



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: «Анализ режима туманов в районе аэродрома Курумоч г.  
Самары»

Исполнитель Соболева Татьяна Владимировна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель доцент кафедры МКОА  
(ученая степень, ученое звание)  
Михайловский Юрий Павлович  
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»  
и. о. заведующий кафедрой

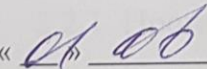
  
(подпись)

К. Г. Н., доцент

(ученая степень, ученое звание)

Абанников Виктор Николаевич

(фамилия, имя, отчество)

«  » 2021 г.

Санкт-Петербург  
2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Туман.....	11
1.1. Общие сведения о туманах.....	11
1.2. Физические условия образования туманов.....	14
1.2.1. Охлаждение воздуха.....	14
1.2.2. Испарение влаги.....	15
1.2.3. Роль турбулентного обмена.....	15
1.2.4. Влияние снежного покрова.....	16
1.3. Классификация тумана.....	16
1.3.1. Туман охлаждения.....	17
1.3.2. Туман испарения.....	19
1.3.3. Туман смешения.....	19
1.3.4. Туман вызванный деятельностью человека.....	20
1.3.5. Фронтальный туман.....	20
2. Методы прогнозов туманов.....	21
2.1. Прогноз радиационного тумана.....	21
2.1.1. Прогноз минимальной температуры воздуха.....	22
2.1.2. Прогноз по методу А.С. Зверева.....	25
2.1.3. Статистические методы прогноза радиационных и адвективно – радиационных туманов.....	31
2.2. Прогноз адвективного тумана.....	32
2.2.1. Прогноз по методу С.В. Некрасова и Н.В. Петренко.....	32
2.3. Прогноз фронтальных туманов.....	35
2.4. Прогноз туманов смешения.....	37
2.5. Прогноз туманов при сильных морозах.....	38
3. Анализ туманов в районе аэродрома Курумоч г. Самара.....	41
3.1. Физико – географическое описание области и района аэродрома.....	43
3.2. Общие сведения о климате района.....	47
3.3. Анализ туманов в районе аэродрома Курумоч г. Самара.....	48

Заключение.....	70
Список использованной литературы и источников.....	74

## ВВЕДЕНИЕ

По сравнению с метеорологическими явлениями - такими, как ураган, гроза, град, снег, ливень, - туман нельзя назвать грозной силой природы. Очень уж это простое и распространенное явление. И, тем не менее, туман оказывает существенное влияние на физические и химические явления, протекающие в природе, на работу транспорта, производственные процессы. Туман препятствует нормальной работе всех видов транспорта, поэтому прогноз тумана имеет большое народно-хозяйственное значение.

Учитывая зависимость авиации от погоды, для повышения безопасности полётов, вводятся ограничения в сложных метеорологических условиях к оборудованию самолёта, техническим возможностям посадочных систем, а также подготовленности лётного состава. Однако, обеспечение безопасности и регулярности полётов требует сокращения ограничений полётов по метеорологическим условиям. Современные самолёты и системы управления воздушным движением оборудованы новейшими радионавигационными оборудованием и приборами, позволяющим производить полёты в сложных метеорологических условиях.

Пространственное распределение видимости в подоблачном слое и низкая облачность составляют определяющие факторы метеорологических условий для влёта и посадки самолёта, а также возможности визуального полёта на малых высотах.

Туманы вызывают уменьшение горизонтальной видимости до пределов меньше установленных минимумов для взлёта и посадки воздушного судна. Сложность лётно-метеорологических условий в основном определяется дальностью видимости и облачностью. Туман относится к часто повторяющимся явлениям погоды, очень опасным для авиации. Большинство лётных происшествий случилось в условиях плохой видимости и низкой высоты нижней границы облаков во время посадки самолёта.

Взлёт и посадка, являются самыми важными этапами полёта. Взлёт производится визуально при соблюдении мер безопасности и при прямолинейности разбега. При тумане взлёт воздушного судна возможен в том случае, если он оборудован аппаратурой, которая позволяет просматривать взлётно-посадочную полосу при ограниченной видимости и даёт направить воздушное судно при взлёте строго вдоль взлётно-посадочной полосы.

Однако самое большое влияние ограниченной видимости и высоты нижней границы облаков оказывают на посадку воздушного судна. В сложных метеорологических условиях посадка воздушного судна требует высоких лётных навыков.

Статистические разработки, выполненные по материалам опасных явлений погоды за некоторый ряд лет, отражают общую картину и позволяют при составлении прогнозов для авиации увереннее ориентироваться. Учёт климатических условий является одним из важнейших резервов повышения безопасности и регулярности полётов.

Целью моей работы является анализ туманов в районе аэродрома Курумоч г. Самара. По данным ежечасных метеорологических наблюдений на метеостанции АМЦ Самара за 2010 – 2019 гг.

Мною выполнены следующие задачи:

- Выполнен анализ синоптических и метеорологических условий возникновения туманов разных типов
- Изучены основные методы прогноза туманов разных типов
- Проанализирован режим распределения туманов в районе аэродрома Курумоч г. Самара, а также исследован суточный и годовой ход туманов, их продолжительность, метеорологические условия их образования и распределение метеорологической дальности видимости в них.

Туманы разных типов, условия их образования и классификация рассмотрены в первой главе моей работы.

Туман это помутнение воздуха вызванное скоплением продуктов конденсации и сублимации (капель, кристаллов, или капель и кристаллов вместе), взвешенных в воздухе над поверхностью земли. Про туманы говорят, когда горизонтальная видимость (при достижении туманом наибольшей плотности) менее 1 км. При помутнении воздуха от 1 км и более явление называется дымкой.

Дымка представляет собой слабое помутнение воздуха у земной поверхности, вызванное рассеянием света на взвешенных мельчайших капельках воды или кристалликов льда. Воздух имеет голубовато - серый оттенок. При дымке изменения видимости не столь быстрые и метеорологическая дальность видимости более 1 км.

Вследствии двух основных процессов: испарения влаги с подстилающей поверхности или с капель дождя и охлаждения воздуха происходит конденсация водяного пара в пограничном слое атмосферы вызывающая образование низких облаков и тумана.

Также причиной образования тумана при сильных морозах является обогащение воздуха водяным паром при сгорании топлива в авиационных двигателях, котельных электростанций, печах. Также оказывает влияние на туманообразование наличие снежного покрова и турбулентный обмен.

Классификация туманов делится на: физические, синоптические и особенности местных условий. Затрудняет классификацию туманов разнообразие сложных совокупных одновременно действующих факторов, приводящих к их образованию.

Для прогноза по синоптическим условиям образования выделяют две группы: внутримассовые туманы (образуются в одной и той же массе воздуха), фронтальные туманы (связаны с прохождением фронта).

Для местных условий образования тумана выделяют городские, речные, долинные и горные туманы, морские и т.д.

Образование туманов по физическим причинам делят на туман испарения, охлаждения, смещения и туманы связанные с деятельностью человека.

Во второй главе изучены методы прогноза туманов разных типов: прогноз радиационного тумана по методу А. С. Зверева и по методу Н. В. Петренко, прогноз адвективного тумана по методу Н. В. Петренко и С. В. Некрасова, методу И.В. Кошеленко, Л. А. Ключниковой, прогноз фронтальных туманов, туманов испарения, смешения и морозных туманов.

Третья глава посвящена анализу режима туманов в районе аэродрома Курумоч города Самара по данным ежечасных наблюдений в период 2010-2019гг. Число наблюдений составило 87571 случай. За этот период наблюдалось 1923 случая тумана.

В ходе проведения анализа получены следующие результаты. Туман имеет выраженный суточный и годовой ход. Для холодного периода года с октября по март образование туманов происходит в любое время суток с максимальным повторением в утренние часы. Для тёплого периода года с апреле по сентябрь туманы наблюдаются в часы близкие к восходу солнца или отсутствует совсем. Больше всего туманов возникают ночью, наибольшая интенсивность которых достигается к утру (1-3 часам ВСВ, 5-7 часов местного времени).

Для района аэродрома наиболее характерные по синоптическим условиям образования три типа: радиационные, адвективные и фронтальные. Радиационный туман имеет большую повторяемость так как он более характерный для данного аэродрома. Для образования радиационных туманов самыми благоприятными синоптическими условиями являются северо-западная периферия и центральная часть антициклона, ось гребня, седловина. Этот туман имеет выраженный годовой ход. Самая большая

повторяемость в осенне- зимний период с максимальным количеством в октябре, а минимальным количеством в мае и июне. Как правило радиационные туманы развиваются ночью достигая максимума к утру, когда минимум температуры и максимум относительной влажности, и рассеивается после восхода солнца. Другие типы туманов усиливаются радиационными процессами, а значит повторяемость всех туманов максимальна ночью, и минимальна днём. Радиационные туманы в суточном ходе максимально повторяются в утренние часы 06 – 07 часов по местному времени. Зимой в утреннее время, реже в дневное и вечернее время за счёт поступления дополнительных ядер конденсации от работающих двигателей воздушных судов при взлёте и посадке, а также при рулении по взлетно – посадочной полосе, возникают кратковременные туманы, видимость в которых ухудшается до 100 м и менее. Такие туманы наблюдаются в декабре и январе при температуре воздуха ниже  $-15^{\circ}$  и относительной влажности 80-90%.

Адвективный туман имеет меньшую повторяемость для района аэродрома. Такой туман имеет максимум в утренние часы и образуется в любое время суток. В теплое время года данный вид тумана практически не образуется. Самыми наилучшими синоптическими условиями для его образования является в холодной период адвекция тёплого влажного воздуха с запада и юго-запада на холодную подстилающую поверхность, это характерно для тёплого сектора циклона. Максимальное количество адвективные туманов наблюдалось в ноябре.

Очень редко в районе аэродрома отмечаются фронтальные туманы. Они образуются как правило в холодное время года в любое время суток. Наиболее благоприятными синоптическими условиями для их образования является сравнительно узкая зона перед медленно движущимся тёплым фронтом, а также перед фронтом окклюзии по типу тёплого фронта, ну и за мало подвижным холодным фронтом. Максимальное количество фронтальных туманов наблюдалось в марте.



Максимальная повторяемость туманов имеет продолжительность 1 час и менее. Повторяемость туманов уменьшается по мере увеличения продолжительности. За десять лет наблюдений туман продолжительностью более 25 часов был только один раз. Самыми продолжительными туманами за десятилетние наблюдения были в октябре 2017 года (20 часов), и ноябре 2019 года (31 час). Максимум числа периодов тумана разной продолжительности был в марте (9,2%), максимум общей продолжительности отмечался в ноябре (32,0%), среднегодовая продолжительность составила (3,0%).

Больше всего повторялись туманы при температуре воздуха от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $0^{\circ}\text{C}$ , а дефицит точки росы был менее  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Образование туманов уменьшалось, когда дефицит точки росы увеличивался. В холодное время года да при температуре воздуха  $-15,0^{\circ}\text{C}$  и ниже туман образуется при значении дефицита точки росы от  $1,3^{\circ}\text{C}$  до  $2,0^{\circ}\text{C}$  и больше, это больше подходит для радиационного тумана. При большом дефиците точки росы в тёплое время года туман не образуется.

Для образования тумана в любое время года характерны слабые ветры, скорость которых составляет от 0-3 м/с. При ветре с севера и северо-запада туманы имеют наименьшую повторяемость. Максимальное количество образования туманов (23,5%) наблюдается при южном ветре. В холодную половину года при южном направлении ветра со скоростью 7 м/с и более повторяемость туманообразований составила 4, 6%. Данные условия более характерны для адвективных и фронтальных туманов.

Туманы с видимостью менее 200 м имеют большую повторяемость (31,3%), а с видимостью 800 м и более имеют наименьшую повторяемость (17,1%). Максимальная повторяемость тумана с видимостью менее 200 м наблюдается в 2-3 часа ВСВ (6-7 часов по местному времени) и составляет 3,4%. Одним из важнейших резервов повышения безопасности полёта является правильный учёт климатических условий. В повседневной

прогностической работе синоптиками, диспетчерским и лётным составом при управлении и планировании воздушным движением используются анализ факторов, влияющих на образование тумана, а также данные о повторяемости и непрерывной их продолжительности.

При метеорологическом обеспечении полетов воздушных судов и их планировании учитываются климатические условия. В климатической характеристике составленный для каждого аэропорта имеются сведения о явлениях и метеорологических величинах которые оказывают воздействия на работу авиации. На этих данных определяются часы времени суток или период времени года с определёнными неблагоприятными или благоприятными условиями для взлета или посадки воздушного судна, планируется применение аэродромной техники и рассчитывается объём загрузки. Правильное использование климатических материалов дает возможность повысить безопасность полетов.

Для написания этой дипломной работы было использовано 13 источников литературы.

## 1. ГЛАВА 1. ТУМАН КАК МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ

Туман - это помутнение воздуха вызванное скопление продуктов конденсации (капель или кристаллов, или тех и других вместе), взвешенных в воздухе непосредственно над поверхностью земли. О туманах говорят, когда горизонтальная видимость (по достижении туманом наибольшей плотности) мини 1 км. В противном случае помутнение называется дымкой. Туман делят на внутримассовые и фронтальные, на туманы охлаждения и испарения. Наиболее важны внутримассовые туманы охлаждения: адвективные и радиационные [12].

### 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТУМАНАХ

Туман и дымка это результат конденсации водяного пара около земной поверхности. Туманом является совокупностью взвешенных в воздухе капель воды или кристаллов льда, которые ухудшают метеорологическую дальность видимости до значений меньше 1 км. Если видимость от 1 до 10 км это называется дымкой.

В атмосфере наблюдаются:

- а) капельно-жидкие туманы, состоящие из капелек воды;
- б) кристаллические или ледяные туманы, состоящие из кристаллов льда;
- в) смешанные туманы, состоящие из капель воды и кристаллов льда.

Кристаллические и смешанные туманы наблюдаются только при отрицательных температурах, а капельно-жидкие – при положительных и отрицательных.

Видимость в тумане зависит от размеров капель или кристаллов и от водности тумана. Водностью тумана является количество жидкой или твёрдой воды, которая содержится в 1 м<sup>3</sup> воздуха. На водность тумана оказывает влияние температура воздуха. При положительных температурах

водность значительно больше, чем при отрицательных значениях. В таблице 1.1 представлены данные о водности туманов различной интенсивности.

Исходя из таблицы 1.1 водность тумана  $\delta^*$  возрастает с увеличением его интенсивности. Максимальное значение водности тумана при одной и той же интенсивности наблюдаются при изменении температуры воздуха от положительной к отрицательной.

ТАБЛИЦА 1.1 – Водность туманов  $\delta^*$  (г/м<sup>3</sup>) различной интенсивности при положительной и отрицательной температуре

Вид тумана	T, °C	Туман слабой интенсивности	Туман умеренной интенсивности	Туман сильной интенсивности
Адвективный	> 0	0.02 – 0.09	0.04 – 0.18	0.10 – 0.76
Испарения	< 0	0.02 – 0.04	0.05 – 0.11	0.08 – 0.37

Различают:

- слабый туман (видимость 500 - 1000 м),
- умеренный туман (видимость 200 - 500 м),
- сильный туман (видимость 50 - 200 м),
- очень сильный туман (видимость менее 50 м).

К самым опасным метеорологическим явлениям погоды относят туман с видимостью 100 м и менее. При такой видимости прекращается движение всех видов транспорта [1].

Туманы имеют хорошо выраженный годовой и суточный ход. Особенно явно выражен суточный ход у радиационных туманов: они развиваются ночью, достигают максимальную интенсивность к утру (во время минимума температуры и максимума относительной влажности) и рассеиваются после восхода солнца. Туманы других типов усиливаются

радиационными процессами. Поэтому и общая повторяемость туманов имеет максимум ночью, а минимум – днём (вблизи максимума температуры). В годовом ходе в умеренных широтах наблюдается два максимума повторяемости туманов: осенью и весной. При этом над континентами туманы образуются чаще всего осенью, а над морями и океанами – весной, когда водная поверхность наиболее холодная.

Относительная влажность воздуха в туманах обычно близкая к 100 %. Но в сильные морозы ( $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  и ниже) в населённых пунктах, на аэродромах и железнодорожных станциях туманы наблюдаются при любой относительной влажности воздуха (даже менее 50 %) — из-за конденсации водяного пара, который образуется при сгорании топлива (в двигателях, печах и т. п.) и выбрасываемого в атмосферу через выхлопные трубы и дымоходы.

Непрерывная продолжительность туманов составляет обычно от нескольких часов (а иногда менее часа) до нескольких суток, особенно в холодный период года.

На метеостанциях отмечают виды тумана:

- а) поземный туман — это туман который низко стелется над земной поверхностью сплошным и тонким слоем, а также может быть в виде отдельных клочьев, в таком слое тумана горизонтальная видимость достигает меньше 1000 м, а на высоте 2 м — горизонтальная видимость больше 1000 м.
- б) просвечивающий туман — это туман при котором горизонтальная видимость на уровне 2 м меньше 1000 м, он слабо развит по вертикали, и можно определить состояние неба (количество и форму облаков). Просвечивающий туман чаще наблюдается вечером, ночью и утром, но может наблюдаться и днём.

в) сплошной туман — туман с горизонтальной видимостью меньше 1000 м, при таком тумане невозможно определить состояние

неба (количество и форму облаков). Чаще наблюдается вечером, ночью и утром, но может наблюдаться и днём. [2].

## 1.2 ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ТУМАНОВ

Конденсация водяного пара в пограничном слое атмосферы вызывает образование низких облаков и тумана, это происходит по причине таких процессов как: охлаждение воздуха и испарение влаги с подстилающей поверхности.

При сильных морозах туман образуется при обогащении воздуха водяным паром при сгорании топлива в печах, котельных, в авиационных двигателях. Также имеет влияние на образование тумана турбулентный обмен и наличие снежного покрова. Рассмотрим подробнее эти процессы.

### 1.2.1 ОХЛАЖДЕНИЕ ВОЗДУХА

В образовании тумана большую роль играет охлаждение нижних слоёв воздуха до состояния насыщения водяным паром и понижение температуры воздуха ниже начального значения точки росы. Это вызвано следующими процессами:

- 1) трансформационная потеря тепла при смещении воздушной массы на более холодную подстилающую поверхность (адвективное охлаждение);
- 2) потеря тепла вследствие излучения деятельной поверхности (радиационное охлаждение);
- 3) адиабатическое расширение воздуха при вынужденном подъёме по наветренным склонам и возвышенностей гор (адиабатическое охлаждение);

## 1.2.2 ИСПАРЕНИЕ ВЛАГИ

Испарение с поверхности воды и капель дождя в более холодный воздух вызывает его перенасыщение водяным паром и образуется туман или низкие разорванно-слоистые облака.

При отсутствии ядер конденсации воздух оказывается перенасыщенным водяным паром. При наличии ядер начинается конденсация водяного пара, которая приводит к образованию тумана испарения.

Туман может образоваться под влиянием испарения с поверхности тёплой воды в относительно холодный воздух. Такие условия наблюдаются при движении холодной воздушной массы над более тёплой водной поверхностью.[1].

## 1.2.3 РОЛЬ ТУРБУЛЕНТНОГО ОБМЕНА

Турбулентные вихри переносят тепло, водяной пар, мелкие капли, вызывая изменения вертикального распределения температуры, влажности и ветра.

Под влиянием турбулентного перемешивания увеличивается влагосодержание и понижается температура, это является причиной образования тумана.

Физическое образование туманов под влиянием турбулентного перемешивания состоит в следующем: при смешивании двух объёмов воздуха с разной температурой, температура тёплого воздуха понижается. Избыток водяного пара в тёплом воздухе при этом конденсируется. Далее капли воды распространяются на весь объём. Так как в холодном воздухе температура повышается, то в нём возникает недостаток насыщения, из-за этого часть капель испаряется, а оставшиеся капли образуют туман. [1].

#### 1.2.4 ВЛИЯНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Самые благоприятные условия для образования тумана над снежным покровом создаются при температуре около 0 °С благодаря незначительной разности насыщенного водяного пара над водой и льдом и значительному охлаждению тёплого воздуха. При температуре выше 0°С вода испаряется с поверхности тающего снега, обогащая нижний слой воздуха водяным паром. Такое испарение способствует формированию тумана.

Для поддержания насыщения паром воздуха над снежным покровом должна быть достаточно сильная адвекция более тёплого и влажного воздуха, чтобы компенсировать перенос водяного пара к снежному покрову. Образовавшиеся в таких условиях туманы удерживаются до тех пор, пока сохраняется адвекция тёплого влажного воздуха и его охлаждение над снежным покровом. Когда температура воздуха становится ниже 0 °С, влияние понижения водяного пара из-за иссушающего действия снежного покрова становится значительным и туман рассеивается.

При температуре ниже -16 °С наблюдается туман, состоящий из смеси водяных капель и ледяных кристаллов. Такой туман подвержен рассеянию вследствие сублимации водяного пара с испаряющихся капель, как на ледяные кристаллы, так и на снежный покров.

При температуре ниже -40°С туман состоит из ледяных кристаллов. Поэтому он не подвержен иссушающему воздействию снежного покрова и может существовать продолжительное время.

Этот основной процесс и следует выявить в первую очередь, а затем оценить дополнительное влияние других факторов.

#### 1.3 КЛАССИФИКАЦИЯ ТУМАНА

Классификация тумана делится на физические, синоптические и особенности местных условий.



По синоптическим условиям образования, существенным для прогноза, выделяют две характерные группы: туманы внутримассовые, т.е. образующиеся внутри одной и той же массы воздуха, и туманы фронтальные, связанные с прохождением фронта.

По местным условиям образования выделяют горные и долинные туманы, морские, речные, городские и т. д.

По физическим причинам образование туманов можно разделить на: туманы охлаждения, туманы испарения, туманы смешения и туманы, связанные с деятельностью человека. [3]

### 1.3.1 ТУМАН ОХЛАЖДЕНИЯ

Туманы охлаждения образуются в результате понижения температуры воздуха, прилегающего к земной поверхности, ниже точки росы. Это может произойти в результате: а) радиационного излучения, б) натекания тёплого воздуха на более холодную поверхность, в) подъёма воздуха по склону холма или горы. В соответствии с этим туманы охлаждения делят на радиационные, адвективные, адвективно-радиационные и орографические (туманы склонов).

Радиационные туманы образуются в результате охлаждения земной поверхности и прилегающего слоя воздуха под влиянием излучения и турбулентного перемешивания. Образованию радиационных туманов благоприятствуют следующие условия:

1. Достаточная относительная влажность. Если пар, содержащийся в воздухе, далёк от насыщения, то даже при значительном охлаждении туман не образуется.
2. Ясная или малооблачная погода. При этом наблюдается большее эффективное излучение, и создаются благоприятные условия для охлаждения почвы и прилегающего к ней слоя атмосферы.

3. Слабый ветер. При ветре 1 – 2 м/с, незначительная турбулентность способствует охлаждению воздуха от деятельной поверхности. Сильный же ветер увеличивает турбулентность и этим препятствует охлаждению нижнего слоя атмосферы, поэтому при сильном ветре радиационные туманы, как правило, не образуются.

Адвективные туманы образуются при движении тёплого воздуха над холодной деятельной поверхностью. Они простираются до высоты нескольких сотен метров и охватывают большие пространства. Причины возникновения адвективных туманов:

- 1) Перемещение тропического воздуха в более высокие широты. Этот вид тумана наблюдается преимущественно в холодное время года, плотность их у земной поверхности не очень велика, но увеличивается с высотой.

- 2) Перемещение тёплого континентального воздуха на более холодную поверхность моря. Такие туманы наблюдаются над морями летом. При изменении направления ветра они могут переместиться на побережье.

- 3) Перемещение тёплого морского воздуха на более холодную поверхность континента. Эти туманы называют приморскими.

- 4) Перемещение воздуха с тёплой поверхности на холодную. Такие туманы образуются в местах встречи холодных и тёплых морских течений. Называются они морскими. Морские туманы могут возникать в течение всего года.

Адвективные туманы образуются в любое время суток и могут существовать при значительных скоростях ветра, даже при штормовых [4].

Адвективно-радиационный туман это туман в образовании которого участвуют как адвективные, так и радиационные факторы. Адвективно-радиационный туман образуется над сушей преимущественно в холодное время года, как правило, ночью при слабой адвекции тёплого воздуха на западной или северной периферии антициклона.

Орографический туман образуется на наветренных склонах гор и высоких возвышенностях, в их верхней части, если адиабатически расширяющийся воздух настолько охлаждается, что становится насыщенным.[5].

### 1.3.2 ТУМАН ИСПАРЕНИЯ

Туман испарения наблюдается когда, когда температура поверхности воды выше температуры прилегающего воздуха. Туманы испарения образуются в осеннее время над реками и озёрами. В холодное время года они возникают над незамерзающими заливами морей, а также полыньями среди льдов.

Туман испарения над болотами, реками и небольшими озёрами при слабых морозах редко бывает интенсивным и обычно располагается низко, в слое менее 2 м. Над влажной почвой туман испарения возникает только в дневные часы, когда температура поверхности выше температуры воздуха.

Ночью, когда почва вследствие радиационного излучения охлаждается, туман испарения исчезает, но может образоваться радиационный туман.

### 1.3.3 ТУМАН СМЕШЕНИЯ

Туманы смешения образуются при перемешивании двух воздушных масс, которые имеют разную температуру и содержащих водяной пар, близкий к состоянию насыщения. Такие туманы образуются на берегах морей и озёр при большом контрасте температур над сушей и над водной поверхностью и при слабом ветре.

### 1.3.4 ТУМАН, ВЫЗВАННЫЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ЧЕЛОВЕКА

К туманам, вызванным деятельностью человека, относятся городские и печные, аэродромные туманы, а также специально создаваемые искусственные туманы для борьбы с заморозками.

Печные, аэродромные туманы возникают при сильных морозах, если появляется дополнительный источник водяного пара (топка печей, работа двигателей самолёта и т.д.). [4]

### 1.3.5 ФРОНТАЛЬНЫЙ ТУМАН

Фронтальные туманы делятся на следующие виды:

- 1) туманы перед фронтом;
- 2) туманы при прохождении фронта;
- 3) туманы непосредственно за линией фронта.

Эти туманы перемещаются вместе с линией фронта. Основными причинами образования фронтальных туманов служат: адвекция тёплого воздуха (туман за тёплым фронтом), горизонтальное перемешивание, а также увлажнение воздуха под влиянием испарения (с земной поверхности и капель дождя, выпадающих из облаков).

Фронтальный туман часто наблюдается зимой в сравнительно узкой зоне перед медленно движущимся тёплым фронтом и тёплым фронтом окклюзии в холодном воздухе, насыщенном водяным паром вследствие испарения более тёплых капель дождя и мороси. [5]

## ГЛАВА 2 МЕТОДЫ ПРОГНОЗОВ ТУМАНОВ

Туманом это конденсация водяного пара в нижнем слое атмосферы при котором горизонтальная видимость меньше 1000 м. По синоптическим условиям образования туманы делят на внутримассовые и фронтальные. Если классифицировать туманы по физическим причинам образования, то различают туманы охлаждения (радиационные, адвективные, радиационно-адвективные и орографические), туманы испарения, туманы смешения и туманы, вызванные деятельностью человека (городские). Для разных типов туманов существуют различные методы прогноза. Рассмотрим основные из этих методов.

### 2.1 ПРОГНОЗ РАДИАЦИОННОГО ТУМАНА

Основная причина образования радиационного тумана это ночное понижение температуры воздуха в приземном слое ниже начального значения точки росы. Чаще всего радиационные туманы образуются в антициклонах, гребнях, отрогах, барических седловинах, малоградиентных полях пониженного давления.

Самыми благоприятными условиями для образования радиационных туманов являются:

- 1) ясная погода или небольшая облачность ночью;
- 2) слабый ветер (не более 3 – 4 м/с);
- 3) малый начальный дефицит точки росы, большая относительная влажность вечером (более 60 %), увлажнение воздуха вечером в связи с выпадением дождя;
- 4) сухая поверхность почвы (малая теплопроводность, в связи с чем, поток тепла из глубины почвы к поверхности мал);

- 5) инверсионное распределение температуры при малом дефиците точки росы в слое до 50 – 300 м от поверхности земли. [6]

При прогнозе радиационного тумана в идеальном случае необходимо ответить на вопросы:

- а) будет ли туман и когда он возникнет;
- б) какая минимальная видимость ожидается в тумане;
- в) какая будет вертикальная протяжённость слоя тумана;
- г) какова будет горизонтальная протяжённость тумана;
- д) когда туман рассеется.

Чтобы выяснить, будет ли туман, необходимо определить температуру начала образования тумана ( $T_T$ ) в данной воздушной массе и предсказать минимальную температуру воздуха в приземном слое ( $T_{\text{мин}}$ ). При значениях температуры туманообразования  $T_T > T_{\text{мин}}$  туман возможен, при  $T_T < T_{\text{мин}}$  туман мало вероятен. Туман предсказывается, когда имеются перечисленные выше благоприятные условия для его образования или когда туман уже наблюдается в данной воздушной массе.

### 2.1.1 ПРОГНОЗ МИНИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Минимальная температура воздуха ночью (утром) зависит от многих факторов. К этим факторам относятся:

- 1) влажность воздуха, наличие или отсутствие облачности;
- 2) скорость ветра, её изменение с высотой и стратификация атмосферы в пограничном слое;
- 3) состояние поверхности почвы (сухая, мокрая, снежный покров), структура почвы и изменение температуры почвы с глубиной;
- 4) конденсация водяного пара (туман, выпадение росы или инея) или испарение влаги с поверхности почвы и нагревание или охлаждение приземного слоя воздуха;

## 5) рельеф местности

Для прогноза минимальной температуры воздуха на практике может использоваться целый ряд методов.

Теоретические способы расчёта минимальной температуры были предложены многими авторами, но в нашей стране применяется метод, разработанный М. Е. Берляндом, который получил формулы

$$T(t) = \bar{T} + A \cos \omega (t - t_{\text{макс}}), \quad (2.1)$$

$$q(t) = \bar{q} + \alpha_1 \cos \omega (t - t_{\text{макс}}) + \alpha_2 \cos 2\omega (t - t_{\text{макс}}), \quad (2.2)$$

где  $\bar{T} = 1/5 (2T_0 + T_{13} + T_7 + T_1)$  – температура, полученная путём осреднения удвоенной температуры воздуха за исходный срок 19 часов ( $T_0 = T_{19}$ ) и температуры воздуха за предшествующие сроки 13, 7 и 1 час по местному времени; если за исходный срок принять 13 часов ( $T_0 = T_{13}$ ), то  $\bar{T} = 1/5 (2T_0 + T_7 + T_1 + T_{19})$ , причём  $T_{19}$  – температура в 19 часов предшествующих суток;  $\bar{q}$  – среднее значение удельной влажности (или абсолютной влажности  $\bar{e}$ ), полученное аналогичным образом;  $A$  – амплитуда суточного хода температуры за предшествующие сутки;  $t_{\text{макс}}$  – время наступления максимума температуры или главного максимума удельной влажности.

Две гармоники в формуле (2.2) учитывают наличие двух максимумов удельной влажности.

При дальнейшем совершенствовании метода были учтены эмпирические данные о влиянии облачности и ветра. Для оперативных целей построены две номограммы – для прогноза минимальной температуры воздуха  $T_{\text{мин}}$  (в метеорологической будке на высоте 2 м) и минимальной температуры на поверхности почвы  $\Theta_{\text{мин}}$ .

На рисунках 2.1 и 2.2, приведённых ниже, приведены схемы номограмм Берлянда для вычисления  $T_{\text{мин}}$  и  $\Theta_{\text{мин}}$ .

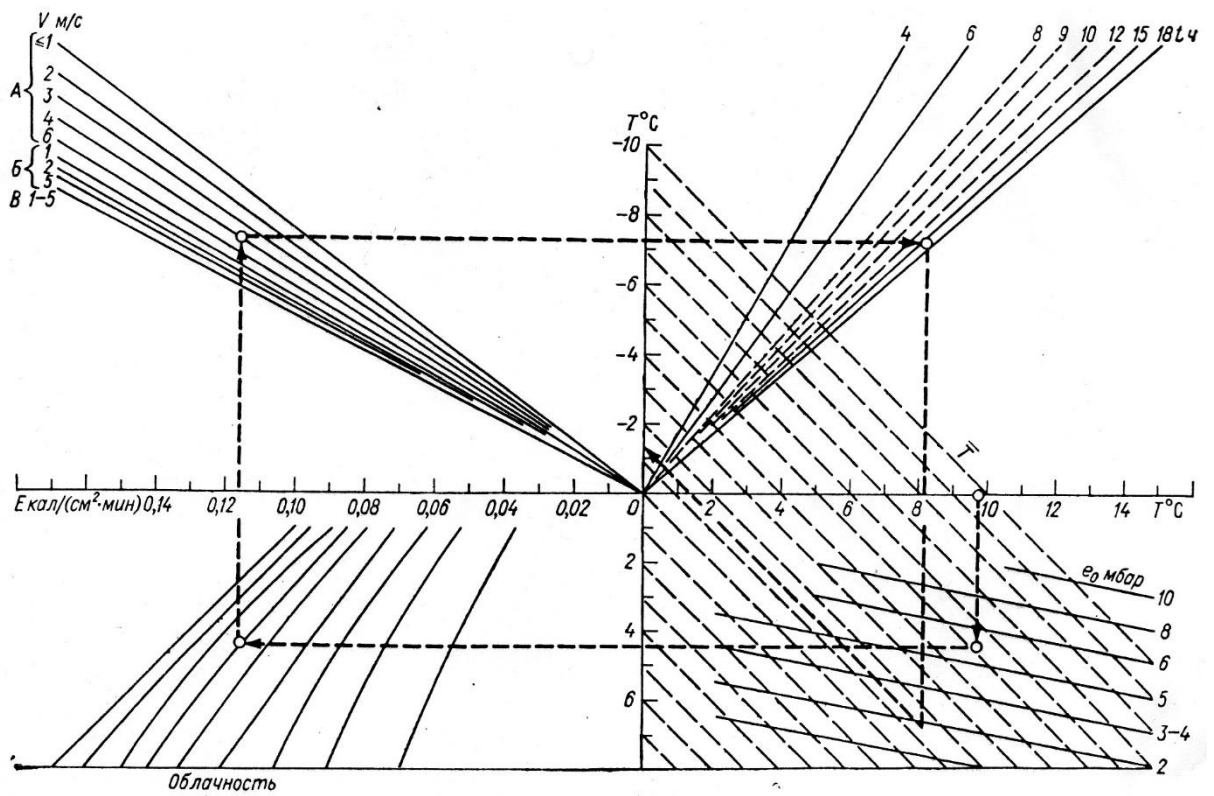


РИСУНОК 2.1 – Номограмма для вычисления  $T_{\text{мин}}$

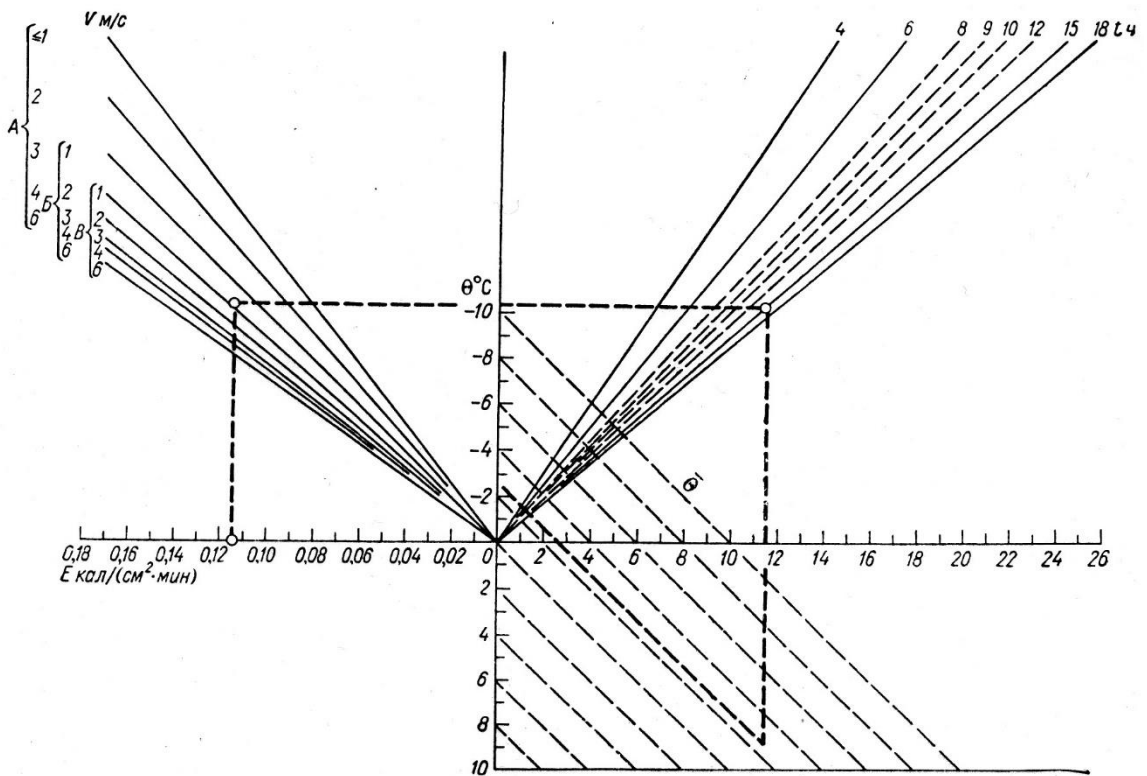


РИСУНОК 2.2 – Номограмма для определения  $\Theta_{\text{мин}}$



## 2.1.2 ПРОГНОЗ ПО МЕТОДУ А. С. ЗВЕРЕВА

Прогноз радиационного тумана по методу А. С. Зверева делается в следующей последовательности:

- 1) По прогностическим картам погоды оценивается возможность возникновения радиационного тумана.
- 2) Определяют температуру туманообразования  $T_T$ . Прогноз  $T_T$  осуществляется по начальному значению точки росы  $T_d$ , исправленному на возможное понижение точки росы  $\delta T_d$  до начала образования тумана и на добавочное охлаждение  $\delta T_T'$ , необходимое для образования тумана такой водности, чтобы видимость была менее 1 км, т.е. необходимо найти

$$T_T = T_d - \delta T_T - \delta T_T', \quad (2.3)$$

При положительных температурах, когда удельная влажность насыщения велика, для образования тумана достаточно охлаждения воздуха  $\delta T_T'$  на десятые доли градуса ниже значения  $T_d$  в момент насыщения.

При отрицательных температурах в связи с уменьшением насыщающей удельной влажности  $\delta T_T'$  возрастает, достигая при температуре  $-30^\circ\text{C}$  величины около  $3^\circ\text{C}$ , а при температуре  $-50^\circ\text{C}$  величины около  $6^\circ\text{C}$ .

$$\delta T_T = \delta T_d + \delta T_T', \quad (2.4)$$

путём сопоставления величин  $T_d$  в исходный срок наблюдения и в момент тумана. По наблюдениям в ряде пунктов в 18 часов получена зависимость, отображённая в таблице 2.1.

ТАБЛИЦА 2.1 – Зависимость значений  $\delta T_T$  от величины  $T_d$

$T_d, ^\circ\text{C}$	0	-1 – (-30)	< (-30)
-----------------------	---	------------	---------

$\delta T_T, ^\circ\text{C}$	1 – 2	1.5 – 3	3 – 5
------------------------------	-------	---------	-------

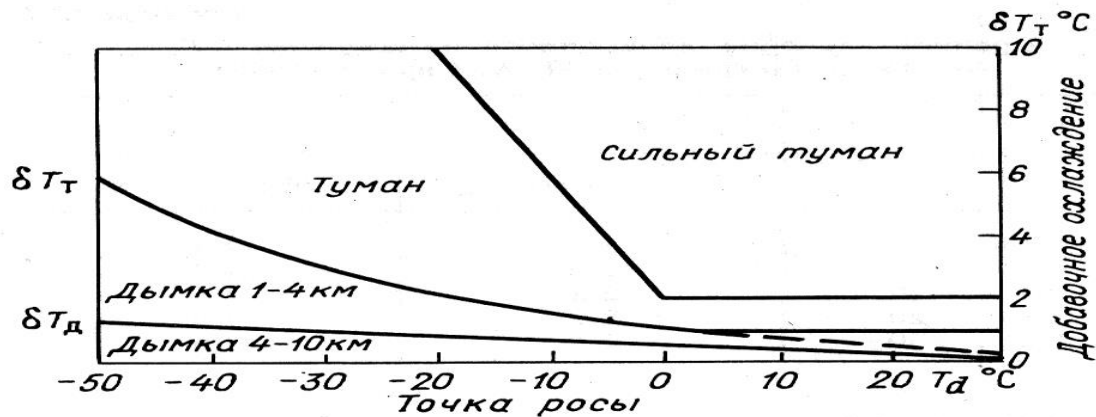


РИСУНОК 2.3 – График для вычисления температуры образования тумана

На рисунке 2.3 приведён обобщённый график А. С. Зверева для определения  $\delta T_T$  в умеренных широтах по значению  $T_d$  в 18 часов.

На этом рисунке от значения точки росы поднимаются по вертикали вверх до пересечения с демаркационной кривой  $\delta T_T$  затем, перемещаясь по горизонтали вправо, на вертикальной оси отсчитывают добавочное охлаждение. Перед практическим применением подобных графиков целесообразно их предварительно уточнить по данным местных наблюдений для различных исходных сроков.

Температуру туманообразования  $T_T$  вычисляем по формуле:

$$T_T = T_d - \delta T_T, \quad (2.5)$$

где  $T_d$  – температура точки росы в вечерний срок наблюдений, близкий к заходу солнца (обычно 18 часов по местному времени) в пункте прогноза;  $\delta T_T$  добавочное охлаждение, необходимое для образования тумана.

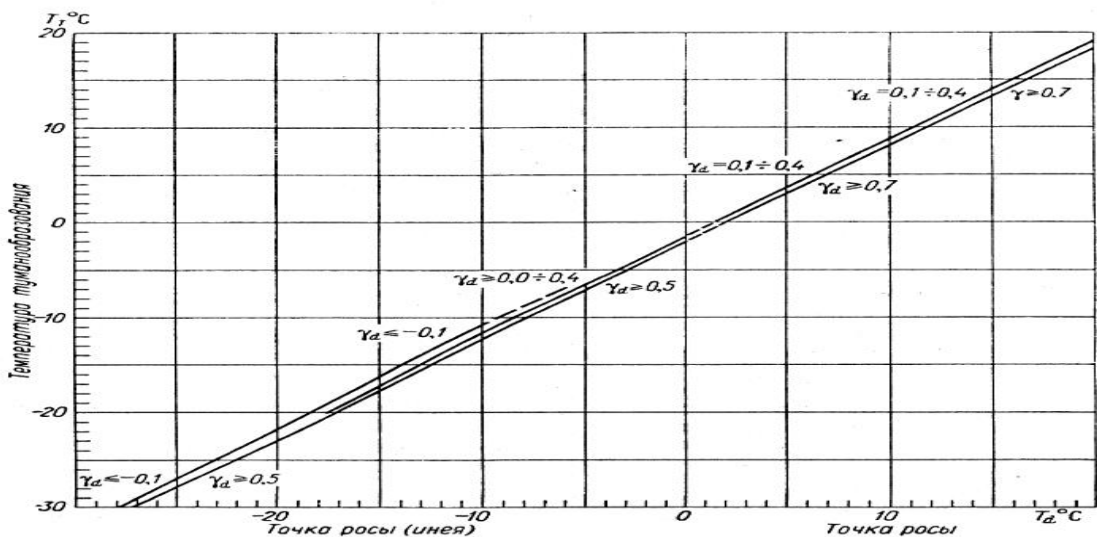


РИСУНОК 2.4 – График для определения температуры образования тумана  $T_T$  с учётом вертикального градиента точки росы

На рисунке 2.4 приведён уточнённый график Н. В. Петренко для определения  $T_T$  с учётом  $\gamma_d$  – вертикального градиента  $T_d$  в слое 0 – 300 м. В большинстве случаев величина уточнения не выходит за пределы 1 °С. Поскольку ночное понижение температуры зависит от  $(T - T_d)$ , можно построить график для прогноза вероятности тумана при ясной тихой погоде по значениям  $T$  и  $(T - T_d)$ .

- 3) Рассчитывают минимальную температуру воздуха у поверхности земли по формуле

$$T_{\text{мин}} = T_0 - m\Delta T, \quad (2.6)$$

где  $T_0$  – температура воздуха в вечерний срок наблюдений (18 ч);  $\Delta T$  – ожидаемое охлаждение воздуха при ясном небе;  $m$  – поправка на облачность.

- 4) Определяют возможность образования тумана: при  $T_{\text{мин}} \leq T_T$  следует ожидать туман (сильный туман), при  $T_{\text{мин}} > T_T$  туман не ожидается.
- 5) Предсказывают время образования тумана путём экстраполяции ночного понижения температуры. Момент времени, когда

экстраполируемое значение  $T = T_t$ , и будет соответствовать началу образования тумана.

Для этой цели служит график Зверева, изображённый на рисунке 2.5.

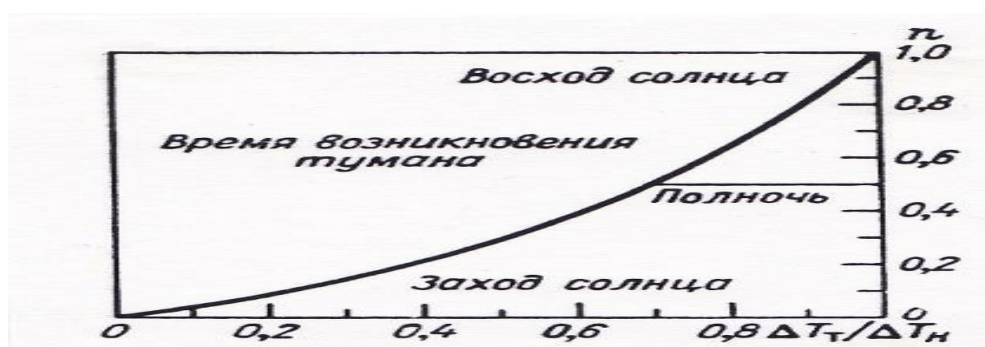


РИСУНОК 2.5 – График для прогноза времени образования тумана

На горизонтальной шкале графика отложено значению величины  $\Delta T_t / \Delta T_n$ , где  $\Delta T_t = (T - T_t)$  – ожидаемое понижение температуры от исходного срока до образования тумана, а  $\Delta T_n = (T - T_{\text{мин}})$  – ожидаемое понижение температуры от исходного срока до наступления ночного минимума температуры солнца. На вертикальной шкале отложена доля ночи  $n$  в момент образования тумана (при заходе солнца  $n = 0$ , в полночь  $n = 0.5$ , при восходе солнца  $n = 1$ ). Чем меньше значение  $\Delta T_t / \Delta T_n$ , тем ближе ко времени захода солнца возможно образование тумана. При  $\Delta T_t / \Delta T_n = 1$  туман может образоваться лишь во время, близкое к восходу солнца.

На станции АМЦ Самара рассчитаны поправки, представленные в таблицах 2.2 и 2.3.

ТАБЛИЦА 2.2 – Поправка для вычисления  $T_{\text{мин}}$

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Поправка	-2.5	-3.2	-2.6	-2.4	-2.9	-0.7	0	-0.8	-2.7	-1.7	-2.0	-2.2

ТАБЛИЦА 2.3 – Поправка для вычисления  $\delta T_t$

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Поправка	-1.4	-0.8	-0.1	-0.7	+0.3	+0.7	0	0	-1.1	+0.1	-0.4	-3.2

Применение поправок значительно улучшает качество прогнозов.

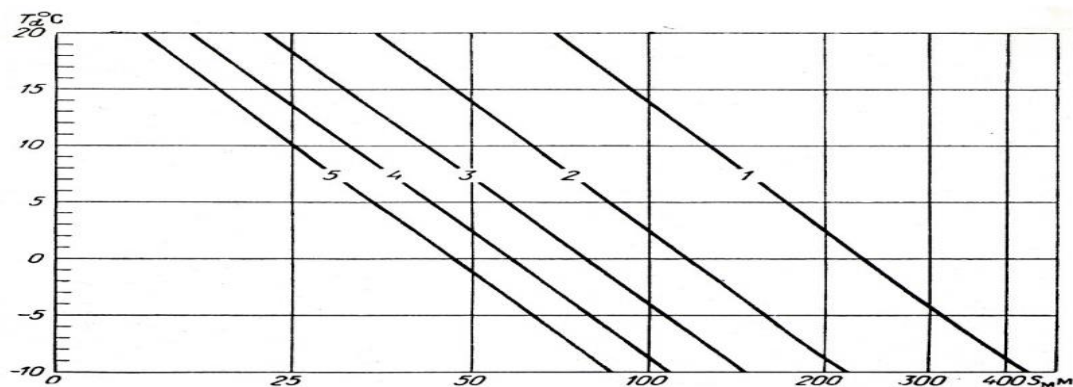


РИСУНОК 2.6 – Диаграмма для определения минимальной видимости в тумане  $S_M$  по значениям  $T_d$  и  $\delta T_d$  (наклонные прямые)

Диаграмма на рисунке 2.6 позволяет предсказать минимальную видимость в тумане по значению  $T_d$  в 18 – 19 часов и ожидаемому изменению точки росы до наступления  $T_{\text{мин}}$ .

Летом преобладают поземные, низкие и средние туманы, а зимой – высокие туманы [2].

Прогноз времени рассеяния радиационного тумана даётся с учётом известной или предполагаемой его вертикальной и горизонтальной протяжённости, а также широты места и сезона.

Радиационные туманы практически всегда рассеиваются после восхода солнца. Эта задача решается графически. Пример определения времени рассеяния тумана приведён на рисунке 2.7.



РИСУНОК 2.7 – Графический метод прогноза рассеяния туманов

Летом радиационные туманы рассеиваются через 1 – 2 часа после восхода солнца при безоблачной погоде и через 2 – 3 часа при наличии облачности. Осенью продолжительность туманов больше, а зимой при наличии мощного слоя инверсии туман может сохраняться в течение суток и больше. При усилении ветра, появлении облачности, адвекции температуры и выпадении осадков тумана разрушается в любое время суток.

Температуру рассеяния тумана  $T_p$  можно определить по графику, приведённому на рисунке 2.8.

Значения  $T_p$  находят по температуре туманообразования  $T_T$ .

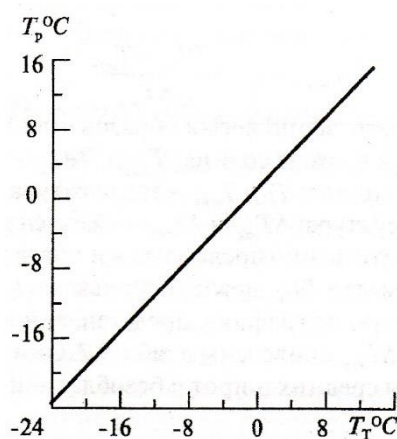


РИСУНОК 2.8 – График определения  $T_p$  по  $T_T$

Определив по рисунку 2.8 температуру рассеяния тумана, следует воспользоваться графиком, аналогичным тому, который представлен на рисунке 2.7. Разница будет только в том, что горизонтальная изотерма будет проходить не на уровне температуры точки росы в момент захода солнца, а

на уровне температуры рассеяния тумана  $T_p$ , определенной по рисунку 2.8 [7].

Наиболее часто рассматриваются связи вида:

$$T_p = T_T + (\delta T_p)_1 \quad (2.7)$$

$$T_p = (T_d)_{18} + (\delta T_p)_2 \quad (2.8)$$

$$T_p = T_{\text{восх}} + (\delta T_p)_3 \quad (2.9)$$

где  $(T_d)_{18}$  – температура точки росы в 18 часов (или в момент захода солнца);

$T_{\text{восх}}$  – температура воздуха в момент восхода солнца.

### 2.1.3 СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗА РАДИАЦИОННЫХ И АДВЕКТИВНО-РАДИАЦИОННЫХ ТУМАНОВ.

Статистический метод прогноза радиационных и радиационно-адвективных туманов разработан П. К. Душкиным для Московского аэроузла. Он основан на графическом способе построения дискриминантной функции. Исходными данными для прогноза являются дефицит точки росы в 18 часов  $(T - T_d)_{18}$  и скорость ветра в 18, 20 и 22 часа ( $V_{18}, V_{20}, V_{22}$ ) в пункте прогноза, по значениям которой определяется сглаженное значение скорости ветра  $V_{\text{сгл}}$ :

$$V_{\text{сгл}} = 0.8 V_{22} + 0.16 V_{20} + 0.04 V_{18}, \quad (2.10)$$

Прогноз составляют с помощью дискриминантных (демаркационных) графиков (рисунок 2.9).

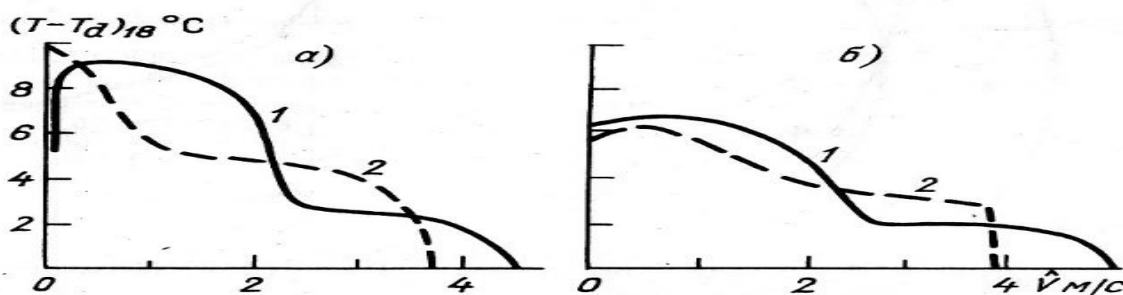


РИСУНОК 2.9 – График для прогноза туманов (а) - в марте, апреле, августе, и сентябре; (б) - в октябре, ноябре, декабре, январе, феврале

Графику (1) соответствует  $N \geq 5$  баллов, графику (2)  $N < 5$  баллов, где  $N$  – ожидаемое среднее в течение ночи количество общей облачности.

Если точка с координатами  $(T - T_d)_{18}$  и  $V$  попадает в замкнутую область, ограниченную соответствующей демаркационной кривой и осями координат, то следует прогнозировать туман. В противном случае туман ожидать не следует [6].

## 2.2 ПРОГНОЗ АДВЕКТИВНОГО ТУМАНА

Адвективный туман возникает при адвекции тёплого влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность. Одновременно образуются облака  $St$  или  $Sc$ , так что туман часто является результатом снижения облаков.

Адвективные туманы могут наблюдаться в любое время суток, но обычно они усиливаются ночью из-за радиационного охлаждения воздуха в приземном слое.

Благоприятными синоптическими условиями для образования адвективного тумана это тёплые сектора циклонов и прилегающие к ним окраины антициклонов. При прогнозе адвективного тумана учитываются:

- 1) перемещения имеющихся областей тумана;
- 2) адвективные изменения температуры точки росы в приземном слое;
- 3) возможность снижения облаков [2].

### 2.2.1 ПРОГНОЗ ПО МЕТОДУ С. В. НЕКРАСОВА И Н. В. ПЕТРЕНКО



Прогноз разрабатывается с заблаговременностью до 9 часов в следующей последовательности.

- 1) Основными прогностическими параметрами являются разности  $(T_n - T_k)$  и  $(T_{дн} - T_{дк})$  между значениями температуры и точки росы у поверхности земли в начальной точке девятичасовой траектории частицы и исходными их значениями в пункте прогноза, а также дефицит точки росы  $(T - T_d)_н$  в начальной точке траектории.
- 2) Строят прогностическую 9-часовую траекторию частицы. Успешность прогноза адвективного тумана в значительной степени зависит от точности построения прогностической траектории.
- 3) По значениям температуры и точки росы в начальной и исходной точках переноса определяют градиенты температуры  $\Delta T/\Delta S$  и точки росы  $\Delta T_d/\Delta S$  вдоль 9-часовой траектории длиной  $\Delta S$ , измеряемой в сотнях километров.

$$\Delta T/\Delta S = (T_n - T_k)/\Delta S, \quad (2.11)$$

$$\Delta T_d/\Delta S = (T_{дн} - T_{дк})/\Delta S, \quad (2.12)$$

где  $T_n$  и  $T_k$  - значения температуры воздуха, а  $T_{дн}$  и  $T_{дк}$  - значения точки росы в начальной и конечной точке траектории частицы.

Чем больше положительные значения градиентов, тем вероятнее возникновение тумана.

- 4) На поле графика (рисунок 2.10), построенного для аэропорта Шереметьево, находят точку пересечения значений градиента температуры  $\Delta T/\Delta S$  и дефицита точки росы  $(T - T_d)_н$ .

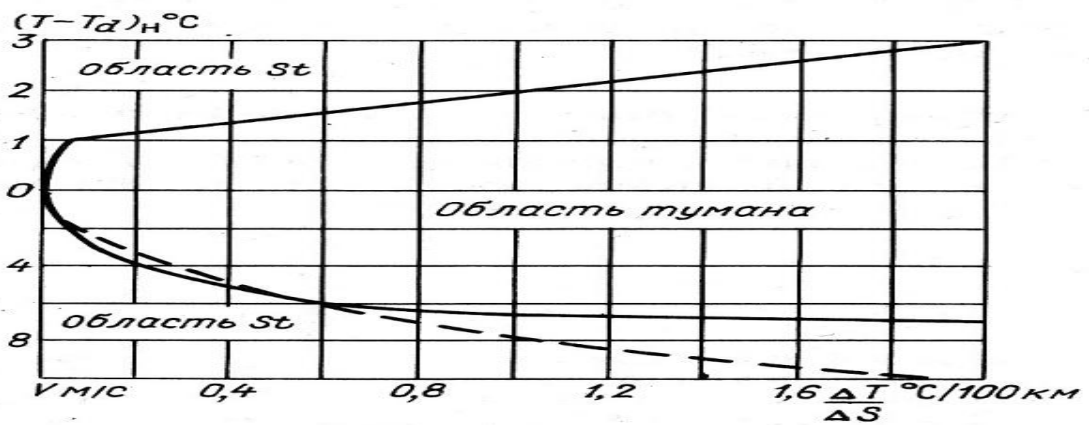


РИСУНОК 2.10 – Комплексный график для прогноза адвективного тумана

Если эта точка попадает в область тумана, то от неё по вертикали следует опуститься до значений скорости ветра  $V$ , ожидаемого через 9 ч в пункте прогноза.

Если новое положение точки снова окажется в области тумана, т. е. точка будет находиться между нижней сплошной кривой и горизонталью 0, следует ожидать туман.

- 5) Если по графику на рисунке 2.10 ожидается туман, то дополнительно используют график на рисунке 2.11 (его верхняя часть). На поле графика находят точку пересечения значений  $\Delta T_d / \Delta S$  и дефицита точки росы  $(T - T_d)_h$  в начальной точке переноса. Если точка попадает в область тумана, т.е. окажется ниже сплошной кривой, то высока вероятность возникновения тумана.

Если точка окажется вне области тумана, то туман всё-таки прогнозируют, хотя вероятность образования тумана будет ниже.

Нижняя часть графика используется при прогнозе видимости в тумане.

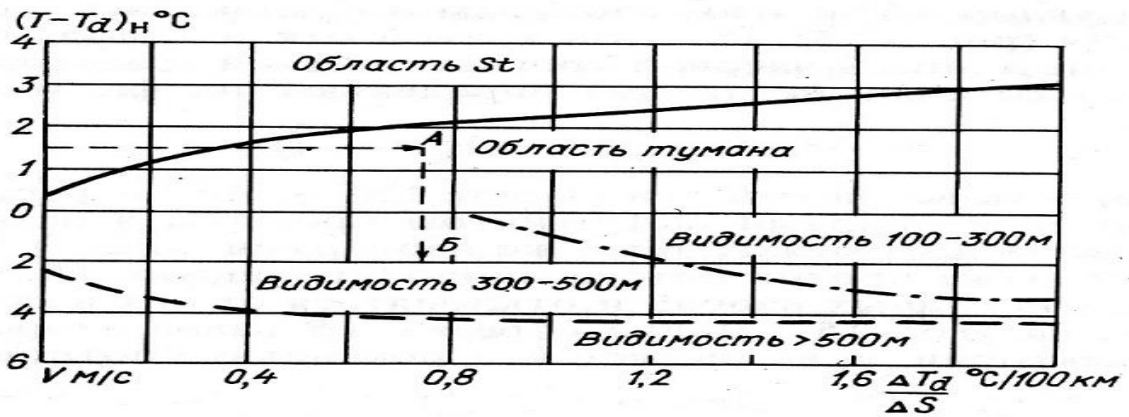


РИСУНОК 2.11 – Комплексный график для прогноза адвективного тумана и видимости в нём

- 6) Если  $\Delta T_d / \Delta S > 1$  °C/100 км,  $(T - T_d)_h < 2$  °C, а ожидаемая скорость ветра  $V < 4$  м/с, то туман может возникнуть на 2 – 3 часа раньше, т. е. через 6 - 7 часов после срока наблюдений, по которым построена исходная карта.

Рассеивается адвективный туман вследствие усиления ветра на 1 – 2 м/с или при смене адвекции тёплого влажного воздуха на адвекцию сухого холодного воздуха. В тёплое время года рассеивание адвективного тумана возможно при дневном прогреве воздуха.

- 7) Прогноз видимости в адвективном тумане, если ожидается скорость ветра не более 4 м/с, осуществляется спомощью номограммы (рисунок 2.12)

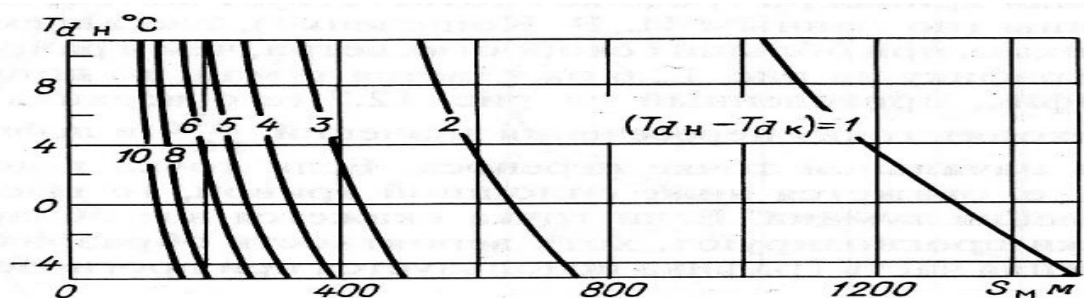


РИСУНОК 2.12 – Полуэмпирическая номограмма для прогноза видимости в адвективном тумане (по Н. В. Петренко и П. А. Сироте)

Для определения видимости следует от значения  $T_{дн}$  переместиться параллельно оси абсцисс до пересечения с наклонной кривой  $(T_{дн} - T_{дк})$ , а затем опуститься до оси абсцисс и снять значение прогностической видимости  $S_m$ .

Если  $(T_{дн} - T_{дк}) < 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ , то прогноз видимости можно составить с помощью нижней части графика, приведённого на рисунке 2.11. Для этого от значения  $\Delta T_d/\Delta S$  нужно переместиться по вертикали до пересечения с ожидаемой скоростью ветра. В зависимости от положения точки пересечения  $\Delta T_d/\Delta S$  и  $V$  прогнозируют ожидаемую видимость в тумане [6].

### 2.3 ПРОГНОЗ ФРОНТАЛЬНЫХ ТУМАНОВ

Фронтальные туманы чаще всего образуются перед тёплым фронтом или тёплым фронтом окклюзии, а также за малоподвижным холодным фронтом, основная облачная система которого состоит из облаков  $Ns - As$ . В умеренных широтах эти туманы обычно наблюдаются поздней осенью и зимой при выпадении мелкокапельного дождя или мороси. Здесь они быстро испаряются, в результате чего воздух достигает насыщения и образуется туман [7].

Прогноз появления фронтального тумана, а также его исчезновения сводится к прогнозу перемещения фронта, с которым этот туман связан. При этом учитывается возможная эволюция тумана при изменении интенсивности и фазового состояния осадков.

При переходе от капельных осадков к выпадению снега плотность тумана из-за осушающего влияния снежинок будет уменьшаться. Плотность тумана будет увеличиваться при повышении устойчивости стратификации температуры под инверсионным фронтальным слоем.

Условия для образования фронтального тумана:

- 1) температура тёплого воздуха на верхней границе фронтального слоя выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а разность между ней и температурой в психрометрической будке составляет  $3 - 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) дефицит точки росы вне зоны фронтальных осадков менее  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) скорость ветра в холодном подфронтальном воздухе не более  $6\text{ м/с}$ .

В качестве предикторов могут быть использованы значения температуры капель дождя (на верхней границе фронтальной инверсии)  $T_k$ , температуры  $T$  и влажности  $T_d$  холодного подфронтального воздуха. Прогноз дается по демаркационному графику, приведённому на рисунке 2.13. По оси ординат откладывается разность температур между её значениями на верхней границе инверсии и на высоте  $2\text{ м}$ , а по оси абсцисс – дефицит точки росы (относительная влажность) у поверхности земли в холодном воздухе [8].

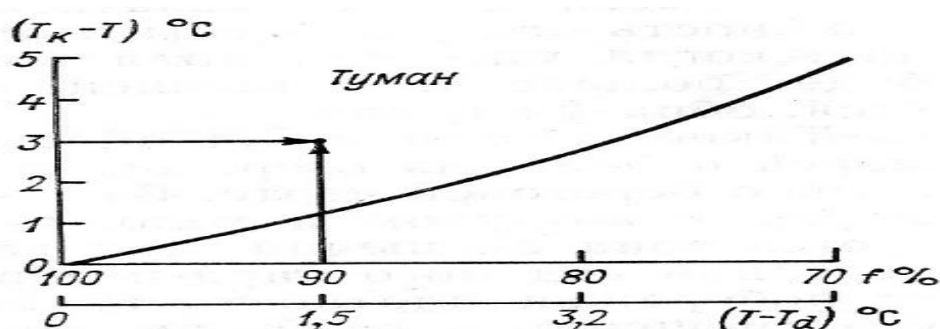


РИСУНОК 2.13 – График для прогноза фронтального тумана испарения

Время образования и рассеяния тумана можно определить по скорости смещения атмосферного фронта, а, следовательно, и по скорости смещения фронтального тумана. Если же фронтальный туман образуется вновь, то происходит это обычно через  $0.5 - 1.0\text{ ч}$  после прохождения фронта.

Дополнительно для оценки времени рассеяния фронтальных туманов необходимо учитывать изменение синоптической обстановки, характер адвекции, турбулентного обмена и местные признаки возникновения туманов.

В научной литературе предлагается для прогноза фронтального тумана использовать дискриминантную функцию, которая имеет вид

$$L = T_{\text{инв}} - T_0 - (7.78 \times 10 - 2 D_{0,\text{хол}}^2 + 0.67 D_{0,\text{хол}}), \quad (2.13)$$

где  $D_{0,\text{хол}}$  – дефицит температуры точки росы в холодном воздухе.

Если при расчётах получается, что  $L \geq 0$ , то в прогнозе следует указывать туман. Если же  $L < 0$ , то туман ожидать не следует [7].

## 2.4 ПРОГНОЗ ТУМАНОВ СМЕШЕНИЯ

Туман, образующийся в результате смешения двух воздушных масс, может образоваться только при определённом соотношении исходных значений температуры и влажности. Если исходные значения температуры и массовой доли водяного пара в более холодном воздухе обозначить через  $T_x$  и  $q_x$ , а в тёплом воздухе –  $T_T$  и  $q_T$ , то после смешения этих воздушных масс аналогичные характеристики будут равны:

$$T = (T_x + nT_T)/(1 + n), \quad (2.14)$$

$$q = (q_x + nq_T)/(1 + n), \quad (2.15)$$

где  $n$  – масса тёплого воздуха, смешивающегося с единичной массой холодного воздуха [8].

Относительная влажность смеси двух равных количеств воздуха с различной температурой оказывается больше средней арифметической относительной влажности смешиваемых масс. В реальной атмосфере эффект смешения может быть существенным лишь в редких случаях (вдоль берега моря, границы ледника и т. д.).

Особенно должен учитываться эффект смешения летом при низкой температуре воды в море и высокой температуре воздуха на побережье в малоградиентном барическом поле, когда направление ветра неустойчиво (побережья арктических морей). В ряде случаев происходит не только

образование тумана, но и вынос на берег тумана, образовавшегося над морем [2].

## 2.5 ПРОГНОЗ ТУМАНА ПРИ СИЛЬНЫХ МОРОЗАХ

Туман при сильных морозах образуется благодаря поступлению водяного пара в воздух с продуктами сгорания топлива. Этот вид тумана следует ожидать в населённых пунктах при развитии антициклона или отрога, в котором создаются условия для застоя и сильного выхолаживания воздуха над снежным покровом.

Зная вид и вес сжигаемого за сутки в населённом пункте топлива, можно приближённо вычислить величину поступления водяного пара в единицу объёма  $\delta\alpha$  выраженную в  $\text{г}/\text{м}^3$ , по следующим формулам:

$$\delta\alpha = WQ t / (2.4 \times 10^7 Sh), \quad (2.16)$$

$$\delta\alpha = WQ / (8.64 \times 10^7 dVh), \quad (2.17)$$

где  $\delta\alpha$  - количество водяного пара, поступающего в атмосферу, в  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $W$  – количество водяного пара, выделяющееся при сгорании 1 кг топлива;  $Q$  – масса топлива, сжигаемого за сутки, кг;  $S$  – площадь, на которой происходит сжигание топлива (площадь населённого пункта),  $\text{км}^2$ ;  $h$  – толщина слоя распространения водяного пара по вертикали, м;  $t$  – время, ч;  $d$  – ширина населённого пункта (км) в направлении нормали к вектору скорости ветра  $V$ , м/с.

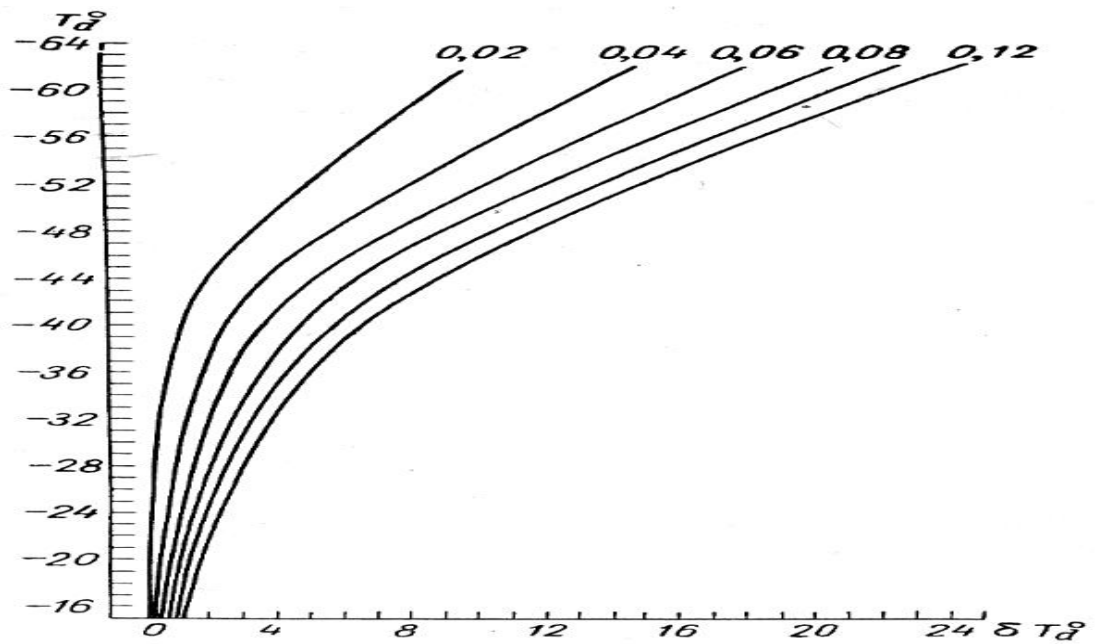


РИСУНОК 2.14 – График для расчёта повышения точки росы по  $T_d$  и  $\delta\alpha$  (наклонные линии)

По рассчитанному значению  $\delta\alpha$  и исходному значению  $T_d$  по графику, показанному на рисунке 2.14 определяется  $\delta T_d$ . Значения  $\delta T_d$  получается за промежуток времени, за который рассчитана величина  $\delta\alpha$ .

Для оценки возможности возникновения тумана используется график, приведённый на рисунке 2.15. Входами в него являются исправленное значение точки росы ( $T_d + \delta T_d$ ) и исходное значение температуры воздуха ( $T$ ).

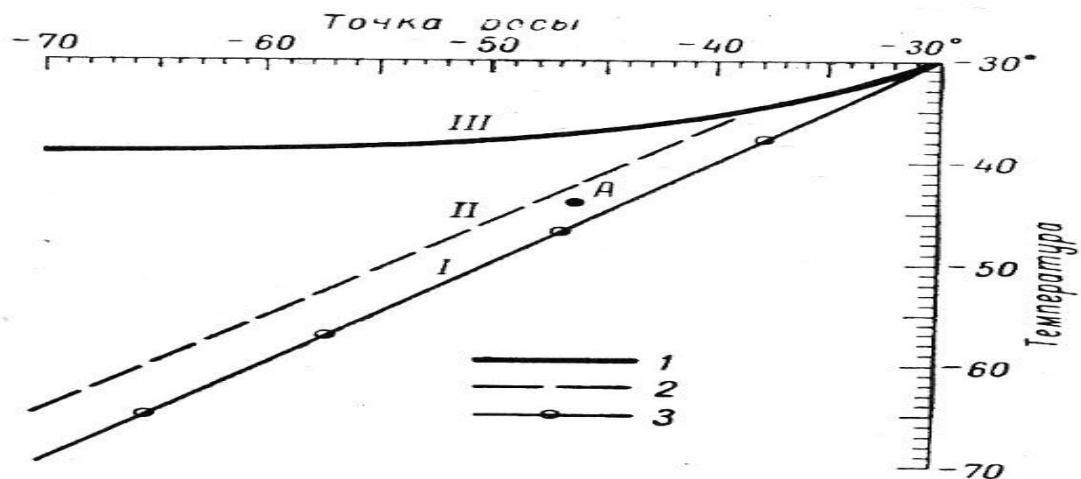




РИСУНОК 2.15 – График для прогноза ледяного тумана по  $T$  и  $T_d$ : 1 – линия разграничения областей уменьшения и увеличения степени насыщения воздуха водяным паром при сгорании топлива, 2 – линия насыщения воздуха по отношению ко льду, 3 – линия равных значений температуры и точки росы; I - область устойчивого ледяного тумана, II - область неустойчивого ледяного тумана, III - область отсутствия ледяного тумана

На этом рисунке точка (А) характеризует состояние атмосферы, при котором вероятность возникновения морозного тумана довольно велика, так как она находится вблизи границы, разделяющей области неустойчивого и устойчивого ледяного тумана [9].

### ГЛАВА 3 АНАЛИЗ ТУМАНОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА КУРУМОЧ Г. САМАРА

В настоящее время воздушные суда и системы их управления оборудованы современным навигационным оборудованием и приборами, которые позволяют выполнять полеты в сложных метеоусловиях. Самыми ответственными этапами полёта являются взлет и посадка воздушного судна. Самыми сложными лётными метеорологическими условиями являются облачность и дальность видимости.

Для повышения безопасности, экономичности и регулярности полетов является правильный учет климатических условий. Метеорологам и авиационным специалистам для их практической деятельности необходима климатическая характеристика аэродрома так как она является справочным пособием с основными климатическими данными. В климатической характеристике приводятся данные о суточном и годовом ходе метеорологических величин и явлений на основании многолетних наблюдений, которые оказывают влияние на работу авиации.

Туман является очень опасным явлением для авиации, также это часто повторяющееся явление погоды. Моя работа посвящена анализу режима туманов в районе аэродрома Курумоч города Самара. В данной работе использованы ежечасные наблюдения за 10 лет в период с 2010 по 2019 годы. Время наблюдений соответствуют всемирному скоординированному времени (ВСВ). Количество наблюдений за это время составило 87571 случай.

По данной формуле производился расчет повторяемости  $P$  (%):

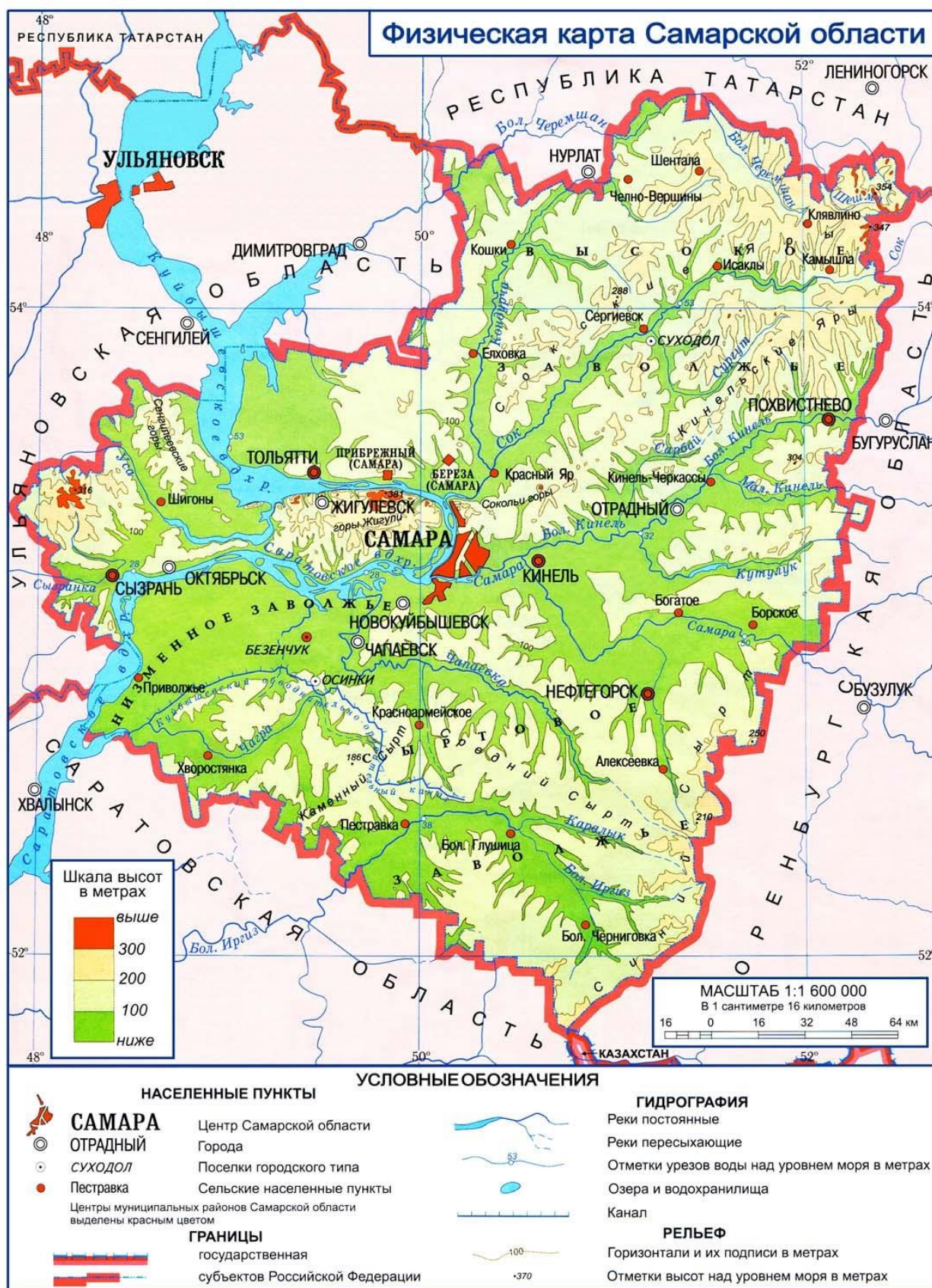
$$P=n/N*100$$

n - число случаев явления (градаций)

N - общее число наблюдений

За метеорологической видимостью проводились наблюдения с помощью датчика видимости LT31.

### 3.1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АЭРОДРОМА.



Самарская область расположена по среднему течению р. Волги, в районе излучины, которая известна как Самарская Лука. Особенности климата являются: континентальность, преимущество в холодное время года пасмурных дней, летом – малооблачных и ясных дней, тёплая и малоснежная зима с холодными периодами, короткую весну и осень, жаркое сухое лето. В холодный период года преобладают ветра южного и юго-западного направления, в тёплый период года – северного, западного и северо-западного направления. Область находится на границе лесостепной и степной природно-климатической зоны – в северной её части растут хвойные и широколиственные леса, а на юге и востоке находятся в большей степени степные территории.

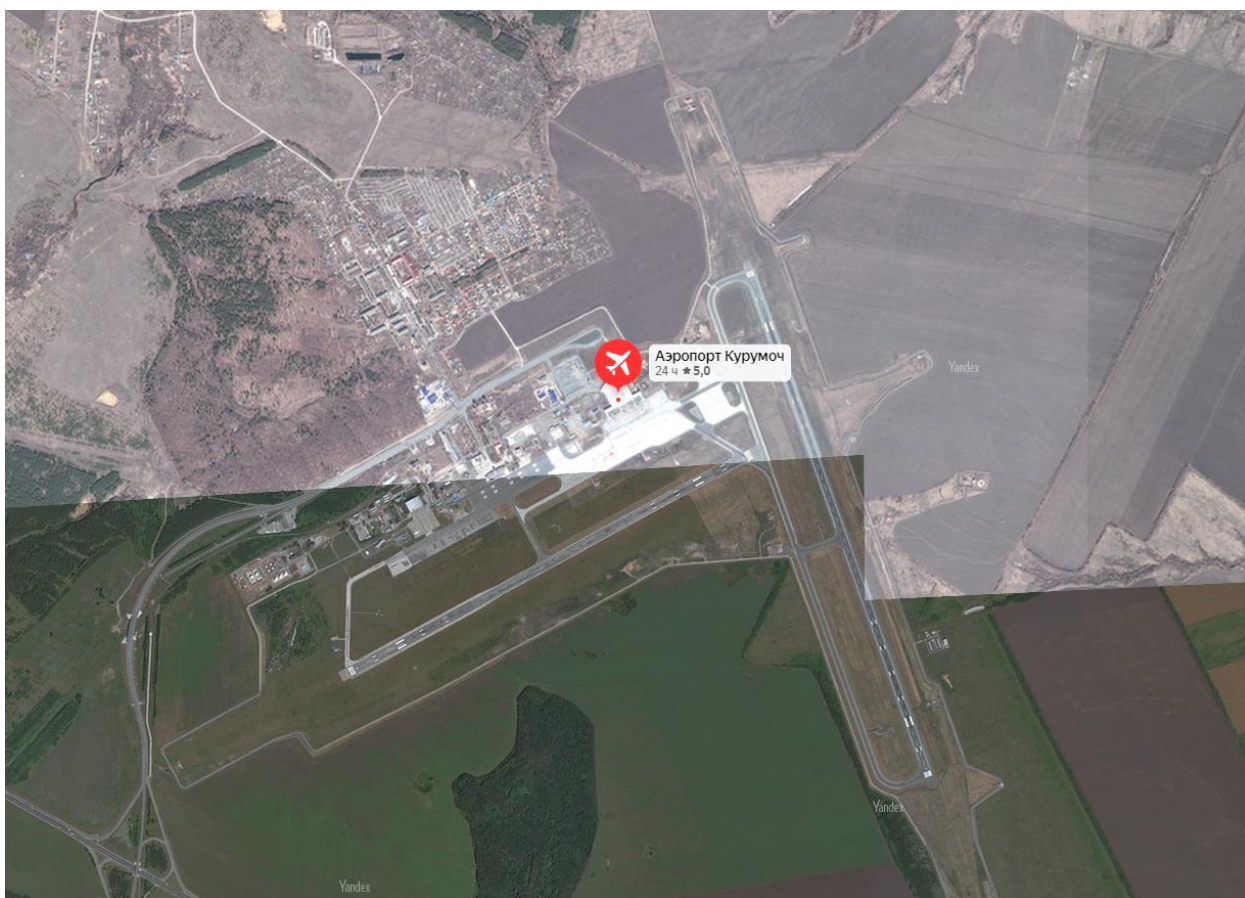
Средняя температура воздуха по области за 2019 год составила  $+6,5^{\circ}\text{C}$  и оказалась на  $1,8^{\circ}$  выше многолетних значений. Среднее количество осадков 477 мм. Максимальная температура воздуха летом составила  $+39,5^{\circ}\text{C}$ . Минимальная температура воздуха зимой  $-28,7^{\circ}\text{C}$ .

Азиатские полупустыни, находящиеся рядом, в большей степени сказываются на климате южных районов области, где наблюдаются периодические засухи. Это обстоятельство делает большую часть территории зоной рискованного земледелия.

Различия в распределении высот, акваторий, лесов и образовавшихся ландшафтов вызывают заметные колебания в значениях метеорологических элементов. [13]



## ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАЙОНА АЭРОДРОМА



Аэропорт Курумоч г. Самары имеет географические координаты: широта –  $53^{\circ} 30'$  с. ш., долгота –  $50^{\circ} 09'$  в. д. Абсолютная отметка аэродрома – 136.6 м (высота нуля барометра), высота метеоплощадки над уровнем моря составляет 134.87 м.

Аэропорт Курумоч г. Самары расположен северо-восточнее изгиба реки Волги – Самарской Луки. Данная часть левобережья Волги покрыта сосновым лесом и характеризуется постепенным повышением абсолютных высот местности от 30 м у Волги до 135 – 143 м в районе аэродрома.

На севере и северо-западе в 6 – 7 км от аэродрома имеются две гряды холмов, между которыми расположена изрезанная оврагами Молгачёвская долина – русло высохшей реки Курумоч. Здесь местность понижается до 70 – 90 м. Восточнее аэродрома местность степная с высотами, постепенно

понижающимися от 135 – 143 м в районе аэродрома до 45 м на удалении 8 – 10 км.

Речная сеть по отношению к аэродрому расположена следующим образом: в 30 км на западе, выше плотины Жигулёвской ГЭС, находится обширное Самарское водохранилище, от которого Волга ориентирована к востоку, начиная так называемую Самарскую Луку; в 10 – 11 км юго-юго-западнее аэродрома в Волгу впадает река Сок, которая вместе с притоком реки Кондурча огибает район аэродрома с востока на расстоянии 8 – 10 км. Долины рек Сок и Кондурча являются самыми низкими местами вблизи аэродрома, здесь абсолютные отметки местности составляют 30 – 40 м. В половодье реки Сок и Кондурча сильно разливаются. Берега реки Кондурча покрыты смешанными лесами.

На юго-западе и западе от аэродрома, на расстоянии 10 – 12 км за Волгой и Соком расположены Жигулёвские горы, имеющие превышения 200 – 300 м (Сокские ворота), а вблизи города Тольятти, который находится западнее аэродрома, 371 м над уровнем моря (гора Богатырь). Жигулёвские горы покрыты густыми смешанными лесами.

Почва в районе аэродрома песчаная. Никаких естественных водоёмов в непосредственной близости от аэродрома нет. Глубина залегания грунтовых вод 130 – 150 м.

С северо-западной и западной стороны к аэродрому примыкает посёлок Берёза с парковой зоной 4 км<sup>2</sup>.

### 3.2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КЛИМАТЕ РАЙОНА

Район аэродрома Курумоч г. Самары расположен на востоке Европейской части России и характеризуется умеренно-континентальным климатом.

За период десятилетних наблюдений (с 2010 по 2019 гг.) среднегодовая температура воздуха составила  $+5.9^{\circ}\text{C}$ . Самыми холодными месяцами стали январь и февраль, среднемесячная температура которых равна  $-11,8^{\circ}\text{C}$  и  $-10.5^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный минимум температуры воздуха был зафиксирован 1 января 1979 года, и составил  $-43.2^{\circ}\text{C}$ .

Самыми тёплыми месяцами стали июль и август, среднемесячная температура которых равна  $21,9^{\circ}\text{C}$  и  $20.5^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный максимум температуры воздуха был зафиксирован в июле 1975 года, и составил  $40.2^{\circ}\text{C}$ .

Средняя многолетняя упругость водяного пара и температура воздуха достигает наименьших значений в январе, а наибольших в - июле. Суточный ход относительной влажности воздуха более выражен в летние месяцы, когда максимум отмечается в ранние утренние часы, а минимум отмечается в 14 – 16 часов и суточная амплитуда составляет 40 % и более. В зимние месяцы она не превышает 10 %, а в переходные месяцы амплитуда уменьшается.

Сумма часов солнцестояния составляет 1500 – 1700 часов.

Среднее годовое количество осадков за десятилетний период составило 477 мм. В холодный период (октябрь – март) выпало 213 мм, в тёплый период (апрель – сентябрь) выпало 264 мм. Минимальное количество осадков наблюдалось в апреле 2011 года (1,1 мм), максимальное количество осадков (162,6 мм) наблюдалось в июле 2014 года.



### 3.3 РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА РЕЖИМА ТУМАНОВ В РАЙОНЕ АЭРОДРОМА КУРУМОЧ ГОРОДА САМАРА

На основании ежечасных наблюдений за 10 лет в период с 2010 года да по 2019 год проведен анализ режима тумана в районе аэродрома Курумоч города Самара. Всего наблюдений за этот период было 87571. За этот промежуток времени на станции было 1923 случая тумана. Все данные наблюдений указаны в виде графиков и таблиц.

В таблице 3.1 указывается ежечасная повторяемость туманов по месяцам, в среднем по месяцам и за год.

С помощью данных таблицы можно легко определить суточный и годовой ход тумана.

ТАБЛИЦА 3.1 Повторяемость туманов (%), в районе аэродрома Курумоч города Самара. Данные наблюдений за период с 2010 по 2019 годы. Количество наблюдений составило 87571.

Время (ВСВ), ч	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
00	3,5	5,0	10,3	5,3	0,6	2,0	1,0	1,9	2,7	6,1	6,7	6,8	4,3
01	2,3	4,3	10,0	6,0	1,0	2,0	1,6	2,3	6,0	5,2	6,4	6,5	4,4
02	3,2	3,5	9,4	6,7	0,6	1,7	0,6	1,9	6,4	5,2	6,0	4,5	4,1
03	4,2	4,6	8,1	4,7	0,6	0,7	0,3	1,0	6,3	5,5	8,0	6,1	4,2
04	2,3	5,0	6,8	3,3	0,3			0,3	4,7	4,2	9,0	4,8	3,4
05	2,9	4,3	4,2	2,3		0,3			1,7	3,2	7,0	5,2	2,6

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛИЦЫ 3.1

Время (ВСВ), ч	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
06	2,9	1,8	3,9	1,3					0,3	2,3	6,0	4,8	1,9
07	1,6	1,1	2,3	1,0						1,0	4,7	3,9	1,3
08	1,0	0,7	2,3	0,7						0,6	3,7	3,2	1,0
09	1,0	0,7	1,3	0,7						0,6	2,3	3,2	0,8
10	0,6	0,4	1,0	0,3						1,0	2,0	3,5	0,7
11	0,3	0,4	1,0	0,3						1,3	1,7	4,5	0,8
12	0,3	0,4	1,3							0,6	2,3	4,8	0,8
13	1,0	1,1	1,9	0,3						0,6	3,3	5,2	1,1
14	0,6	1,8	1,6	0,7					0,3	1,6	3,0	6,1	1,3
15	0,6	1,4	2,3	1,0					0,7	1,3	3,0	4,8	1,3
16	0,3	1,4	2,6	1,0				0,3	0,3	1,6	3,7	5,8	1,4
17	0,6	1,1	2,6	1,3					0,3	2,6	6,0	4,8	1,6
18	0,3	1,4	3,9	1,7					0,7	2,6	4,7	5,5	1,7
19	1,0	1,8	3,9	2,7		0,3		0,3	1,0	2,9	4,3	4,8	1,9
20	2,3	2,1	5,5	2,7	0,3	0,3		0,6	2,0	2,6	5,0	5,5	2,4
21	3,5	3,2	5,5	2,3	0,6	0,3	0,3	0,3	3,3	2,6	5,7	6,1	2,8
22	3,5	2,8	5,5	2,7	0,3	0,7		0,3	3,3	3,5	7,0	6,1	3,0
23	3,2	4,3	7,1	3,7	0,6	1,7	0,3	1,9	3,7	4,5	7,4	5,5	3,6
Среднее	1,8	2,3	4,3	2,2	0,2	0,4	0,2	0,5	1,8	2,6	5,0	5,1	2,2

Повторяемость туманов рассчитывается с учётом общего числа наблюдений за срок, а среднее значения за месяц – с учётом числа наблюдений за месяц. Для этого число случаев с туманом делится на число наблюдений (за срок или за все сутки многолетнего месяца) и умножается на 100.

Среднее значения за год определяются простым осреднением за соответствующие сроки всех месяцев, или в целом за месяцы (то есть сумма за все 12 месяцев делится на 12). Аналогично рассчитывается средняя

повторяемость за месяц, причём должна учитываться сумма наблюдений за все сроки. [11]

В тёплое время года, с апреля по сентябрь, повторяемость туманов минимальна. Как правило, в этот период года туманы отмечаются только в ночное время с максимальной повторяемостью в часы близкие к восходу солнца. Максимальная повторяемость тумана в тёплое время года наблюдалась в апреле и составила 6,7 %.

В холодное время года, с октября по март, повторяемость туманов максимальна. Туманы в это время года образуются в любое время суток, но максимальная их повторяемость всё-таки в утренние часы. Максимальная повторяемость тумана в холодное время года наблюдалась в марте и составила 10,3 %.

Для практики очень хорошо использовать групповые графики суточно-годового хода повторяемости туманов. Так как они достаточно наглядны и на них очень хорошо видно суточный и годовой ход повторяемости туманов, а также отчётливо проявляются периоды отсутствия и наибольшей повторяемости явлений.

Для построения графика около каждого месяца у определённой отметки времени суток ставится повторяемость туманов (с точностью 0,1 %). Когда все поля заполнены надлежащими значениями, тогда можно проводить изолинии повторяемости через 1-2 %.

ГРАФИК 3.1 Суточно – годовой ход повторяемости туманов в % (пунктирная линия обозначает время восхода и захода солнца). Изолинии проведены через 1- 2 %.

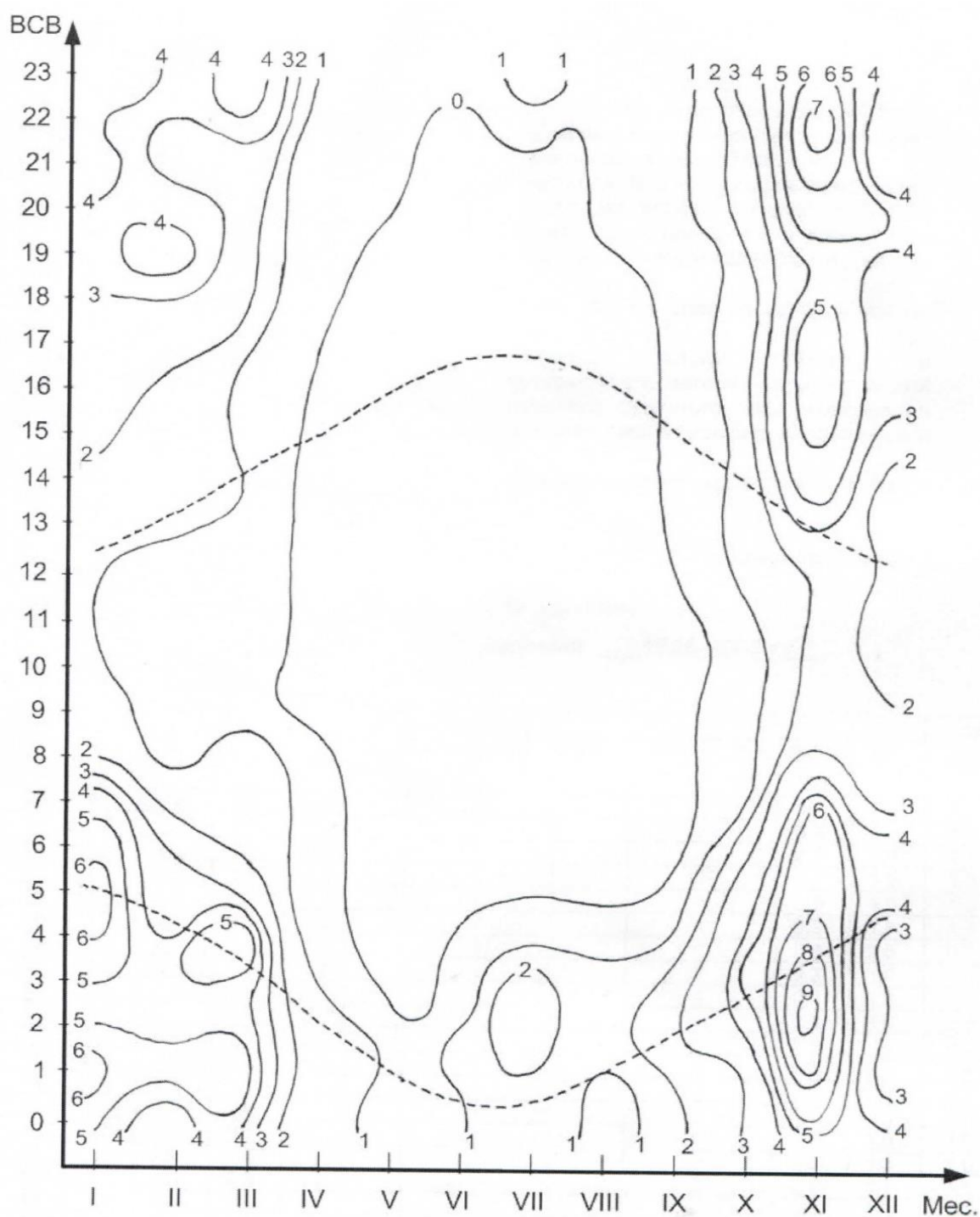


ТАБЛИЦА 3.2 Повторяемость туманов разных типов в %. Число случаев туманов 1923.

Месяц года	Тип тумана			Всего
	Радиационный	адвективный	фронтальный	
январь	5,2	6,0	1,9	13,1
февраль	2,0	0	0,5	2,5
март	9,1	4,7	3,1	16,9
апрель	3,9	1,2	0,2	5,3
май	1,1	0	0,3	1,4
июнь	0,3	0	0,2	0,5
июль	1,3	0	0,2	1,5
август	0,9	0	0	0,9
сентябрь	4,7	0	0	4,7
октябрь	16,5	0,2	0,9	17,6
ноябрь	4,4	13,9	1,9	20,2
декабрь	5,4	9,0	1,0	15,4
Всего	54,8	35,0	10,2	100

Повторяемость туманов разных типов по синоптическим условиям их образования представлена в таблице 3.2. Для этого взяты наиболее характерные виды тумана на данном аэродроме, которые можно классифицировать на:

- радиационные туманы (для их определения были взяты случаи туманов, которые образовывались по характерным радиационным признакам)
- адвективные туманы (для их определения были взяты случаи туманов, которые образовывались по адвективно-радиационным признакам)

- фронтальные туманы (для их определения были взяты случаи туманов, которые образовывались при прохождении фронтов)

В общей сложности в период с 2010 по 2019 годы наблюдалось 1923 случая туманов. Все они поделены следующим образом:

- радиационные – 993 случая
- адвективные – 659 случаев
- фронтальные – 271 случай

Из этого видим, что самую большую повторяемость имеют, радиационные туманы, которые составляют 54,8 %, адвективные туманы составляют 35,0 %, ну а фронтальные туманы составляют всего лишь 10,2 %.

Радиационные туманы, которые наблюдаются в течении всего года имеют максимальную повторяемость в октябре и составляют 16,5 %. В холодное время года в большей степени наблюдались адвективные туманы с максимальной повторяемостью в ноябре и составили 13,9 %. Фронтальные туманы максимальная повторяемость которых наблюдалась в марте и составила 3,1 %.

В холодный период года с октября по март повторяемость всех типов туманов составила 85,7 %. Самая большая повторяемость наблюдалась в ноябре и составила 20,2 %.

В тёплый период года с апреля по сентябрь повторяемость всех типов туманов составила 14,3 %. Самая большая повторяемость наблюдалась в апреле и составила 5,3 %, а также в сентябре 4,7 %.

В графике 3.2 представлен годовой ход повторяемости туманов разных типов который подразделяется на радиационный, адвективный и фронтальный.

ГРАФИК 3.2 Годовой ход повторяемости туманов разных типов.

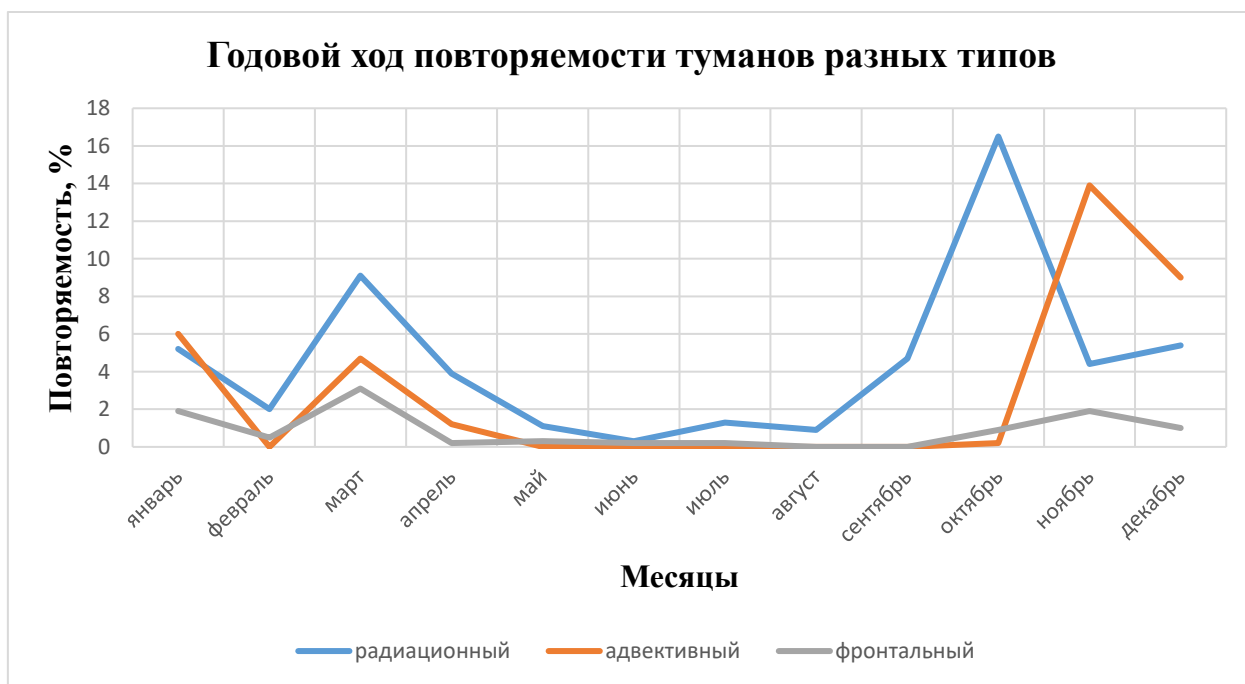


ТАБЛИЦА 3.3 Повторяемость туманов разных типов по времени образования в %. Число случаев 1923.

Время (ВСВ), ч	Тип тумана			Всего
	Радиационный	Адвективный	Фронтальный	
00	4,5	2,9	0,5	7,9
01	4,9	2,0	0,6	7,5
02	5,7	1,9	0,6	8,2
03	5,9	1,8	0,3	8,0
04	4,8	1,6	0,6	7,0
05	2,9	1,8	0,3	5,0
06	2,4	1,3	0,1	3,8
07	1,9	1,4	0,1	3,4

08	0,6	1,3	0,1	2,0
09	0,5	1,1	0,3	1,9

ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛИЦЫ 3.3

10	0,1	0,7	0,3	1,1
11	0	1,1	0,4	1,5
12	0,2	0,8	0,4	1,4
13	0,3	1,1	0,4	1,8
14	0,6	1,4	0,4	2,4
15	0,5	1,1	0,1	1,7
16	0,9	1,5	0,4	2,8
17	1,6	1,3	0,5	3,4
18	2	1,3	0,6	3,9
19	1,5	1,1	0,6	3,2
20	2,3	1,3	0,5	4,1
21	2,6	1,6	0,6	4,8
22	3,9	1,8	0,8	6,5
23	4,2	1,8	0,7	6,7
Всего	54,8	35,0	10,2	100

Повторяемость туманов разных типов по времени образования, которые характерны для района аэродрома представлены в таблице 3.3

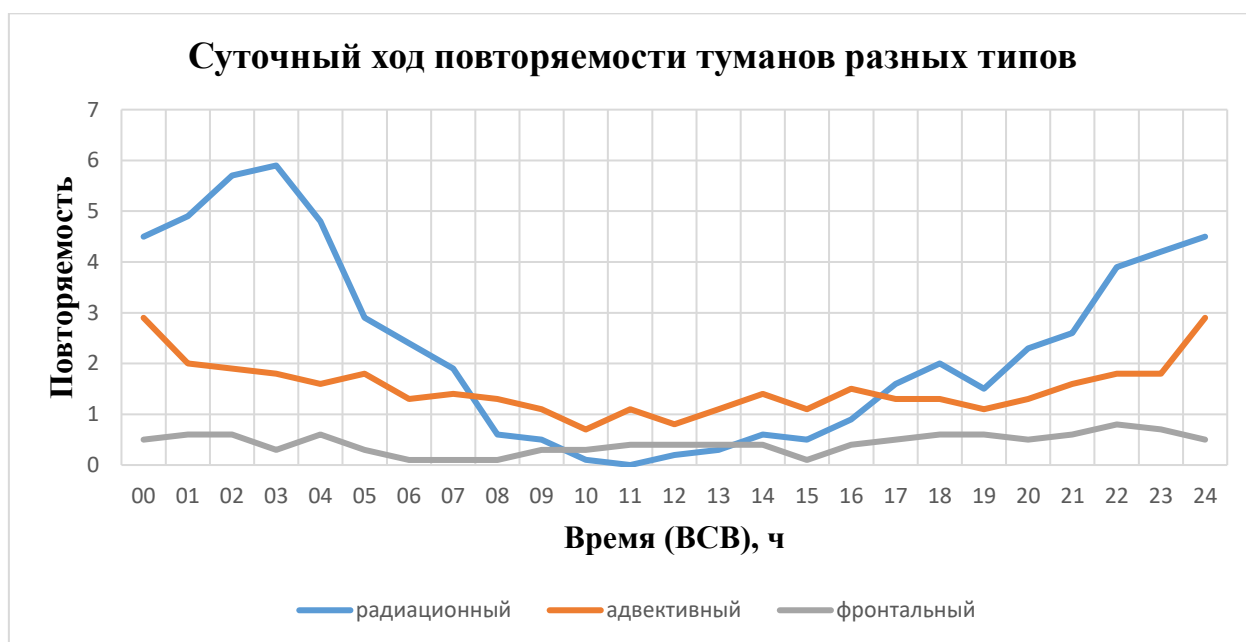
Из этой таблицы мы видим, что суточный ход образования радиационных туманов более выражен. Максимальная повторяемость радиационного тумана прослеживается в утренние и ночные часы (из таблицы видно, что максимальное число радиационного тумана приходится на 03 часа и составляет 5,9 %). Минимальное число радиационных туманов приходится на дневное время с 10 до 12 часов и составляет 0,1 % – 0,2 %.



Суточный ход образования адвективных туманов менее выражен. Образование адвективного тумана происходит в любое время суток. Максимальная повторяемость адвективного тумана прослеживается в 24 часа и составляет 2,9 %, а минимальное число адвективных туманов приходится на 10 часов и составляет 0,7 %.

Суточный ход образования фронтальных туманов слабо выражен. Максимальная повторяемость фронтального тумана прослеживается в период с 17 часов вечера до 4 часов утра и максимум из этого промежутка времени приходится на 22 часа и составляет 0,8 %, а минимальное число фронтальных туманов приходится на утренние и дневные часы с 5 до 16 часов и минимум из этого промежутка времени приходится на 6 – 8 часов составляет 0,1 %.

ГРАФИК 3.3 Суточный ход повторяемости туманов разных типов



На основании таблицы 3.3 построен график суточного хода повторяемости туманов разных типов.

Регулярность полётов и экономическая эффективность авиационного предприятия зависит не только от времени образования туманов, но ещё и от

продолжительности туманообразования, поэтому нужно это учитывать при метеорологическом обеспечении полётов.

Данные о непрерывной продолжительности туманов по месяцам и за год, средняя и максимальная продолжительность в часах указаны в таблице 3.4.

ТАБЛИЦА 3.4 Повторяемость непрерывной продолжительности туманов. Период наблюдений с 2010 по 2019 годы

Месяц	Продолжительность, ч							Среднее число периодов	Средняя продолжительность	Макс. продолжительность
	≤1	1-3	3-6	6-12	12-18	18-24	>24			
Январь	35,4	39,6	18,6	16,7				4,8	2,8	9,0
Февраль	31,0	33,3	17,1	15,1		2,4		4,2	3,8	19,0
Март	30,2	32,6	16,7	12,5	3,5			8,6	3,8	16,0
Апрель	26,6	9,3	14,3	12,2	4,9			4,1	3,7	15,0
Май	18,6	7,1	12,5					0,7	2,1	4,0
Июнь	13,1	1,5	5,4					1,3	2,4	6,0
Июль	6,7	1,0	3,3					0,6	2,7	5,0
Август	16,2	13,1	11,4	7,0				1,3	2,8	8,0
Сентябрь	23,9	23,8	23,1	7,7				4,2	3,0	12,0
Октябрь	25,2	33,3	22,8	9,5	1,8	1,8		5,7	3,5	24,0
Ноябрь	33,3	31,0	23,9	10,0	1,4	2,8	1,4	7,1	5,0	45,0
Декабрь	40,	27,	12,	15,	5,0	2,5	2,5	8,0	4,6	33,0

	0	5	5	5						
Год	33, 6	32, 4	18, 4	11, 7	2,2	1,2	0,6	50,6	3,8	45,0

Особенность этой таблицы состоит в том, что данные о числе периодов и общей продолжительности (ч) приведены к одному году путём деления общего числа периодов (всего случаев) на число лет наблюдений. Таким же образом (делением на число лет) приведены к одному году данные об общей продолжительности туманов (сумма часов).

Для расчёта повторяемости  $P$ , (%) непрерывной продолжительности туманов за 100 % принимается сумма случаев всех продолжительностей. В графе таблицы „всего периодов” заносятся данные, приведённые к одному году, то есть поделённые на 10 лет.

Общую продолжительность рассчитываем, умножая число периодов в каждой градации на значение продолжительности середины градации и суммируя эти значения. Однако для значений  $\geq 25$  часов рекомендуется брать конкретные продолжительности для каждого случая. В таблице эти данные также приводятся к одному году.

Средняя непрерывная продолжительность получается путём деления общей продолжительности на число периодов. В графе „максимальная продолжительность” указывается максимальная продолжительность тумана за многолетний месяц и за весь исследуемый период. [11]

Исходя из данных в таблице 3.4 мы наблюдаем наибольшую повторяемость туманов продолжительностью:

- 1 час и менее которые составляют максимум в декабре 40,0 %
- От 1-3 часа максимум которых составил в январе 39,6 %;
- От 3-6 часов максимум которых составил в ноябре 23,9 %;
- От 6-12 часов максимум которых составил в январе 16,7 %;

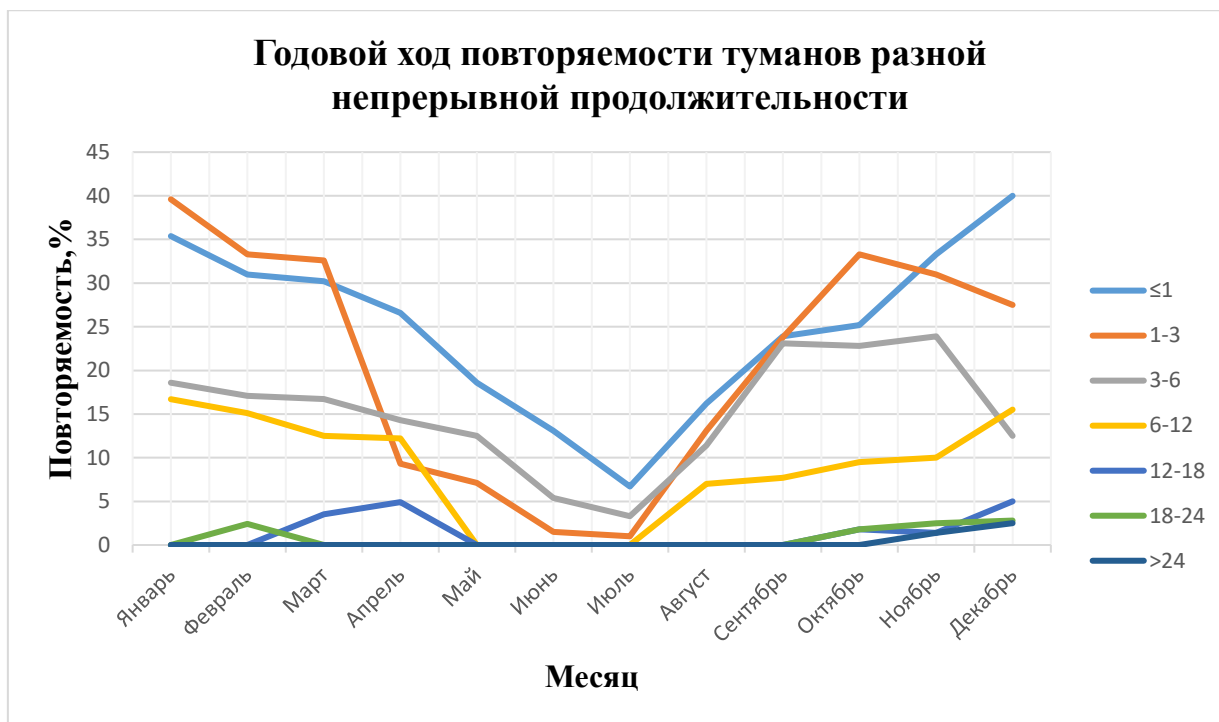
- От 12-18 часов максимум которых составил в декабре 5,0 %;
- От 18-24 часов максимум которых составил в ноябре 2,8 %;
- Более 24 часов максимум которых составил в декабре 2,5 %

С увеличением продолжительности туманов происходит уменьшение их повторяемости.

За десятилетний период наблюдений туман с продолжительностью более 24 часов наблюдался два раза. Самые продолжительные туманы за этот период наблюдались в ноябре 2011 года и составили 45 часов, а также в декабре 2013 года и составили 33 часа.

На основании таблицы 3.4 построен график 3.4 годового хода повторяемости туманов разной продолжительности.

ГРАФИК 3.4 Годовой ход повторяемости туманов разной продолжительности.



Максимальное количество туманов из средней продолжительности наблюдалось в марте и составило 8,6 случаев, а также в декабре и составило 8,0 случаев. Минимальное количество туманов из средней продолжительности наблюдалось в июле и составило 0,6 случаев и мае 0,7 случаев. Максимальная продолжительность тумана была в ноябре и составила 45 часов и декабре 33 часа. Минимальная продолжительность тумана была в мае и составила 4 часа. Максимальная средняя продолжительность была в ноябре и составила 5,0 часа, а также в декабре и составила 4,6 часа. Минимальная средняя продолжительность была в мае и составила 2,1 часа. Средняя продолжительность туманов за год составила 3,8 часа.

Для образования тумана большое значение имеют следующие метеорологические параметры:

- Температура воздуха
- Влажность воздуха
- Направление и скорость ветра

Поэтому чтобы получить полный анализ туманов для данного района необходимо проанализировать какие метеорологические условия наиболее благоприятны для образования тумана. Для этого мы рассмотрим повторяемость тумана при различных сочетаниях температуры и дефицита точки росы, а также скорость и направление ветра в момент туманообразования.

В таблице 3.5 указана повторяемость туманообразования в зависимости от различных значений температуры и дефицита точки росы. Для расчёта повторяемости за 100 % взято общее количество случаев тумана 1923.

ТАБЛИЦА 3.5 Повторяемость туманообразования при определённых значениях температуры и дефиците точки росы

Температура воздуха, °С	Дефицит точки росы, °С				Итого
	0-1	2-3	4-5	>5	
от -30 до -25	0	1,1	0	0	1,1
от-25 до -20	0,3	1,9	0	0	2,2
от-20 до -15	1,7	1,7	0	0	3,4
от-15 до -10	6,9	0,4	0	0	7,3
от-10 до -5	11,9	0,2	0	0	12,1
от -5 до 0	24,8	0	0	0	24,8
от 0 до 5	25,8	0	0	0	25,8
от 5 до 10	14,0	0,8	0	0	14,8
от 10 до 15	6,1	0,1	0,1	0	6,3
от 15 до 20	1,9	0,3	0	0	2,2
Итого	93,4	6,5	0,1	0	100

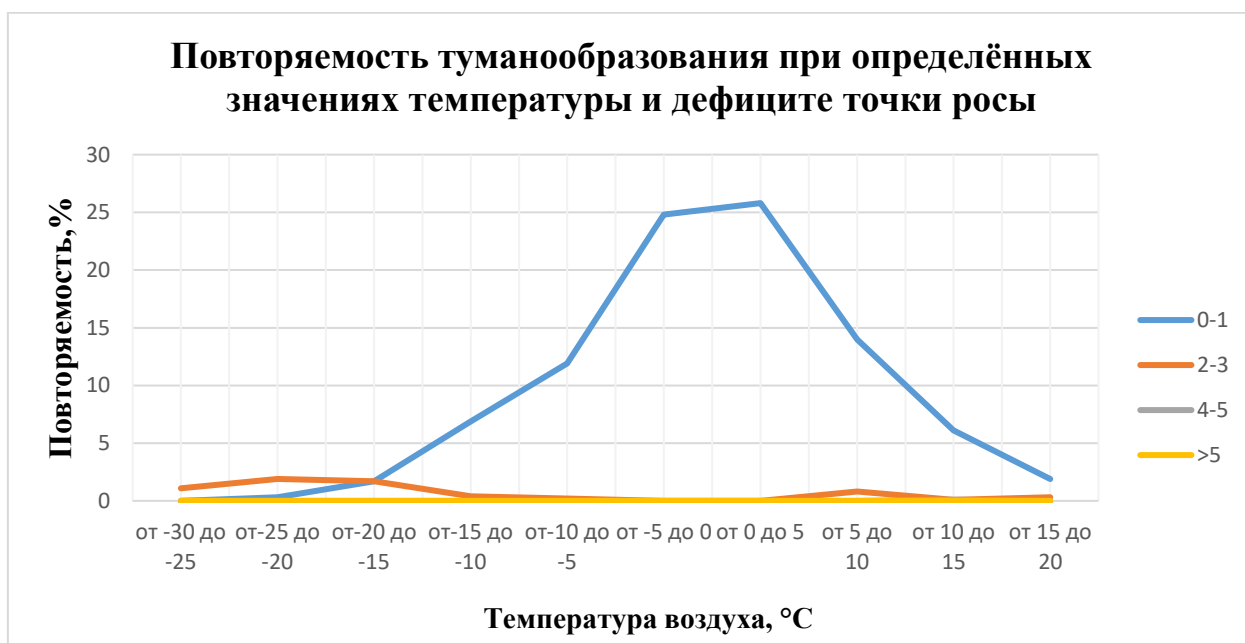
Наибольшую повторяемость туманообразования наблюдаем при дефиците точки росы от 0°С до 1°С которая составляет 93,4 %. Также по данным из таблицы видим, что при сочетании температуры воздуха от 0°С до 5°С составляет 25,8 % и от -5°С до 0°С составляет 24,8 % и дефиците точки

росы от 0°C до 1°C наблюдается наибольшая повторяемость туманов. При дефиците точки росы в пределах от 2°C до 3°C максимальное количество туманообразований при температуре воздуха от -25°C до -20°C составляет 1,9%, и при температуре воздуха от -20°C до -15°C составляет 1,7 %.

В холодное время года при температуре воздуха -15°C и ниже туманы образуются при значениях дефицита точки в пределах от 4°C до 5°C. В тёплое время года если дефицит точки росы имеет большое значение, то туманы не образуются.

На основании таблицы 3.5 построен график 3.5 повторяемости туманообразования при определённых значениях температуры и дефиците точки росы.

ГРАФИК 3.5 Повторяемость туманообразования при определённых значениях температуры и дефиците точки росы



Для анализа повторяемости туманообразования при различных сочетаниях направления и скорости ветра рассмотрим таблицу 3.6.

ТАБЛИЦА 3.6 Повторяемость, % туманообразования при различных сочетаниях направления и скорости ветра

Месяц	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °								Всего	Сумма всего
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
I	1-3	0,8	0,1	2,7	2,2	1,2	0,2	0,4	0	7,6	14,8
	4-6	0,2	0	0,6	0,9	1,9	0	0,3	0	3,9	
	≥7	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	2,3	
II	1-3	0,2	0,1	0,6	0,6	0,3	0	0	0	1,8	3,1
	4-6	0	0	0	0	0,3	0	0	0	0,3	
	≥7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
III	1-3	0	1	3	1,9	0,5	0,7	0,9	0,7	8,7	17
	4-6	0,1	0	1,1	0,9	1,4	0	0,2	0,4	4,1	
	≥7	0	0	0	0	1,2	0	0	0	1,2	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
IV	1-3	0,3	0,3	0,9	0,3	0,8	0,4	1,2	0,3	4,5	5,1
	4-6	0	0	0	0	0,2	0,3	0	0	0,5	
	≥7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
V	1-3	0,2	0,1	0	0,1	0	0,3	0,4	0	1,1	1,2
	4-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	≥7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
VI	1-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
	4-6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	≥7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
VII	1-3	0,1	0	0,5	0	0	0	0,8	0,3	1,7	2
	4-6	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1	
	≥7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	



ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛИЦЫ 3.6

Месяц	Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °								Всего	Сумма всего
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
		0,1	0	0	0	0,4	0,2	0	0,4		
	4-6	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1	
	≥7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	
IX	1-3	0,4	0,4	0,5	0,1	0,4	0	1,5	0,3	3,6	5,9
	4-6	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0,2	
	≥7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	
X	1-3	0,9	2,5	3,1	2,4	0,6	1,1	1,7	0,4	12,7	16,3
	4-6	0	0	0	0	0,5	0,2	0	0	0,7	
	≥7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	2,9	
XI	1-3	0,5	1,8	1,5	0,6	2,4	0,9	0,5	0,4	8,6	18,5
	4-6	0	0	0,6	0,5	4,1	0	0	0,1	5,3	
	≥7	0	0	0	0	2,1	0	0	0	2,1	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5	
XII	1-3	1,1	1,5	1,3	0,6	1	0,6	0,7	0	6,8	14,7
	4-6	0	0,1	0,9	0,8	3,3	0,2	0	0	5,3	
	≥7	0	0	0	0	0,5	0	0	0	0,5	
	Штиль	0	0	0	0	0	0	0	0	2,1	
Год	16,5	4,9	7,9	17,3	11,9	24,1	5,1	8,9	3,4	100	

По данным таблицы видно, что для каждого сезона года при образовании тумана свойственны слабые ветра от 0 до 3 м/с.

Максимальное количество туманов при скорости ветра от 1 м/с до 3 м/с всех направлений отмечалось в октябре и составило 12,7 %. При штиле повторяемость туманообразований составила 16,5 %.

Для скорости ветра от 4 м/с до 6 м/с максимальная повторяемость туманообразования для всех направлений отмечалось в ноябре и составило 5,3 % и в декабре 5,3 %.

При скорости ветра 7 м/с и больше туман образуется очень редко. Максимальная повторяемость наблюдалась в ноябре при южном направлении ветра и составило 2,1 %. Туманообразование при южном направлении ветра со скоростью 7 м/с и больше свойственно для адвективных туманов и фронтальных туманов.

Всего за год максимальное количество повторяемости туманообразований при любой скорости ветра отмечалось при южном направлении и составило 24,1 %. Для восточного и юго – восточного направления ветра при любой скорости повторяемость образований туманов составляет 17,3 % и 11,9 %. Для северного и северо – западного направления ветра при любой скорости повторяемость образований туманов составляет 4,9 % и 3,4 %.

На основании данных из таблицы 3.6 составлена таблица 3.7

ТАБЛИЦА 3.7 Повторяемость, % туманообразования при различных сочетаниях направления и скорости ветра

Скорость ветра, м/с	Направление ветра, °							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
1-3	4,6	7,8	14,1	8,8	7,6	4,4	8,1	2,8
4-6	0,3	0,1	3,2	3,1	11,7	0,7	0,8	0,6
≥7	0	0	0	0	4,8	0	0	0

По данным таблицы 3.7 построен график 3.6 Повторяемость скорости и направления ветра в момент образования тумана. При штиле данные о повторяемости туманообразований не указаны.

ГРАФИК 3.6 Повторяемость скорости и направления ветра в момент образования тумана



Для анализа повторяемости образований туманов при различных градациях горизонтальной видимости рассмотрим таблицу 3.8.

ТАБЛИЦА 3.8 Повторяемость, % горизонтальной видимости при туманах

Месяц	Видимость, м				Число случаев
	<200	<400	<800	<1000	
Январь	15,7	36,1	55,6	71,3	208
Февраль	28,9	43,8	60,9	71,1	237
Март	27,0	47,4	65,6	74,1	270
Апрель	21,9	51,6	68,8	78,9	131
Май	9,1	27,3	36,4	36,4	11
Июнь	17,4	21,7	30,4	34,8	23
Июль	9,1	27,3	36,4	36,4	11
Август	33,3	59,3	63,0	70,4	27
Сентябрь	18,8	30,7	46,5	54,5	105
Октябрь	20,7	37,8	56,7	67,1	164
Ноябрь	21,5	43,0	62,5	75,2	307
Декабрь	25,2	47,7	64,7	73,9	429
Год	23,1	43,4	61,0	71,1	1923

В таблице 3.8 показана повторяемость горизонтальной видимости при туманах за все месяца года. Проанализировав её можно сказать что при горизонтальной видимости менее 1000 м имеет наибольшую повторяемость 71,1 %. Максимальное количество случаев наблюдалось в апреле и составило 78,9 % и в ноябре 75,2 %. Минимальное число случаев горизонтальной видимости менее 1000 м наблюдалось в мае 36,4 % и в июле 36,4 %.

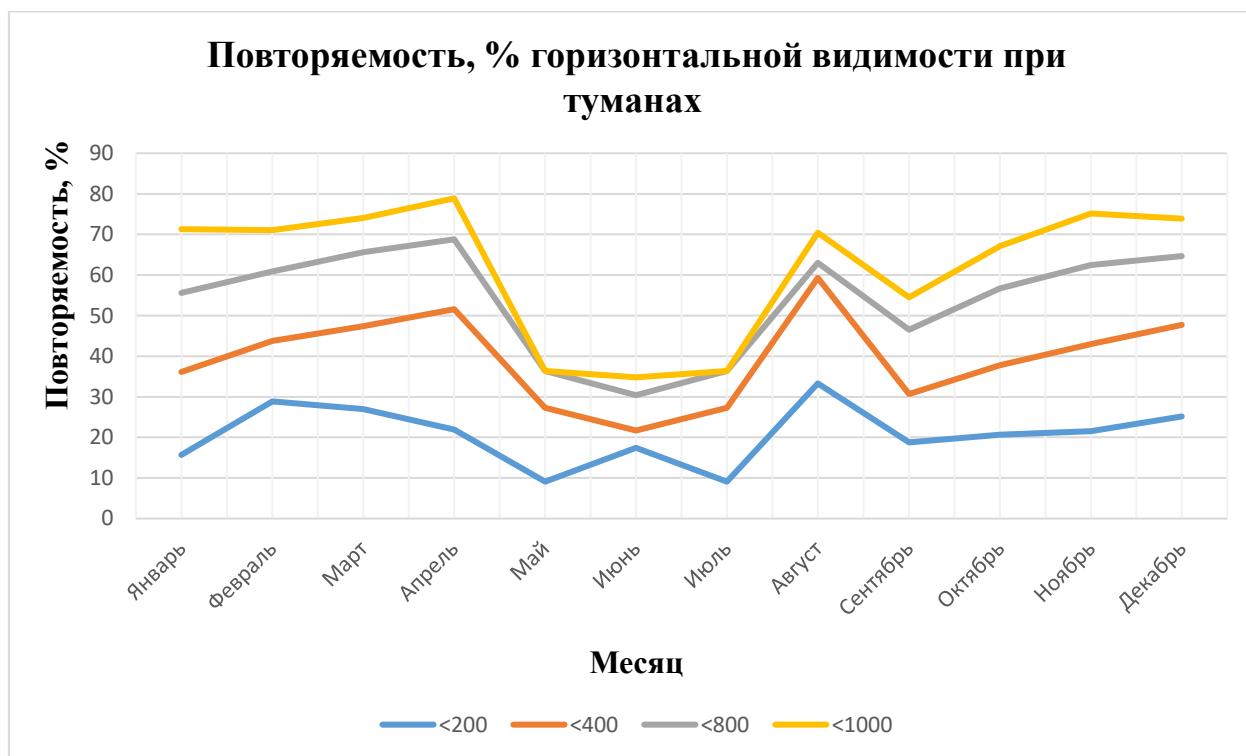
Горизонтальная видимость менее 200 м имеет наименьшую повторяемость и составляет 23,1 %. Максимальное количество случаев наблюдалось в августе и составило 33,3 % и в феврале 28,9 %. Минимальное число случаев горизонтальной видимости менее 200 м наблюдалось в мае и составило 9,1 % и в июле 9,1 %.

В итоге за год максимальное количество случаев туманообразований приходится на декабрь и составляет 429 случаев и в ноябре 307 случаев.

Минимальное количество туманообразований отмечается в мае и составляет 11 случаев и в июле 11 случаев.

На основании данных из таблицы 3.8 построен график 3.9 повторяемость, % горизонтальной видимости при туманах за все месяца года.

ГРАФИК 3.9 Повторяемость, % горизонтальной видимости при туманах



В таблице 3.9 приведена повторяемость градаций горизонтальной видимости при туманах.

ТАБЛИЦА 3.9 Повторяемость градаций горизонтальной видимости при туманах.

Время ВСВ	Видимость, м				Всего
	<200	<400	<800	<1000	
00	2,8	1,9	1,5	1	7,2
01	3	1,5	2	1	7,5
02	3,4	1,5	2,4	0,9	8,2
03	3,4	2,1	1,5	1,5	8,5
04	2,9	1,3	1,8	1	7

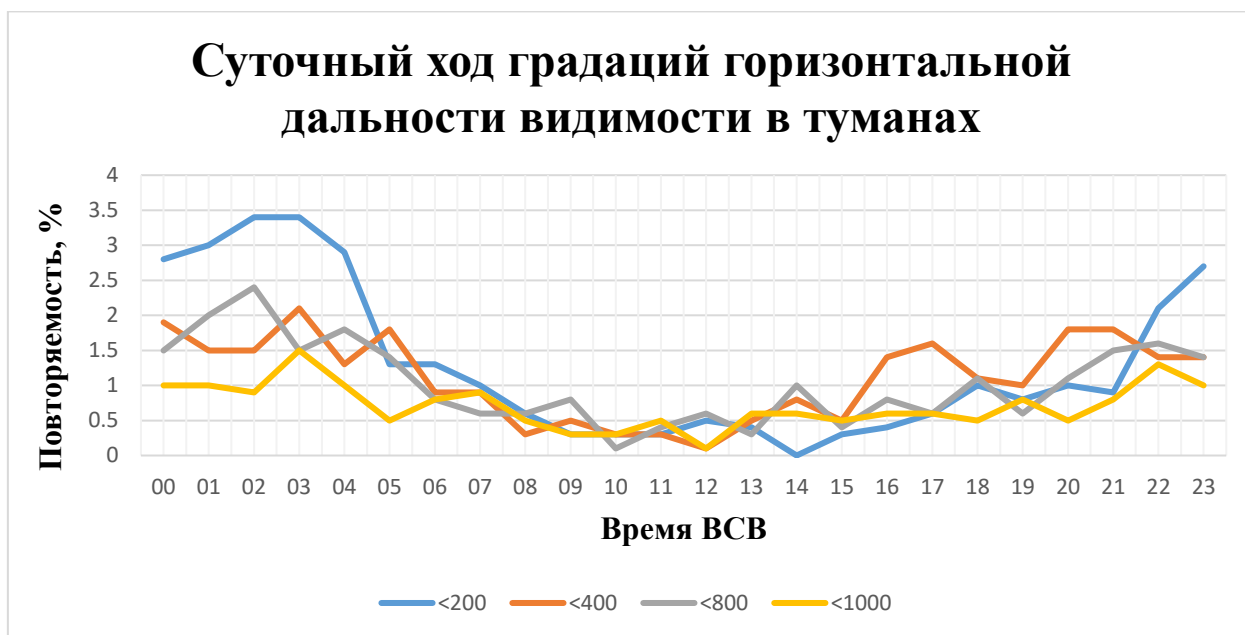
## ПРОДОЛЖЕНИЕ ТАБЛИЦЫ 3.9

05	1,3	1,8	1,4	0,5	5
06	1,3	0,9	0,8	0,8	3,8
07	1	0,9	0,6	0,9	3,4
08	0,6	0,3	0,6	0,5	2
09	0,3	0,5	0,8	0,3	1,9
10	0,3	0,3	0,1	0,3	1
11	0,3	0,3	0,4	0,5	1,5
12	0,5	0,1	0,6	0,1	1,3
13	0,4	0,5	0,3	0,6	1,8
14	0	0,8	1	0,6	2,4
15	0,3	0,5	0,4	0,5	1,7
16	0,4	1,4	0,8	0,6	3,2
17	0,6	1,6	0,6	0,6	3,4
18	1	1,1	1,1	0,5	3,7
19	0,8	1	0,6	0,8	3,2
20	1	1,8	1,1	0,5	4,4
21	0,9	1,8	1,5	0,8	5
22	2,1	1,4	1,6	1,3	6,4
23	2,7	1,4	1,4	1	6,5
всего	31,3	26,7	24,9	17,1	100

Исходя из таблицы видно, что туманы с видимостью менее 200 м имеют наибольшую повторяемость и составляют 31,3 %. Максимальную повторяемость туманообразований с видимостью менее 200 м наблюдались в сроки 02 и 03 часа (ВСВ), и составили 3,4 %. Наименьшую повторяемость туманообразований имеют туманы видимостью которых изменяется в пределах от 800 м до 999 м, и составляет 17,1 %. Туманообразования каждой интенсивности имеют выраженный суточный ход, который имеет максимум в ночные и утренние часы и минимум в дневное время суток. Максимальное туманообразование при любой интенсивности наблюдается в 3 часа (ВСВ), это соответствует 7 утра по местному времени и составляет 8,5 %. Туманы с видимостью менее 200 м имеют наиболее выраженный суточный ход.

На основании таблицы 3.9 построен график 3.10 суточный ход градаций горизонтальной дальности видимости в туманах.

ГРАФИК 3.10 Суточный ход градаций горизонтальной дальности видимости в туманах.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При метеорологическом обеспечении полетов воздушных судов и их планировании учитываются климатические условия. В климатической характеристике составленной для каждого аэропорта имеются сведения о явлениях и метеорологических величинах которые оказывают воздействия на работу авиации. На этих данных определяются часы времени суток или период времени года с определёнными неблагоприятными или благоприятными условиями для взлета или посадки воздушного судна, планируется применение аэродромной техники и рассчитывается объём загрузки. Правильное использование климатических материалов дает возможность повысить безопасность полетов.

Для анализа данной работы проводился анализ режима туманов в районе аэродрома Курумоч г. Самара. Был использован ряд ежечасных наблюдений в течении десяти лет, за период с 2010 по 2019 годы. Количество наблюдений составило 87571 случай. За данный период наблюдалось 1923 случая тумана.

В ходе проведения анализа получены следующие результаты. Туман имеет выраженный суточный и годовой ход. Для холодного периода года с октября по март образование туманов происходит в любое время суток с максимальным повторением в утренние часы. Для тёплого периода года с апреле по сентябрь туманы наблюдаются в часы близкие к восходу солнца или отсутствует совсем. Больше всего туманов возникают ночью, наибольшая интенсивность которых достигается к утру (1-3 часам ВСВ, 5-7 часов местного времени).

Для района аэродрома наиболее характерные по синоптическим условиям образования три типа: радиационные, адвективные и фронтальные. Радиационный туман имеет большую повторяемость так как он более характерный для данного аэродрома. Для образования радиационных



туманов самыми благоприятными синоптическими условиями являются северо-западная периферия и центральная часть антициклона, ось гребня, седловина. Этот туман имеет выраженный годовой ход. Самая большая повторяемость в осенне- зимний период с максимальным количеством в октябре, а минимальным количеством в июне. Как правило радиационные туманы развиваются ночью достигая максимума к утру, когда минимум температуры и максимум относительной влажности, и рассеивается после восхода солнца. Другие типы туманов усиливаются радиационными процессами, а значит повторяемость всех туманов максимальна ночью, и минимальна днём. Радиационные туманы в суточном ходе максимально повторяются в утренние часы 02-03 (ВСВ) что соответствует 06 – 07 часов по местному времени. Зимой в утреннее время, реже в дневное и вечернее время за счёт поступления дополнительных ядер конденсации от работающих двигателей воздушных судов при взлёте и посадке, а также при рулении по взлетно – посадочной полосе, возникают кратковременные туманы, видимость в которых ухудшается до 100 м и менее. Такие туманы наблюдаются в декабре и январе при температуре воздуха ниже  $-15^{\circ}$  и относительной влажности 80-90%.

Адвективный туман имеет меньшую повторяемость для района аэродрома. Такой туман имеет максимум в утренние часы и образуется в любое время суток. В теплое время года данный вид тумана практически не образуется. Самыми наилучшими синоптическими условиями для его образования является в холодной период адвекция тёплого влажного воздуха с запада и юго-запад на холодную подстилающую поверхность, это характерно для тёплого сектора циклона. Максимальное количество адвективных туманов наблюдалось в ноябре.

Очень редко в районе аэродрома отмечаются фронтальные туманы. Они образуются как правило в холодное время года в любое время суток. Наиболее благоприятными синоптическими условиями для их

образования является сравнительно узкая зона перед медленно движущимся тёплым фронтом, а также перед фронтом окклюзии по типу тёплого фронта, ну и за малоподвижным холодным фронтом. Максимальное количество фронтальных туманов наблюдалось в марте.

Максимальная повторяемость туманов имеет продолжительность 1 час и менее. Повторяемость туманов уменьшается по мере увеличения продолжительности. За десять лет наблюдений туман продолжительностью более 24 часов была два раза. Самыми продолжительными туманами за десятилетние наблюдения были в ноябре 2011 года (45 часов), и декабре 2013 года (33 часа). Максимум числа периодов тумана разной продолжительности был в марте (8,6 %), максимум общей продолжительности отмечалась в январе (32,0%).

Больше всего повторялись туманы при температуре воздуха от 0°C до 5°C, а дефицит точки росы был от 0°C до 1°C. Образование туманов уменьшалось, когда дефицит точки росы увеличивался. В холодное время года да при температуре воздуха -15,0°C и ниже туман образуется при значении дефицита точки росы от 4°C до 5°C, это больше подходит для радиационного тумана. При большом дефиците точки росы в тёплое время года туман не образуется.

Для образования тумана в любое время года характерны слабые ветры, скорость которых составляет от 0-3 м/с. При ветре с севера и северо-запада туманы имеют наименьшую повторяемость. Максимальное количество образования туманов (24,1%) наблюдается при южном ветре. В холодную половину года при южном направлении ветра со скоростью 7 м/с и более повторяемость туманообразований составила 2,1 %. Данные условия более характерны для адвективных и фронтальных туманов.

Туманы с видимостью менее 200 м имеют большую повторяемость (31,3%), а с видимостью от 800 м до 999 м имеют наименьшую повторяемость (17,1%). Максимальная повторяемость тумана с видимостью

менее 200 м наблюдается в 2-3 часа ВСВ (6-7 часов по местному времени) и составляет 3,4%. Одним из важнейших резервов повышения безопасности полёта является правильный учёт климатических условий. В повседневной прогностической работе синоптиками, диспетчерским и лётным составом при управлении и планировании воздушным движением используются анализ факторов, влияющих на образование тумана, а также данные о повторяемости и непрерывной их продолжительности.

Для написания этой дипломной работы было использовано 13 источников литературы.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ

- 1) Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Издание второе, переработанное и дополненное / Л. Т. Матвеев. – Л.: Гидрометиздат, 1984. – 752 с.
- 2) Зверев А. С. Синоптическая метеорология и основы предвычисления погоды / А. С. Зверев. – Л.: Гидрометиздат, 1968. – 774 с.
- 3) Курс метеорологии. Физика атмосферы / Под ред. П. Н. Тверского. - Л.: Гидрометиздат, 1951. – 888 с.
- 4) Гурильник И. И. Метеорология. Издание второе, переработанное и дополненное / И. И. Гурильник, Г. П. Дубинский. – Л.: Гидрометиздат, 1982.– 440 с.
- 5) Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Часть II / А. Д. Чистяков, М. В. Буркова, Е. М. Орлова. – Л.: Гидрометиздат, 1965. – 492 с.
- 6) Практикум по синоптической метеорологии / Под ред. В. И. Воробьёва. – Л.: Гидрометиздат, 1983. – 288 с.
- 7) Богаткин О. Г. Авиационные прогнозы погоды / О. Г. Богаткин, Г. Г. Тараканов. – СПб.: ООО Савож, 2007. – 270 с.
- 8) Воробьёв В. И. Синоптическая метеорология / В. И. Воробьёв. – Л.: Гидрометиздат, 1991. – 616 с.
- 9) Баранов А. М. Авиационная метеорология / А. М. Баранов, С. В. Солонин. – Л.: Гидрометиздат, 1975. – 392 с.
- 10) «Климатическая характеристика аэродрома Курумоч г. Самара 2006 – 2019 гг.» АМЦ Самара в электронном виде.

11) Маховер З. М. Методические указания по составлению климатической характеристики аэродрома / З. М. Маховер. – Л.: Гидрометиздат, 1989. – 37 с.

12) С. П. Хромов Л.И. Мамонтова Метеорологический словарь Гидрометеоиздат, 1974г.

13) <http://ecopassport.samregion.ru/>