается при методе Д.Н.Лаврищева и составляет 28%. Узкий диапазон значений не позволяет прогнозировать туманы при температуре более 8°C, что является причиной наименьшей успешности данного метода.

Методы чья успешность прогноза составила 41%, 38% и 28% можно считать перестраховочными, но в случае отсутствия явления методы достигают более 68 % успешности, кроме расчетного метода А.С.Зверева (36%).

3.7 Обзор случаев возникновения туманов на аэродроме Пулково

Ниже представлены примеры наиболее повторяющихся синоптических ситуаций, при которых возникали туманы на аэродроме Пулково.

Синоптическая ситуация, представленная на рисунке 3.7.1 за 14.08.2022 г. указывает на то, что аэродром Пулково находился под влиянием антициклона, который стал причиной образования радиационного тумана.



Рисунок 3.7.1 – Синоптическая ситуация за 14.08.2022 за 00 UTC

Синоптическая ситуация за 10.09.2021 г. на рисунке 3.7.2 демонстрирует случай, когда аэродром Пулково находится в области малоградиентного поля повышенного давления. Образование радиационных туманов при данной синоптической обстановке считается нередким явлением.

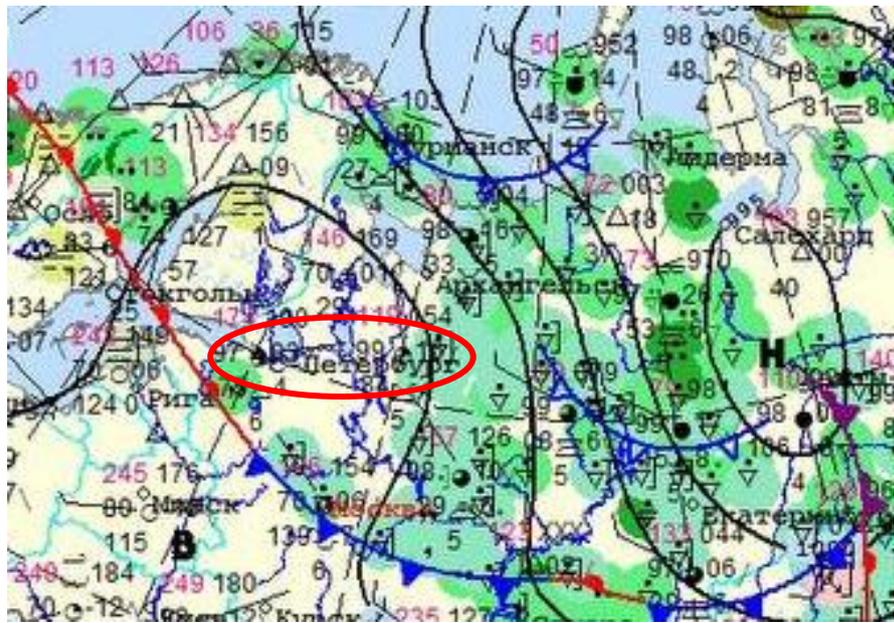


Рисунок 3.7.2 – Синоптическая ситуация за 10.09.2021 за 00 UTC

Синоптическая ситуация за 12.03.2022 г на рисунке 3.7.3 описывается случаем, при котором аэродром Пулково находился в области пониженного давления на оси барического гребня, данная ситуация является благоприятной для возникновения тумана.



Рисунок 3.7.3 – Синоптическая ситуация за 12.03.2022 за 00 UTC

Меньше случаев возникновения туманов наблюдалось при таких синоптических ситуациях, как ложбина (рис. 3.7.4).

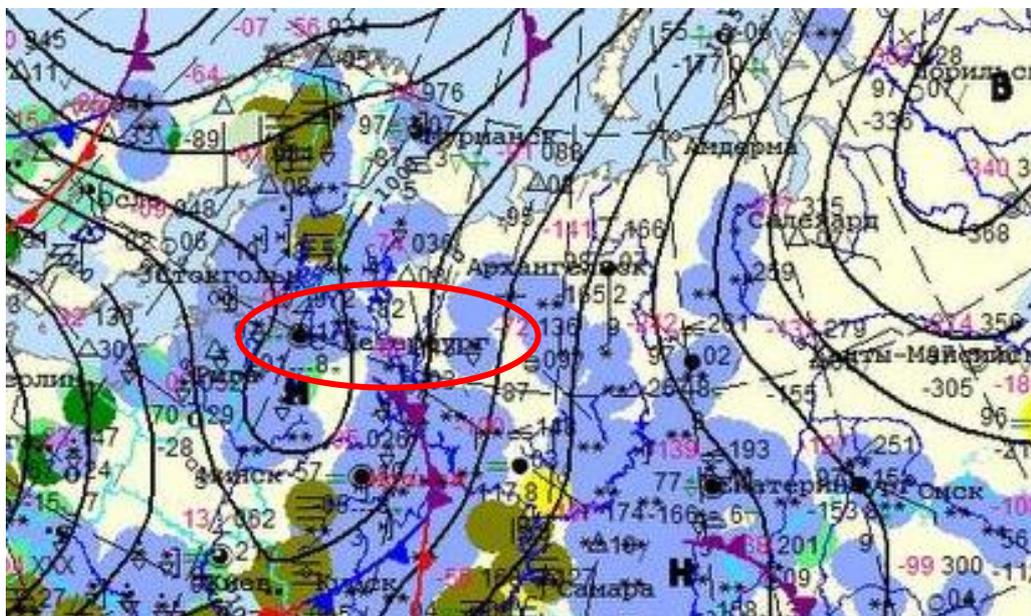


Рисунок 3.7.4 – Синоптическая ситуация за 08.02.2022 г. за 00 UTC

Синоптическая ситуация, представленная на рисунке 3.7.4 за 08.02.2022 г. показывает, что аэродром Пулково находится на оси барической ложбины, где возможно образование туманов.

Синоптическая ситуация за 12.08.2021 г. при которой аэродром Пулково находился в зоне действия седловины – то есть в области, заключенной между двумя циклонами и двумя антициклонами, которые расположены друг напротив друга. При данной синоптической ситуации, представленной на рисунке 3.7.5, возможно образование туманов.

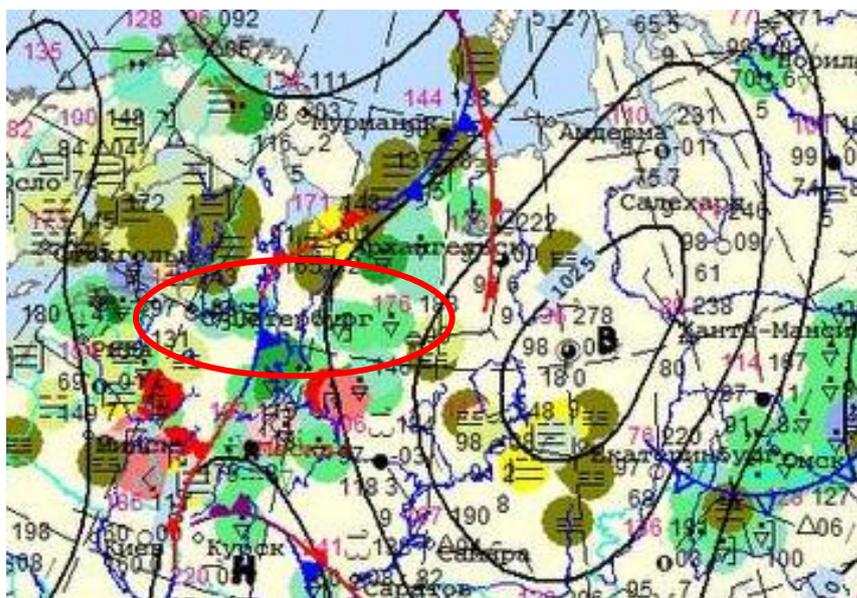


Рисунок 3.7.5 – Синоптическая ситуация за 12.08.2021 г. за 00 UTC

Без внимания не останутся синоптические ситуации, предшествующие формированию адвективных и фронтальных туманов.

Как правило туманы адвективного характера образуются в теплых секторах циклонов при пасмурной погоде, но были зафиксированы случаи, когда адвективные туманы наблюдались при ложбине.

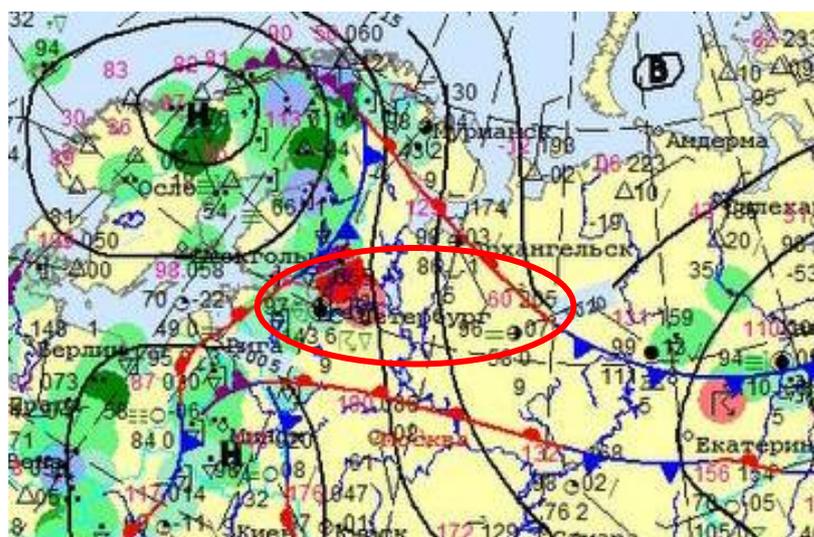


Рисунок 3.7.6 – Синоптическая ситуация за 18.05.2021 г. за 00 UTC

На рисунке 3.7.6 представлена синоптическая ситуация за 18.05.2021г. на которой аэродром Пулково попадает в теплый сектор циклона, в этот день был зафиксирован адвективный туман.

Синоптическая ситуация, которая наблюдалась за 12.09.2021 г. (рис. 3.7.7) на территории аэродрома Пулково – теплый фронт, который повлек за собой образования адвективного тумана, продолжительность которого составляла более 4 часов.

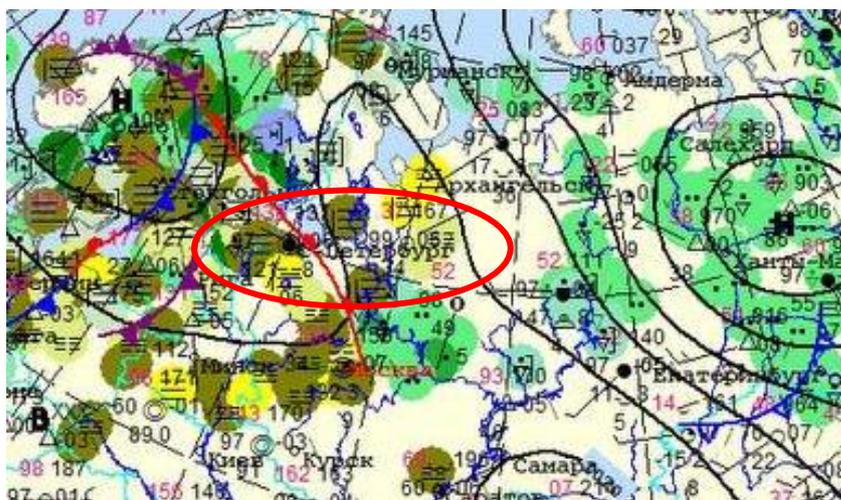


Рисунок 3.7.7 – Синоптическая ситуация за 12.09.2021 г. за 00 UTC

Проиллюстрированная на рисунке 3.7.9 синоптическая ситуация, на которой отчётливо видно, что аэродром Пулково попадает под влияние западной периферии антициклона. В этот день был отмечен случай с адвективно-радиационным туманом.

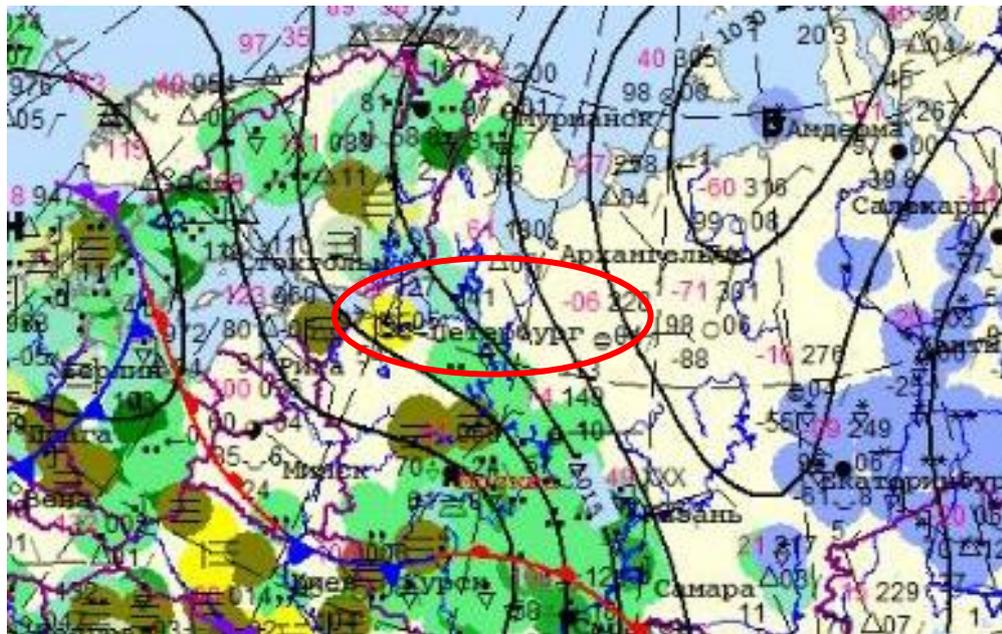


Рисунок 3.7.9 – Синоптическая ситуация за 28.09.2022 г. за 00 UTC

На рисунке 3.7.10 представлена синоптическая ситуация 14.03.2022 г., на которой заметно прохождение холодно фронта над аэродромом Пулковое. В этот день был зафиксирован фронтальный туман длительность которого составила 2 часа 10 минут.

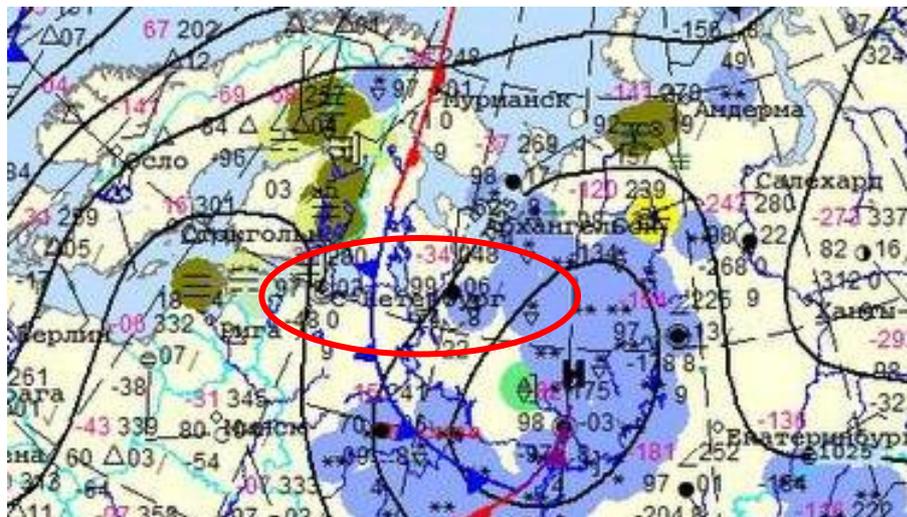


Рисунок 3.7.10 – Синоптическая ситуация за 14.03.2022 г. за 00 UTC

Прохождение теплового фронта отмечено на рисунке 3.7.11. Синоптическая ситуация, которая наблюдалась за 18.01.2021 г. стала причиной возникновения тумана фронтального типа.

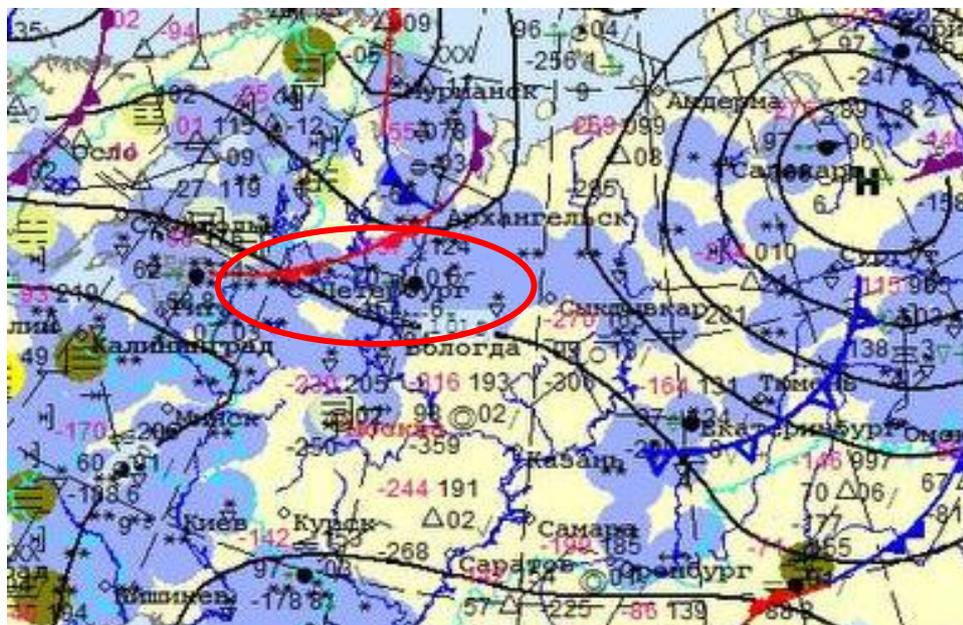


Рисунок 3.7.11 – Синоптическая ситуация за 18.01.2021 г. за 00 UTC

Рисунок под номером 3.7.12 показывает синоптическую ситуацию, которая наблюдалась 10.12.202 г. в районе аэродрома Пулково. В этот день было отмечено прохождение фронта окклюзии. За 4 часа было отмечено два случая фронтального тумана.

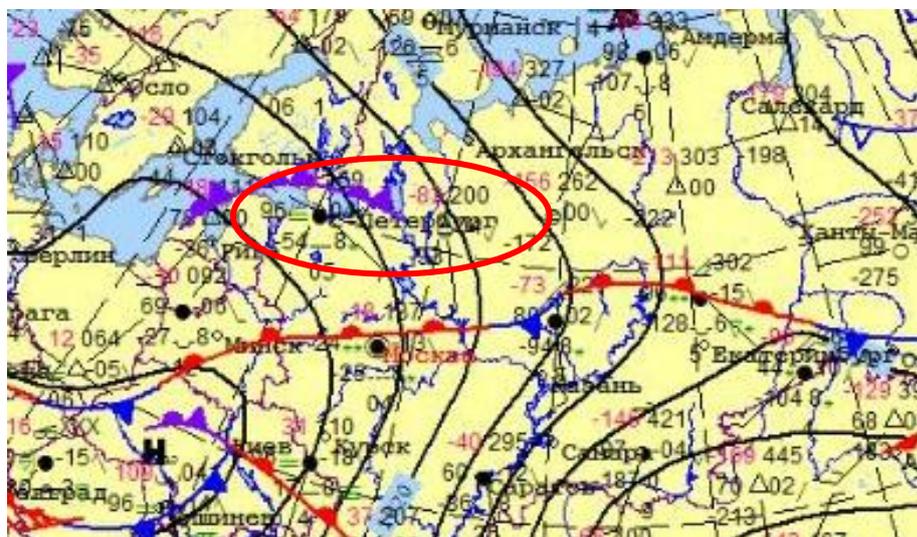


Рисунок 3.7.12 – Синоптическая ситуация за 10.12.202 г. за 12 UTC

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важно отметить, что все поставленные задачи при написании выпускной квалификационной работы были достигнуты и выполнены в полном объеме.

За исследуемый период с 2021 по 2022 гг. был проведен анализ синоптических и метеорологических условий возникновения туманов в районе аэродрома Пулково.

1. При анализе которых было выявлено 106 случаев образования туманов из которых: 64 – радиационных, 11 адвективных, 3 адвективно-радиационных и 28 фронтальных туманов.

2. Чаще всего туманы встречаются в период с августа по сентябрь (25 и 18 случаев соответственно)

3. Наиболее благоприятное время туманообразования: вечерние и утренние часы – с 0-6 часов и 18-34 часов, в период с 12-18 ч количество туманов наименьшее.

4. В районе аэродрома Пулково продолжительность туманов периодически составляет менее 1 часа.

5. Туманы умеренной интенсивности зачастую можно наблюдать на аэродроме и составляют 76 % от общего числа случаев.

6. Радиационные туманы наблюдаются регулярно, как и синоптические ситуации, соответствующие им, такие как: антициклон, барический гребень и малоградиентном поле повышенного давления. Для туманов адвективного характера характерен теплый сектор циклона. При прохождении атмосферных фронтов (холодный, теплый, фронт окклюзии) образуются фронтальные туманы.

7. Были рассмотрены основные методы прогнозирования туманов. В том числе проведена апробация методов радиационных туманов: графический и расчетный метод А.С.Зверева, метод Н.В.Петренко, метод Б.В.Кирюхина и метод Д.Н.Лаврищева. Метод Н.В.Петренко показал наилучший результат среди остальных методов с успешностью прогноза 100% при наличии тумана и 84%-

при отсутствии явления. Поэтому данный метод можно использовать в качестве основного для прогнозирования радиационных туманов на территории аэродрома Пулково. Остальные методы можно отнести к перестраховочным поскольку их успешность варьировалась от 28 до 41%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зверев.А.С. Синоптическая метеорология. Издание второе, переработанное и дополненное / А.С. Зверев – Л.: Гидрометеиздат, 1977. -711с
2. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник – СПб.: Изд.РГГМУ, 2009 – 339 с.
3. Богаткин О. Г., Топтунова О. Н., Волобуева О. В., Иванова И. А. Практикум по авиационной метеорологии: Учебное пособие. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2022. – 154 с.
4. Богаткин О. Г. Авиационные прогнозы погоды. — 2-е изд., стереотипное. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 288 с.: ил. — (Учебное пособие).
5. Астапенко П. Д., Баранов А. М., Шварев И. М. Авиационная метеорология. — М.: Транспорт, 1985. — 262 с.
6. Богаткин О. Г. Авиационная метеорология для летчиков. — СПб.: ООО"КРОМ", 2008. — 240 с.
7. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология / В.И. Воробьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1991, 612 с.
8. Руководство к лабораторным работам по синоптической метеорологии и атлас учебных синоптических материалов. Под ред.проф.В.И.Воробьева. Издание 2-е. перераб. и доп.- СПб.: Изд. РГГМУ, 2006 –304 с.
9. Данные синоптических ситуаций -
https://www1.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html
10. Архив АВ-6 - журнала фактической погоды АМЦ Пулково
11. Архив синоптических карт с сайта Гидрометцентра России