



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

Кафедра экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему: «Туманы в районе аэродрома Петропавловск-Камчатский»

Исполнитель

Игнатьев Алексей Олегович

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Симакина Татьяна Евгеньевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Восканян Карина Левановна

(фамилия, имя, отчество)

« 30 » мая 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

	стр.
Введение.....	3
1.Туманы, их виды и классификация.....	5
1.1 Прогноз туманов.....	10
1.2 Прогноз радиационных туманов.....	13
1.3 Прогноз фронтальных туманов.....	18
1.4 Прогноз адвективных туманов.....	19
1.5 Туманы испарения.....	21
2 Климатическая характеристика аэродрома Петропавловск- Камчатский.....	23
2.1 Физико-географическая характеристика аэропорта.....	23
2.2 Климатическая характеристика аэропорта Петропавловск- Камчатский.....	26
3 Режим туманов в аэропорту Петропавловск-Камчатский.....	36
3.1 Синоптические условия возникновения туманов в аэропорту Петропавловск-Камчатский.....	42
3.2 Рекомендации к прогнозу тумана в районе аэродрома Петропавловск-Камчатский в теплое полугодие.....	46
Заключение.....	50
Список литературы.....	52

Введение

Качественное развитие современной авиации, введение в эксплуатацию новых воздушных судов, расширение сфер их применения, а также увеличение количества и продолжительности перелетов поднимают планку требований к метеорологическому обеспечению и к достоверности прогнозов погоды для авиации.

Одним из факторов, наиболее сильно влияющих на работу аэродрома, является туман. Наличие тумана сопровождается резким ухудшением видимости на взлетно-посадочной полосе и в районе аэродрома. Туман делает взлет или посадку самолета крайне затруднительными и небезопасными. Нередко продолжительное нахождение тумана на аэродроме приводит к его закрытию. Отметим, что степень влияния тумана на работу авиации максимальна. Перед посадкой или взлетом самолета в условиях плохой видимости, нужно провести целый ряд процедур, обеспечивающих безопасность данной операции. Важно то, что возникновение тумана оказывает крайнее негативное влияние на работу аэродрома. Поэтому необходимо решать задачу прогнозирования данного явления.

Для обеспечения безопасности полетов нужно осуществлять постоянный мониторинг метеоусловий и устанавливать степень их влияния на качество полетов. Прогнозирование – это важный элемент подготовки, который позволяет повысить безопасность и эффективность авиасообщения.

Целью данной работы является анализ туманов в районе аэродрома Петропавловск-Камчатский для повышения надежности их прогнозов. Мы рассмотрим статистические данные о туманах за период с 2018 по 2022 годы и разработаем рекомендации по их прогнозированию.

В первой главе диплома рассматриваются условия образования туманов. В неё же включена классификация туманов, а также основные процессы, приводящие к их образованию. Описаны синоптические условия образования туманов, их влияние на полёт воздушных судов в аэропорту Петропавловск-Камчатский.

Во второй главе приведена краткая физико-географическая и климатическая характеристика аэропорта Петропавловск-Камчатский.

В третьей главе проведен анализ режима туманов в районе аэродрома Петропавловск-Камчатский и рассчитаны климатические показатели туманов. Даны рекомендации для расчета минимальной температуры на ночь и температуры туманообразования в тёплый период года.

1. Туманы, их виды и классификация

Туманы считаются неблагоприятным погодным явлением, которое значительно затрудняет движение всех видов транспорта, в том числе и авиационного. Плотные туманы снижают видимость, что зачастую приводит к задержкам и отменам рейсов. В нашей стране наибольшее количество таких задержек происходит обычно осенью и весной.

Пилоты десятилетиями совершенствуют свои навыки управления самолетом в условиях низкой видимости, используя разнообразные приборы и системы, помогающие ориентироваться при плохой видимости. Однако, безопасность остается на первом месте, и при видимости ниже определенного уровня полеты отменяются или откладываются.

Расчет метеорологической видимости (S_m) и высоты нижней границы облаков (ВНГО) важен для принятия решений в авиации. Когда видимость или высота нижней границы облаков опускаются ниже нормативных значений, заход на посадку становится невозможным.

Также, необходимо учитывать, что причиной многих авиационных происшествий в тумане является неспособность пилотов своевременно оценить расстояние до полос и препятствий. Поэтому, в условиях густого тумана взлет и посадка самолетов могут быть приостановлены до улучшения видимости.

Все эти меры предосторожности необходимы для обеспечения безопасности пассажиров и экипажа, а также для предотвращения возможных аварий, связанных с неблагоприятными погодными условиями.

В практике обеспечения полетов часто приходится сталкиваться с тем, что посадочная ($S_{\text{пос}}$) и метеорологическая видимость (S_m) значительно отличаются друг от друга. На рисунке 1.2 приведены примеры различных метеорологических ситуаций, когда $S_{\text{пос}}$ меньше S_m и $S_{\text{пос}}$ больше S_m .

Действительно, пилот из кабины самолета увидит взлетно-посадочную полосу только после выхода из облаков (см. рис 1.2а). Поэтому при низких

облаках посадочная видимость всегда будет ограничена при любой видимости у земли.

Обратная картина наблюдается при наличии на аэродроме наземного тумана. Метеонаблюдатель в данной ситуации (см. рис. 1.2б) укажет видимость менее 1000м, а пилот из кабины самолета будет хорошо видеть все наземные ориентиры [2].

Связь между посадочной и метеорологической видимостью неоднозначна и достаточно сложна. Посадочная видимость зависит от высоты и структуры подоблачной дымки, прозрачности атмосферы на конечном участке глиссады, а также от светотехнических характеристик взлетно-посадочной полосы. Наиболее часто уменьшение горизонтальной метеорологической дальности видимости до пределов меньше установленных минимумов для взлета и посадки воздушного судна вызывают туманы.

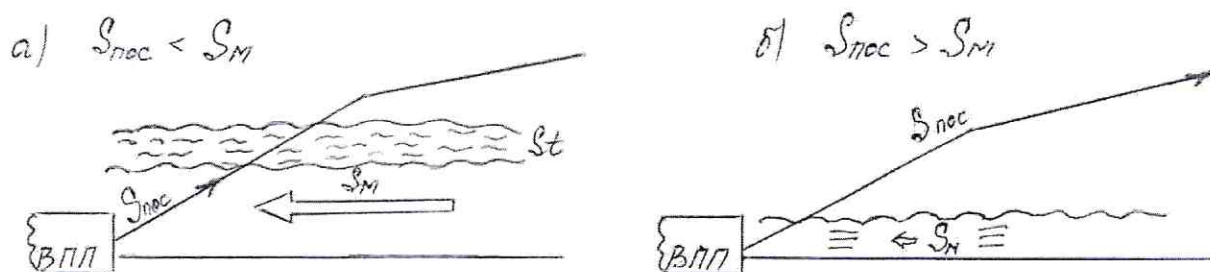


Рис. 1 - Метеорологические ситуации, приводящие к различию между посадочной и метеорологической видимостью.

Иная ситуация наблюдается при наземном тумане на аэродроме. Метеонаблюдатель в таком случае (см. рис. 1.2б) укажет видимость менее 1000 м, и пилот будет ориентироваться по наземным ориентирам [1].

Связь между посадочной и метеорологической видимостью неоднозначна и зависит от особенностей аэродрома. Посадочная видимость определена текущими метеоусловиями и различима благодаря световому оборудованию на взлетно-посадочной полосе. Чаще всего ухудшение горизонтальной

метеорологической видимости связано с туманами, которые могут снизить установленные минимумы для взлета и посадки воздушных судов.

Водяной пар является одной из основных переменных компонентов воздуха в тропосфере. При определенных условиях он конденсируется и сублимируется, что приводит к образованию маленьких капель воды или ледяных кристаллов. Этот процесс, происходящий у поверхности земли, приводит к появлению дымки или тумана.

Капельки воды и ледяные кристаллы, находящиеся в воздухе практически в взвешенном состоянии, уменьшают прозрачность атмосферы, что ухудшает видимость. Если уровень видимости на горизонте становится менее 1000 метров, это явление называется туманом или дымкой.

Видимость в атмосфере также может ухудшаться из-за присутствия в воздухе мелких частиц пыли, соли или продуктов промышленной деятельности. Однако для тумана основной причиной является конденсация влаги.



Рис. 2 – Радиационный туман на аэродроме

Туманы классифицируются по различным признакам. Основные из них - условия возникновения (например, радиационные, адвективные), уровень плотности и места образования (например, в долинах, над водоемами)

Радиационные туманы образуются при охлаждении земной поверхности ночью, в то время как адвективные туманы формируются при переносе теплого и влажного воздуха над холодной поверхностью.

Туманы могут быть очень плотными или более легкими. Морские туманы, например, часто возникают из-за взаимодействия теплых океанских течений с холодным воздухом и являются более плотными.

Таким образом, туманы играют важную роль в климатической системе и оказывают значительное влияние на видимость и прозрачность воздуха.

По значениям горизонтальной видимости определяют интенсивность туманов. Туманы бывают очень сильные (видимость менее 50 м.), сильные (50-200 м.), умеренные (200-500 м.) и слабые (500-1000 м.)

Туманы различают и по условиям их возникновения. Если туманы возникают в однородной воздушной массе, то они называются внутримассовыми. Туманы, которые образуются в зонах атмосферных фронтов, называются фронтальными.

По высоте распространения туманы бывают низкими

Если рассматривать туманы по физическим причинам возникновения туманов, то бывают туманы испарения, туманы охлаждения и туманы смешения.

К туманам испарения можно отнести осенние туманы над озерами и реками и морские туманы.



Рис.3 – Туманы испарения

К туманам охлаждения можно отнести радиационные туманы, адвективные туманы и туманы склонов (восхождения). Существуют также и адвективно-радиационные туманы, которые образуются при адвекции теплого влажного воздуха и его последующего выхолаживания в ночные часы.

Адвективно-радиационные туманы формируются в результате движения теплого влажного воздуха и его последующего охлаждения в ночные часы.

Туманы встречаются практически в любой местности, причём с увеличением их частота наблюдения возрастает от низких широт к высоким. Например, на территории европейских стран среднее количество туманных дней достигает от 20 до 80 в год. Важную роль в образовании туманов играет орографический эффект.[2]



Рис. 4 – Адвективный туман на аэродроме

На земном шаре туманы часто фиксируются в полярных и приполярных областях, где в некоторых районах их число может достигать до 100 дней в году. Максимальное количество туманных дней наблюдается у побережий морей и океанов, а также на территориях с повышенной влажностью воздуха.

Из-за опасности, которую представляют туманы для воздушного, морского и наземного транспорта, особого внимания заслуживают методы их прогноза.

1.1 Прогноз туманов.

Существует множество способов предсказания образования туманов. Некоторые из них основаны на широко известны метеорологических параметрах, таких как температура, влажность воздуха и скорость ветра. Другие методы предполагают использование сложных математических моделей, учитывающих специфические условия местности.

Сегодня накоплен значительный опыт в области прогнозирования появления туманов. Особенно важны знания об условиях, способствующих образованию туманов во время охлаждения после дневного прогрева, а также в результате движения воздушных масс с морских территорий на сушу. Автоматические системы прогнозирования, учитывающие подобные факторы, значительно повышают точность прогнозов туманов.

Значительные усилия вкладываются в изучение и прогнозирование туманов различного генезиса, учитывая локальные особенности каждой конкретной территории. Современные технологии и методы способствуют повышению точности и эффективности прогнозов туманов, что крайне важно для обеспечения безопасности человека и техники в условиях ограниченной видимости.

Для составления прогноза тумана в первую очередь оценивают синоптическую ситуацию. Для каждого региона можно выбрать характерные метеорологические условия, способствующие образованию тумана.

Существует множество методов прогнозирования тумана, которые основываются на таких факторах, как скорость ветра, наличие облачности, состояние подстилающей поверхности, температура и влажность воздуха, дефицит точки росы, наличие осадков, продолжительность радиационного выхолаживания ночью, верхние слои воздуха и другие показатели.

Для расчета прогноза тумана используются наблюдаемые данные метеорологических станций, такие как температура воздуха и температура точки росы. Повышение температуры воздуха при неизменной температуре точки росы приводит к уменьшению вероятности тумана, так как относительная влажность воздуха уменьшается. Для мониторинга изменения этих параметров применяют графики, выгруженные из метеостанций.

Известно, что образование и рассеивание тумана зависят также от термодинамических процессов, приводящих к достижению или превышению уровня насыщения воздуха водяным паром. На это влияют изменение температуры, масса воздушных потоков, состояние атмосферы и

микрофакторы, такие как направление ветра, особенности ландшафта и возможные источники загрязнений.[2]

Рассказать о прогнозе таких процессов можно на основе компьютерных моделей, которые включают данные множества атмосферных слоев и переменных. Современные модели используют более сложные алгоритмы и включают микромодульные вычисления для точного прогноза.

За последние десятилетия методы прогнозирования тумана заметно улучшились. Даже при наличии некоторых неопределенностей, связанных с изменчивостью метеорологических и синоптических условий, современные прогнозные модели предоставляют точные и актуальные данные. Это позволяет эффективно планировать деятельность на основе прогноза тумана.

К основным микрофизическим характеристикам тумана относят размеры атмосферных частиц, их бедность, оптическую плотность и взаимосвязь с состоянием атмосферы. Эти данные приносятся для корректировки моделей и оптимизации системы предсказания тумана.

Даже при одинаковых метеорологических и синоптических условиях в одних районах туманы могут возникать, а над другими - отсутствовать. Туман или густая дымка может наблюдаться при относительной влажности около 90%, то есть даже не при полном, относительном насыщении водяного пара, а в некоторых случаях ни тумана, ни густой дымки не наблюдается при относительной влажности 100%.

Капельки воды и кристаллики льда имеют следующий набор характеристик:

- Преобладающие размеры кристаллов льда и капель воды, а также их формы;
- Количество частиц тумана в определенном объеме воздуха (объемная концентрация);
- Водность туманов, измеряемая по количеству конденсированной воды на единицу объема воздуха;

- Количество электрических зарядов, которые содержат частицы тумана;
- Химический состав аэрозольных частиц и другие параметры.

Из-за сложности полного учета всех этих характеристик, прогнозирование туманов часто затруднено. Поэтому для предсказания туманов применяют эмпирические методы и большое количество численных данных.

Многие ученые занимались вопросами образования тумана и большие заслуги в этой области принадлежат таким ученым, как М. Е. Берлянд, А. С. Зверев, Н. В. Петренко, Л.Т.Матвеев, Б. В. Кирюхин, Л. Г. Качурин, И. В. Кошеленко и др.

При проведении исследований сотрудники выполняют большую часть работы в специализированных лабораториях. Здесь они используют одновременно теоретические модели и данные наблюдений для улучшения точности прогнозирования тумана. Современные методы, используемые в метеорологических службах, базируются на этих научных достижениях.

Рассмотрим методы прогноза туманов, которые используются в оперативной службе погоды.[5].

1.2 Прогноз радиационных туманов.

Для образования радиационных туманов наиболее благоприятными условиями являются:

- центральные части антициклонов;
- оси гребней и отрогов высокого давления;
- барические седловины; размытые барические поля.

Для образования радиационного тумана необходимо:

- достаточная влажность воздуха в нижних слоях, близкая к состоянию насыщения;
- малооблачная или безоблачная погода;

- штиль или слабый ветер у земной поверхности (1—3 м/с).
- устойчивая стратификация атмосферы, часто с приземной инверсией;
- достаточная длительность периода охлаждения.

Как уже говорилось выше, при прогнозе радиационных туманов необходимо учитывать следующие факторы:

- продолжительность ночного выхолаживания;
- характер облачного покрова;
- скорость и направление ветра;
- исходные значения температуры и влажности воздуха;
- характер подстилающей поверхности;
- характер стратификации воздушной массы.

При прогнозе радиационных туманов сначала определяют температуру туманообразования T_T и минимальную температуру воздуха ночью $T_{\text{мин}}$. Если $T_{\text{мин}} > T_T$, то возникновение тумана маловероятно, если же $T_T > T_{\text{мин}}$, то в таком случае прогнозируют туман.

Температуру образования тумана рассчитывают по формуле:

$$T_T = Td - \delta Td \quad (1.1)$$

где: Td – температура точки росы в срок, близкий к заходу солнца (± 2 часа); δTd – возможное понижение температуры точки росы ночью от начального срока до момента образования тумана.

Значение δTd зависит от температуры точки росы в исходный срок и может быть определена по таблице 1.1

Таблица 1.1 - Средние величины понижения точки росы в зависимости от ее значения в 18 ч при слабом ветре, без учета вертикального градиента T_d

Точка росы T_d , °C	Средняя величина δT_d , °C
от 20 до 11	1,4
от 10 до 0	1,6
от -1 до -10	2,0
от -11 до -20	2,5
от -21 до -30	2,3

Если величина вертикального градиента T_d небольшая, то значение δT_d несколько уменьшается.

Анализ множества случаев образования туманов показал, что понижение температуры воздуха до уровня точки росы, наблюдающегося при закате солнца, предшествует туманообразованию. Далее температура воздуха продолжает снижаться ниже точки росы (T_d) после захода солнца, что и вызывает появление тумана.

Также было установлено, что если ожидаемое понижение температуры до точки росы после захода солнца составляет более 1°C, вероятность образования тумана превышает 10%. В тех случаях, когда понижение температуры достигает этого уровня в сочетании с ясным небом ночью и снижением температуры ниже точки росы уже за час до заката солнца, образование тумана становится почти неизбежным.

Для определения T_t используют график **Петренко Н.В.**, входными параметрами, который объединяет горизонтальное температурное распределение и вертикальный градиент температуры в приземном слое.

Существуют графики зависимости видимости в тумане от его плотности, а также графики плотности тумана относительно температуры воздуха и его изменения. Эти инструменты позволяют предсказывать интенсивность и продолжительность туманности.

Наиболее точный алгоритм прогноза и анализа радиационного тумана был предложен Зверевым А.С., и используется в современных метеорологических исследованиях. Учитывая, что ночное понижение температуры зависит от облачности, относительной влажности воздуха, скорости ветра и состояния подстилающей поверхности и продолжительности ночного времени, и используя статистические данные за многолетний период наблюдений, были построены диаграммы и графики для расчета понижения температуры T . С помощью этих графиков можно определить возможность возникновения тумана или густой дымки, а так же время их образования или рассеяния.

М. Е. Берлянд предложил метод прогнозирования радиационного тумана. Этот метод учитывает температуры и точки росы в предыдущие сутки, характеристики почвы, наличие облаков, время восхода солнца и предполагаемую скорость ветра. Прогнозирование по методу Берлянда показывает хорошие результаты при условиях устойчивой погоды, в частности при медленном ветре и высоком уровне влажности в атмосфере

При прогнозе **морозных туманов** учитывают дополнительные источники водяного пара и ядер конденсации (дым от печей, работа двигателей и двигательных установок, котельных и т.д.). При низких температурах воздуха (ниже -39°C) все капли воды замерзают и туман состоит только из ледяных кристаллов (ледяной туман). При таких морозах количество водяного пара, поступающего в атмосферу, зависит от количества и вида топлива, скорости его сгорания. Сгорание топлива приводит к поглощению кислорода и выделению водяного пара в атмосферу вместе с отработанными газами. Количество водяного пара рассчитывают по формулам, которые учитывают массу сжигаемого топлива, площадь распространения продуктов сгорания, толщину слоя распространения водяного пара и скорость ветра. Далее по диаграмме определяют изменение точки росы δT_d .

В результате анализа этих данных был предложен усовершенствованный метод, который учитывает массу испарений и распределение облаков, чтобы

улучшить точность прогнозов. Далее применяются алгоритмы моделирования изменчивости скорости ветра.

Для оценки вероятности появления радиационного тумана разработан ряд алгоритмов, учитывающих локальные условия и природу возникновения туманов. Эти алгоритмы помогают увеличить точность прогнозов независимо от условий в конкретной местности, учитывая горизонтальную и вертикальную плотность туманов.

Известно, что радиационный туман летом обычно рассеивается через 1-2 часа после рассвета при ясной погоде, но устанавливается на 3-5 часов при значительной облачности. В зимнее время туман сохраняется дольше, особенно при наличии мощного инверсионного слоя. Он может исчезнуть только в течение суток, если не произойдет смена синоптической ситуации.

При усилении ветра или начале осадков туман может рассеяться в любое время.

Радиационный туман рассеивается, когда температура воздуха становится выше температуры образования тумана на величину T_d .

Для прогнозирования времени рассеивания тумана применяются графики зависимости времени его рассеивания от температуры воздуха и дефицита точки росы. Прогнозирование сезонных изменений высоты облачности выполняется с использованием аналогичных методов.

Туман может образовываться в течение месяца, особенно в первой половине, в тыловой зоне теплого фронта. В летний период облака быстро исчезают, а в холодный сезон могут наблюдаться дольше.[2]

Для определения времени рассеивания тумана используют графики – график прогноза температуры рассеяния тумана, график определения времени рассеяния тумана в зависимости от его мощности и состояния поверхности почвы, график определения времени рассеяния тумана по характеру суточного хода температуры T и T_d и другие графики.

При рассеивании радиационных туманов у земли часто возникают низкие слоистые разорванные облака (St fr), которые могут закрывать все небо. Летом такие облака быстро исчезают, а в холодный период года могут наблюдаться длительное время.

1.3 Прогноз фронтальных туманов.

Фронтальные туманы прогнозируют, опираясь на данные атмосферного фронта, показатели скорости ветра и ожидаемое количество осадков в зоне фронта.

Прогнозирование фронтального тумана возможно и графически (рис. 5).

Прогноз фронтального тумана можно осуществить и графическим способом (рис. 4).

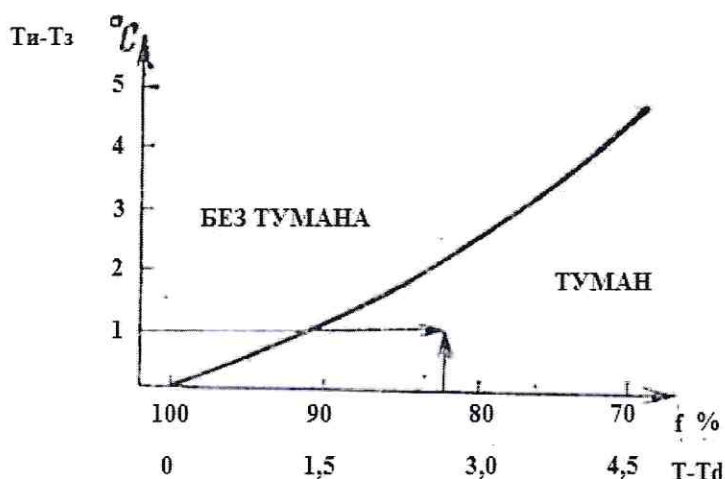


Рис. 5 - График для определения образования фронтального тумана

На горизонтальной оси графика откладывается дефицит точки росы или относительная влажность у поверхности земли в холодном воздухе, а на вертикальной оси - разность температур на верхней границе фронтальной инверсии и на высоте 2 м у поверхности земли ($T_n - T_z$). В том случае, когда точка, соответствующая дефициту точки росы и разности температур ($T_n - T_z$), оказывается на графике выше кривой, то выпадающие капли дождя будут уменьшать относительную влажность в пленке холодного воздуха и

препятствовать образованию тумана, а если в зоне фронта туман был, то дождь будет вызывать его рассеяние или ослабление. Если точка располагается ниже кривой, то дождь или морось будет увеличивать влажность и приводить к образованию тумана или к усилению ранее возникшего тумана.

1.4 Прогноз адвективных туманов.

Адвективные туманы возникают, когда относительно тёплая и влажная воздушная масса охлаждается при перемещении на холодную подстилающую поверхность. Эти туманы могут появляться в любое время суток и при наличии слабого ветра, который способствует процессу охлаждения и обогащает воздух влагой. Наибольшая вероятность возникновения этих туманов — в переходные сезоны года и зимой.

Для того чтобы определить возможность возникновения адвективного тумана, в прогнозе учитываются следующие факторы:

- Перемещение существующих зон тумана;
- Адвективные изменения температуры и точки росы в приземном слое;
- Возможность снижения облаков до уровня земли;
- Охлаждение воздуха в процессе ночного радиационного выхолаживания.

Для прогнозирования адвективных туманов используются графики и диаграммы. Определяют траектории частиц воздуха, которые смещаются из ненасытной черты (пункт прогноза), чтобы вычислить горизонтальный градиент температуры вдоль пути, перемещаемого по графику при двух скоростях ветра. Кроме того, принимается во внимание уровень смачиваемости земли путем сравнения минимума температуры воздуха с температурой точки росы, зарегистрированной на расположенной выше станции (пункт прогноза).

Щедриной А.А. был предложен график для прогнозирования адвективного тумана для района города Минска. График позволяет определять возможность образования туманов через анализ адвективных изменений

температуры и точки росы при благоприятных метеорологических условиях, включающих приуроченность к температуре поверхности земли, радиационное выхолаживание и другие факторы.

В прибрежных морских районах, когда тёплый морской воздух переносится на холодную сушу, часто наблюдаются адвективные туманы. В частности, согласно классификации Л.А. Ключникова, адвективный туман является одним из типов осенне-зимних обстоятельств, обусловленных интенсивным охлаждением.

Прогноз адвективного тумана вблизи берегов морей предполагает учет движения массы теплого земного воздуха на холодную поверхность моря, что приводит к образованию условий для возникновения данного типа тумана.

Атмосферные явления, связанные с большими горизонтальными градиентами температуры вдоль траектории перемещения воздушных масс, часто приводят к формированию адвективных туманов.

Для предсказания рассеивания адвективных туманов учитываются следующие факторы:

- прекращение притока тепла при изменении направлений ветра;
- продвижение тёплого воздушного сектора циклонов на территорию охлаждения;
- повышение температуры точки росы в связи с конденсацией или поступлением в атмосферу водяного пара;
- усиление турбулентного обмена при увеличении удельной влажности с высотой;
- более интенсивные осадки, вызывающие процесс передвижения (капли воды, снег, кристаллы льда) и способствующие охлаждению воздуха.

При рассеивании адвективных туманов с применением этих факторов также важны следующие уточнения:

- В ночное время, когда холодный воздух распространяется по земной поверхности, образуются адвективные туманы на фоне низких температур.

– В большинстве случаев такой тип туманов сопровождается значительным снижением видимости и дополнительным охлаждением поверхности земли, что усугубляет процесс туманообразования.

1.5 Туманы испарения.

Туманы испарения — явление, возникающий при соприкосновении влажного воздуха с поверхностью воды, температура которой выше температуры окружающего воздуха не менее чем на 10-15°C. Показатель влажности при этом превышает 70% и способствует образованию тумана. Также значительное образование воздушных масс происходит при температуре воды до 25-30°C — в таких условиях влажность становится практически максимальной и туман достигает 100%. Туманы испарения часто образуются над незамерзаемыми водоёмами зимой.

Эти туманы не исчезают мгновенно и могут сохраняться длительное время, особенно в условиях стабильной влажности и отсутствия значительных перемен температуры воздуха.

Туманы испарения могут наблюдаться и в глубине континентов. Так, например, если осадки в виде дождя выпали на теплую поверхность, а потом прошел холодный фронт, то над сырой почвой (заболоченными районами) образуются туманы испарения.

Для возникновения туманов значительные испарения в сочетании с благоприятными метеорологическими условиями, такими как температурная инверсия и слабые ветры, играют ключевую роль. Туманы испарения формируются в открытых водоемах, часто вследствие циклонической активности или холодных фронтов.

Эти туманы можно наблюдать даже вдали от моря, в глубоких континентальных районах. В частности, они часто появляются, когда после теплого дождя резко охлаждается земная поверхность. Особенно часто такие

случаи наблюдаются во время прохождения холодных фронтов или при сырой погоде.

2 Климатическая характеристика аэродрома Петропавловск-Камчатский

2.1 Физико-географическая характеристика аэропорта.

Известно, что географические факторы определяют характер протекания климатообразующих процессов в определенной местности и тем самым оказывают значительное влияние на климат. К таким факторам относятся: географическая широта местности, характер подстилающей поверхности, оторванность от больших масс воды, удаленность до океанов и морей. Рассмотрим, как влияют эти факторы на климатические характеристики аэродрома Петропавловск-Камчатский.

Камчатская область располагается в восточной части России и простирается с севера на юг, занимая интерконтинентную среднюю и южную части Камчатского полуострова. С севера на юг, занимая интерконтинентную среднюю и южную части Камчатского полуострова. Самой северной точкой Камчатки является мыс Поворотный ($65^{\circ}38'$ северной широты), самой южной – мыс Лопатка ($51^{\circ}43'$ северной широты).[11]

Рассматриваемая территория аэродрома Петропавловск-Камчатский находится в датском районе Камчатки, на юге полуострова Камчатка, на входе в бухту.

Аэродром находится в гористой местности и рельеф является результатом вулканогенных процессов. В пределах аэродрома есть несколько вулканов, которые на разной степени активности их частью являются молодыми. Высота вулканов варьируется от 1500 до 3400 метров над уровнем моря. В результате вулканической активности возникли угловые и конусные формы рельефа, а также лавовые поля. Особое место занимают возвышенности, образующие крупные линии разломов, которые часто продолжаются и на территории ближних соседств. Основные вулканы, которые находятся в пределах аэродрома или близко к нему, это – Авачинский, Корякский, Жупановская сопка и Вилучинская сопка.

В радиусе 50 км. от аэродрома расположено много рек, долинах которых наблюдаются тундровые болота - реки Жупонова, Авача, Плотникова и другие. В районе аэродрома находится много небольших озер.

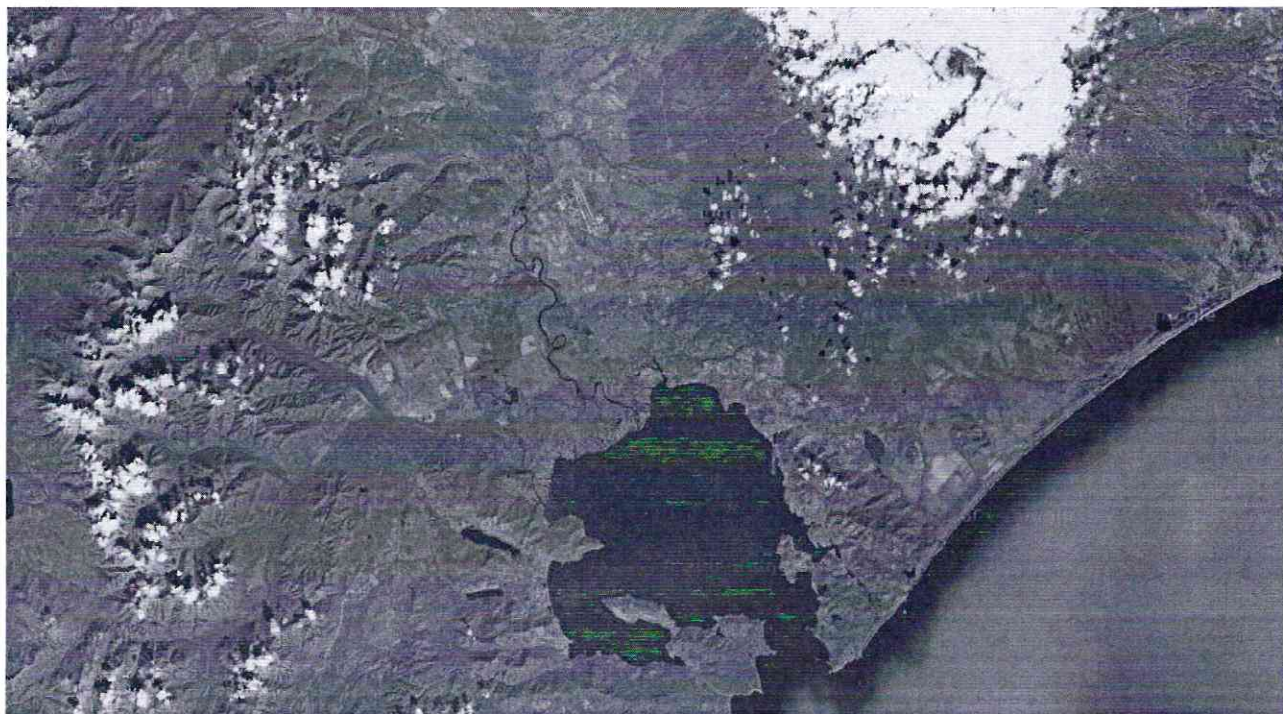


Рис 2.1 - Район аэродрома Петропавловск-Камчатский



Рис. 2.2 - Аэродром Петропавловск-Камчатский

Завершая, следует отметить, что рельеф Камчатского региона в основном характеризуется как горный. Восточную часть этого района, где находится аэродром, омывают воды Тихого океана с его многочисленными заливами и бухтами.

Рассмотрим западное побережье Камчатки более подробно. В южной части преобладают низменности, переходящие в бугристые участки. Здесь располагаются длинные песчаные косы, отделяющие от открытого моря небольшие лагуны, таинственно удаленные от берега. Продвигаясь к северу, попадаем в залив Хайрюзовка, где побережье становится значительно более крупным. Здесь находятся многоводные бухты и массивные мысы.

Восточное побережье Камчатки в основном представлено широкими бухтами, крупными лагунами и мысами. Эти бухты хорошо защищены от штормов обширными мысами, которые также уменьшают силу ветра, облегчая швартовку судов. Для восточных бухт характерна повышенная глубина, что облегчает их использование для стоянки судов.

Климатические условия Камчатки обусловлены наличием таких горных хребтов, как Восточный и Центральный. На юге, переходящие в низменности, они создают специфические климатические условия. Высокие горные хребты рядом с западным побережьем обеспечивают защиту от сильных ветров, в то время как открытое восточное побережье делает климат в этой зоне более прохладным и ветреным.

Ветер и климатические условия региона зависят от рельефа Камчатки. Восточные склоны гор чаще подвержены сильным ветрам и частым снегопадам. Наличие горных хребтов создает условия для повышенной влажности.

Отдельно следует отметить, что на побережье Восточного хребта наблюдаются значительные осадки. В этой зоне выпадает от 20 до 25 миль осадков в год.

Тайфуны, обрушивающиеся на побережье, являются достаточно редким явлением, особенно для северной и центральной части региона. Благодаря

влиянию постоянных северных ветров и прохладного течения, температура воздуха в горах Камчатки достаточно ниже на протяжении всего года, что положительно влияет на выполнение сельскохозяйственных работ.[11]

2.2 Климатическая характеристика аэропорта Петропавловск-Камчатский.

Как уже упоминалось ранее, климат юго-восточного побережья и Авачинской ложбины в значительной степени определяется интенсивной циклональной активностью, что связано с их географическим положением. Особенно сильное влияние на климатические условия оказывает Тихий океан в холодные месяцы года.

В течение всего года над Югом Камчатки наблюдается активная циклональная деятельность, пик которой приходится на зимний период, а летом стихает. Так, летом юго-восточное побережье Камчатки попадает под влияние северо-восточного ветра, приносящего освежающие барические максимумы [11].

Климат исследуемого региона можно охарактеризовать как морской умеренный, с четко выраженным влиянием Тихого океана на площадь суши и близлежащие воды. Это влияние особенно заметно в прибрежных зонах, удаленных на малое расстояние от береговой линии.

Хотя влияние океана на климат Камчатки весьма стабильно, стоит отметить его постепенное увеличение. Таким образом, одновременно с воздействием Тихого океана на южные и восточные районы острова, Охотское море также оказывает значительное влияние на климат региона.

Климатическая специфика региона заключается в чередовании шторма с переменчивой погодой, что особенно заметно в прибрежных областях, где смещение максимумов и минимумов стоит в разительном контрасте.

В зимний сезон климат Камчатки приобретает характеристики резкого изменения погоды с частыми обильными снежными осадками. Протяжённость периода зимних условий и их интенсивность ограничиваются возникающими

антропогенными факторами и внутренними природными процессами, что сказывается на влиянии океанов и морей.

Внутренние районы Камчатки характеризуются множеством климатических зон, обусловленных изменениями рельефа и влиянием различных водоемов. Наиболее заметными факторами являются перепады высот, что особенно актуально для горных участков, и смещение воздушных масс под воздействием инверсий.

Кроме того, влияние Тихого океана усиливается в южных областях Камчатки, что приводит к мягкому климату и ровным температурным изменениям. Противоточные ветры создают уникальные климатические условия на побережьях, отличающиеся умеренной температурой и высокой влажностью.

Таким образом, при рассмотрении влияния Тихого океана на климат Камчатки нельзя не учитывать его значительное воздействие на территории и их климатические особенности.

Климат восточного побережья Камчатки существенно меняется под влиянием Камчатского холодного течения. Когда массы тёплого воздуха из Тихого океана встречаются с этим течением, нижние слои воздуха резко охлаждаются, что приводит к образованию туманов и низкой облачности, особенно в зимний период.

Западное побережье Камчатки, наоборот, претерпевает влияние холодных воздушных масс с Охотского моря. Здесь холодные течения из Охотского моря, переходя через Командорские острова и Амурский лиман, смешиваются с тёплыми водами Тихого океана. Это значительно изменяет температурный режим, создавая условия для рыхлых облачных образований и частых туманов.

Берингово море, его течение также оказывает значительное влияние на климат северного побережья полуострова. Оно порождает множество водных вихрей, тяготеющих к берегам и медленно оказывающих охлаждающее влияние на воздушные массы.

Климат Камчатки характеризуется значительной контрастностью. В низменных и равнинных районах западного побережья регистрируются сильные ветры из-за большого перепада температурных режимов и частые туманы. Это способствует созданию специфических микроклиматических зон.

В горных районах, таких как вулканические горные массивы Петропавловск-Камчатский, климат более суровый и изменчивый. Высокие горные хребты преграждают путь холодным воздушным массам с восточного побережья, создавая уникальные климатические условия колебаний температуры и режима осадков.

Средняя продолжительность безморозного периода на Камчатке составляет около ста дней. В черте Петропавловска-Камчатского безморозный период длится чуть более ста сорока дней, в северных районах доходит до пятидесяти. Обилие осадков и частые изменения температуры формируют сложные климатические особенности региона. Также на климатические особенности региона влияют воды Берингова моря, вызывающие охлаждение воздушных масс и оказывающие значительное влияние на климатический режим, особенно в береговых зонах, что приводит к образованию туманов.

Для наглядного примера рассмотрим климатические характеристики аэродрома Петропавловск-Камчатский. Среднегодовая температура воздуха здесь составляет $-1,2^{\circ}\text{C}$, при этом минимальная температура может достигать -41°C . Средняя абсолютная максимальная температура составляет 36°C . В зимний период снежный покров образуется в ноябре и сохраняется до начала апреля. Число ясных дней минимально, а облачность и туманы характерны для 12 дней в месяц.

В таблицах 2.1 – 2.7 и на графиках представлен годовой ход основных метеорологических элементов.

Таблица 2.1 – Повторяемость различных направлений ветра (%), и скорости ветра.

направл.	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	год
С	29	28	23	16	13	12	12	16	20	20	21	29	20
СВ	10	13	12	11	7	6	5	5	5	7	5	9	8
В	7	7	8	15	15	14	14	13	9	8	5	5	10
ЮВ	2	3	5	12	21	29	30	20	14	9	4	3	13
Ю	1	1	3	7	14	15	15	12	8	5	2	1	7
ЮЗ	0	0	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
З	4	5	7	8	6	4	4	6	6	10	12	7	7
СЗ	48	44	41	29	22	18	18	27	35	40	50	47	35
штиль	0	1	2	4	5	5	6	4	3	2	1	0	3
скорость	7,7	7,4	6,8	5,7	4,7	4,1	3,8	4,3	5,1	6,3	7,3	7,2	5,9

Направление ветра в данной местности демонстрирует выраженную сезонную изменчивость. Зимой, примерно в 70% случаев, преобладают ветры северного и северо-западного направлений. Летом же доминирует южное и юго-восточное направление ветров (около 70%).

Изменение направления ветра по сезонам объясняется отсутствием муссонной циркуляции на Камчатке и активизацией бризовой циркуляции в теплый период года. Уже на высоте 1,5 км в июле вероятности различных направлений ветра практически уравниваются.

Среднегодовая скорость ветра составляет 5,9 м/с. На протяжении года средние месячные скорости варьируются от 0,3 м/с в августе до 7,7 м/с в зимние месяцы. Самые высокие скорости ветра обычно наблюдаются в восточной четверти. В районе аэропорта примерно 25 дней в год отмечаются сильные ветры (свыше 15 м/с).

Таблица 2.2 – Высота и продолжительность снежного покрова

месяц	сент	окт	ноябр	дек	январ	февр	мар	апр	май	июн
число дней	0	1	23	31	31	28	31	30	14	0
высота (см)	0	0	11	44	70	83	84	83	18	0
макс.высота (см)	0	32	83	210	208	260	289	277	192	12

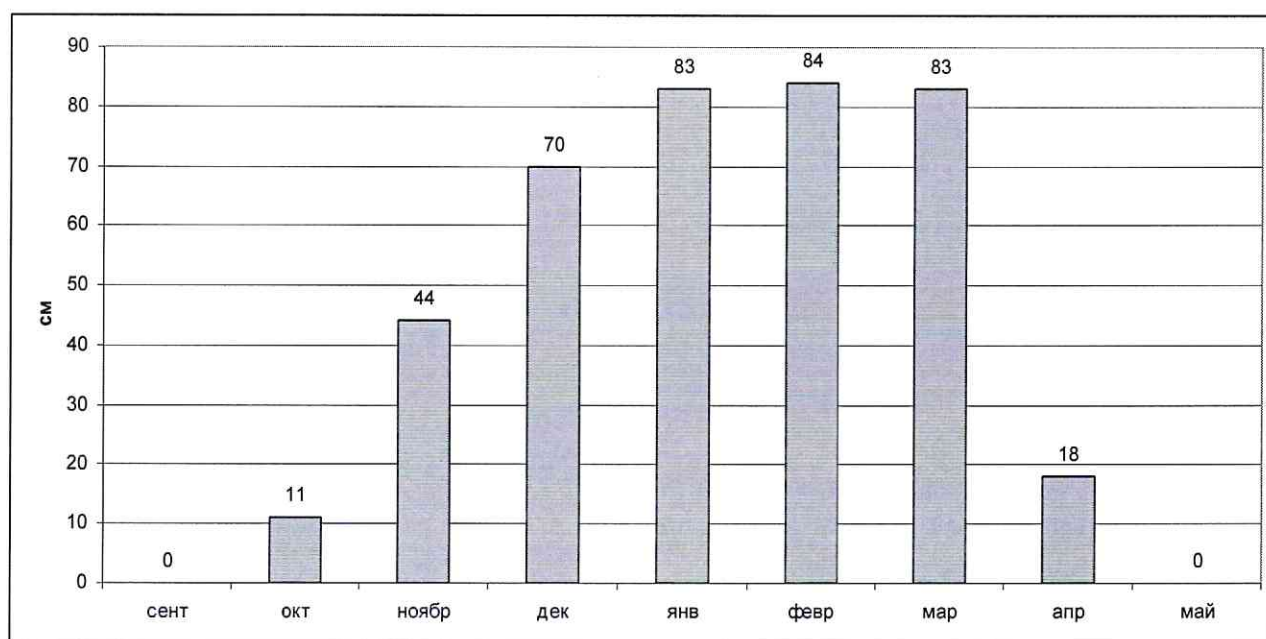


Рис. 2.3 - Высота снежного покрова в районе аэродрома, см.

Снежный покров в районе аэропорта появляется в среднем в конце октября и сходит в первой декаде мая. В отдельные годы он появляется в начале октября и держится до конца мая. Устойчивый снежный покров сохраняется обычно с середины ноября до конца апреля. Наибольшая высота снежного покрова в среднем не превышает полуметра, но в иные, многоснежные зимы она превышает 1 м. на вершинах окружающих гор снег сохраняется до июля, а в конце августа появляется вновь (табл.2.2).

Таблица 2.3 – Количество облачности, баллов

месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
общая	6,0	6,3	6,1	6,4	7,1	7,3	7,8	7,2	6,2	6,0	5,4	5,8	6,5
нижняя	3,8	4,2	3,8	4,2	4,8	5,3	5,8	5,2	4,3	4,1	3,4	3,7	4,4

Хорошо прослеживается увеличение повторяемости пасмурного неба от зимы к лету, что объясняется развитием бризовой циркуляции и связанных с нею выносов низкой облачности.

Таблица 2.4 – Число ясных, облачных и пасмурных дней

месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Общая облачность													
ясных	6	5	5	4	2	2	2	2	4	4	5	6	47
облачных	13	12	14	14	14	12	10	14	15	17	17	14	166
пасмурных	12	12	12	12	15	16	19	15	11	10	7	10	151
Нижняя облачность													
ясных	14	11	13	11	9	8	7	8	10	11	13	13	128
облачных	11	12	12	13	14	13	12	13	14	15	13	12	154
пасмурных	6	6	6	6	8	10	12	9	6	5	3	5	82

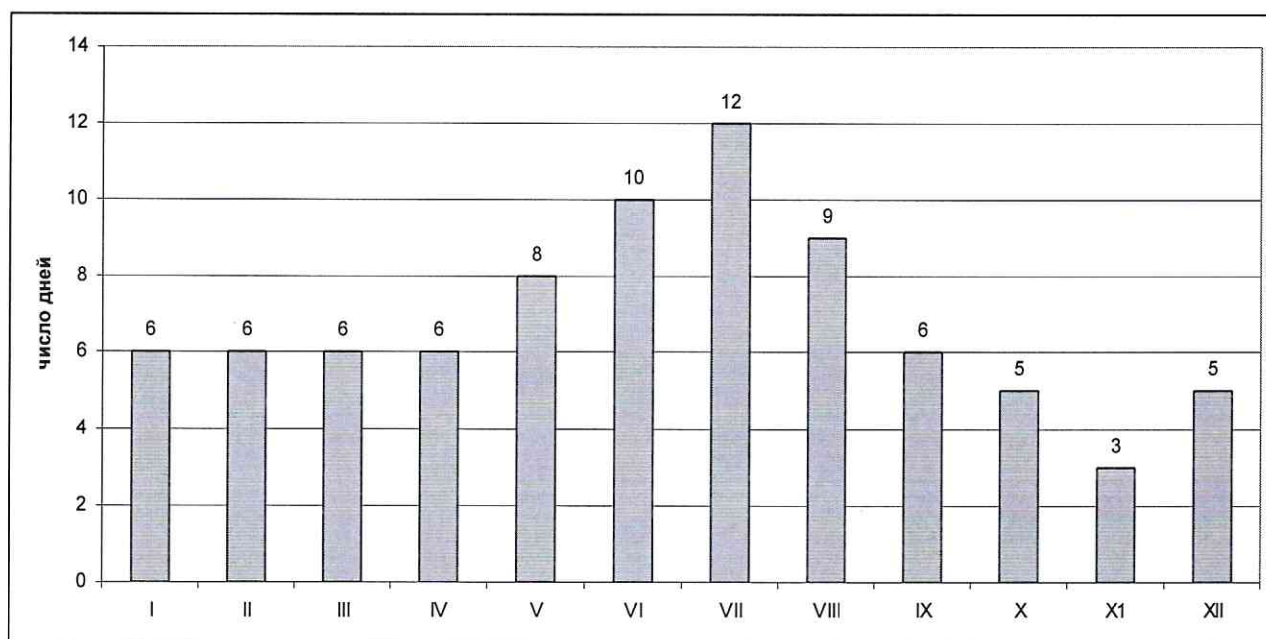


Рис.2.4 - Среднее число дней с низкой облачностью

Таблица 2.5 – Влажность воздуха, %

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
75	73	72	76	79	84	88	86	81	75	72	75	78

Район аэропорта характеризуется сравнительно низкой (для Камчатки) относительной влажностью в среднем за год она равна 76%, меняясь в течение года от 70% в феврале – марте до 83% в августе (табл. 2.5).

Таблица 2.6 – Число дней с твердыми, жидкими и смешанными осадками

ВИД осадков	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
твердые	12	13	13	8	1	0	0	0	0	0.6	7	12	67
смешан	3	2	2	7	6	0.1	0	0	0.1	2	5	3	30
жидкие	0	0	0	0.4	7	14	17	16	13	13	2	0.1	83

Осадков в Авачинской низменности выпадает намного меньше (600 – 800 мм), чем на наветренных склонах гор юго-восточного побережья (около 2000 мм). В районе аэропорта их выпадает немногим более 600 мм. Месячный максимум осадков (около 70 мм) приходится на июль – сентябрь, минимум (около 30 мм) на февраль – март.

Таблица 2.7 – Число дней с различными явлениями

явление	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
дождь	3	2	2	6	13	14	16	16	13	14	6	3	108
снег	15	15	15	14	8	0.2	0	0	0.06	3	12	15	97
туман	2	1	2	7	12	16	19	16	9	4	3	3	94
гроза	0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.1	0.03	0	0	0	0
метель	8	8	7	5	0.9	0	0	0	0	0.2	3	6	38
поземок	13	15	13	5	0.3	0	0	0	0	0.06	5	11	62
гололед	0.06	0.2	0.06	0.6	0.3	0.03	0	0	0	0	0.2	0.2	2
изморозь	0.7	0.2	0.1	0.6	0.1	0.09	0	0	0	0	0	0.5	2

В некоторые годы количество осадков за месяц может значительно отличаться от среднего многолетнего значения. Среднегодовое количество дней с осадками представлено в таблице 2.6, а число дней с осадками, включающими снег и дождь, можно найти в таблице 2.7.

Уровень низкой облачности в теплые периоды года тесно связан с туманами, количество дней с которыми в среднем за год достигает 94. Чаще всего туманы наблюдаются в июле и августе. В холодное время года такие явления фиксируются реже. Однако в некоторые годы частота туманов может достигать 2-3 дней в месяц, а всего их число разнится от 3 до 67 дней за год.

Метель в районе аэропорта наблюдается относительно редко. Ежегодно всего 10-15 дней бывают отмечены метелью, преимущественно приходящейся на январь и декабрь. Для сравнения, в долине Камчатки такие явления, в основном, фиксируются в тундровых районах и вдоль побережья, в то время как в Петропавловске-Камчатском за год такого наблюдается многократно меньше.

Грозы в окрестностях также редки — за целый год наберется всего 1-2 случая.

Исходя из характерных метеорологических условий в районе Петропавловска-Камчатского, можно отметить, что здесь преобладают более чистые небеса по сравнению с облачным климатом города.

Снежные бури и пурга являются частым погодным феноменом зимних месяцев. Наиболее густые туманы и метели наблюдаются в период с ноября по март (около 28% случаев приходятся на январь и декабрь). Летний туманный сезон наиболее заметен в июле и августе.

С метеорологической точки зрения, наиболее благоприятное время года характеризуется уменьшением числа неблагоприятных явлений, таких как метель и пурга, в периоды более низкой облачности за весь год.

В заключении следует подчеркнуть, что неблагоприятные метеоусловия, такие как “вынос” туманов в низкой облачности, могут оказывать заметное влияние на климатические условия региона, особенно в зимний и летний

периоды. Таким образом, наиболее благоприятным с метеорологической точки зрения временем для работы авиации в аэропорту в тёплый период является время с 14 до 19 часов. В холодный период время работы аэропорта с метеорологической точки зрения роли не играет.

В холодный период года выносами называют сравнительно тонкие облака, нижний край которых зачастую превышает высоту в 300 метров. Такие облака могут быть достаточно плотными и иногда проявляются в виде снежных зарядыбы разной интенсивности, длительность которых может варьироваться от коротких периодов до нескольких часов. В условиях небольшой видимости часто можно наблюдать сокращение видимости.

В летний период же вынос представляет собой низкую, зачастую густую облачность и туман, которые формируются на границе между слоями тёплого и холодного воздуха. Если такие выносы не подвергаются значительным суточным колебаниям, то дневные температуры могут достигать максимумов, что приводит к утрам и вечерам с сильной застойной жарой.

Когда метеоусловия в тёплый сезон характеризуются высокой влажностью и минимальной облачностью, вызванные выносами колебания температуры могут достигать 15°. Когда же повторяющиеся ночные выносы наблюдаются в районе аэропорта и прилегающих областях, это может существенно повлиять на видимость. По мере ухудшения метеоусловий ухудшаются и условия видимости, а граница выносов опускается ниже.

Особенно важно, что такие выносы могут создавать значительные неудобства при взлёте и посадке авиарейсов. Особо требовательные к метеорологическим условиям аэропорты взводятся оборудование для наблюдения и прогнозирования таких погодных заболеваний. Требования к погодным условиям в районе аэропорта включают поддержание видимости не менее 10% от общеметеорологического фона.

Итогом всего вышесказанного является необходимость принятия особых мер на территории аэропорта в случае ухудшения метеоусловий. Важно

учитывать параметры температуры и влажности, а также высоту облачного покрова.[10]

Таким образом, требовательность к метеоусловиям – это важный элемент безопасности авиатрафика. Погодные условия играют критическую роль в поддержании надлежащего уровня безопасности и качества авиаперевозок.

3 Режим туманов в аэропорту Петропавловск-Камчатский

Для изучения условий возникновения туманов в районе аэропорта Петропавловск-Камчатский были проанализированы наблюдения за пять лет, с 2018 по 2022 гг. В районе аэропорта Петропавловск-Камчатский преобладают адвективные и адвективно-радиационные туманы, реже отмечаются фронтальные туманы. За рассматриваемый период отмечено 96 случая с туманом и в таблице 3.1 представлена повторяемость туманов по месяцам в различные часы суток.[7]

Таблица 3.1 – Повторяемость тумана по месяцам в различные часы суток

Часы	Месяц										Год	%
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	12		
0-3	0,2			2,5	3,2	6,8	1,5	2,2	0,8		17,2	17,8
3-6	0,5		0,5	7,0	9,5	13,3	5,0	2,3		0,3	38,4	39,9
6-9		0,2	1,1	4,2	5,5	10,0	4,3	3,5	1,0		29,8	30,9
9-12			0,2	2,5	0,3	0,5	0,2	1,5		0,2	5,4	5,6
12-15										0,5	0,5	0,5
15-18										0,2	0,2	0,2
18-21				0,3				0,2			0,5	0,5
21-00				0,2		1,2	0,8	1,5	0,7		4,4	4,6
Всего	0,7	0,2	1,8	16,7	18,5	31,8	11,8	11,2	2,5	1,2	96,0	
%	0,7	0,2	1,9	17,4	19,2	32,8	12,3	11,7	2,6	1,2		100

В годовом ходе туманов максимум их повторяемости приходится на тёплый период. Так, на период с мая по август приходится более 80% всех случаев с туманом. Наибольшее число случаев с туманом отмечается в июле – 32,8%. За десятилетний период не наблюдалось туманов вообще в январе и в ноябре, но за весь имеющийся ряд наблюдений отмечалось по одному случаю и в эти месяцы. В суточном ходе максимум повторяемости туманов около 70% на период от 3 до 9 часов, особенно перед восходом солнца. Лишь в 2 случаях туман отмечался днём.

На появление туманов существенное влияние оказывает температура воздуха. Чаще всего, более чем в 60% случаев туманы образуются при

температуре воздуха $6 \div 11^{\circ}\text{C}$ (табл.3.11). Морозных туманов за рассматриваемый период не отмечалось.

Таблица 3.2 – Повторяемость туманов (%) при различных температурах воздуха

Т-ра	Месяц										Год	%
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	12		
17 – 12												
11 – 6				7	14	21	16	5			63	66
5 – 1				8	4	2	2	3	2		21	21.6
0 – 5		3	1	4				2	2		12	12.4
-6 -11												
Всего		3	1	19	18	23	18	10	4		96	
%		2.6	1.3	19.7	18.4	23.7	18.4	10.6	5.3			100

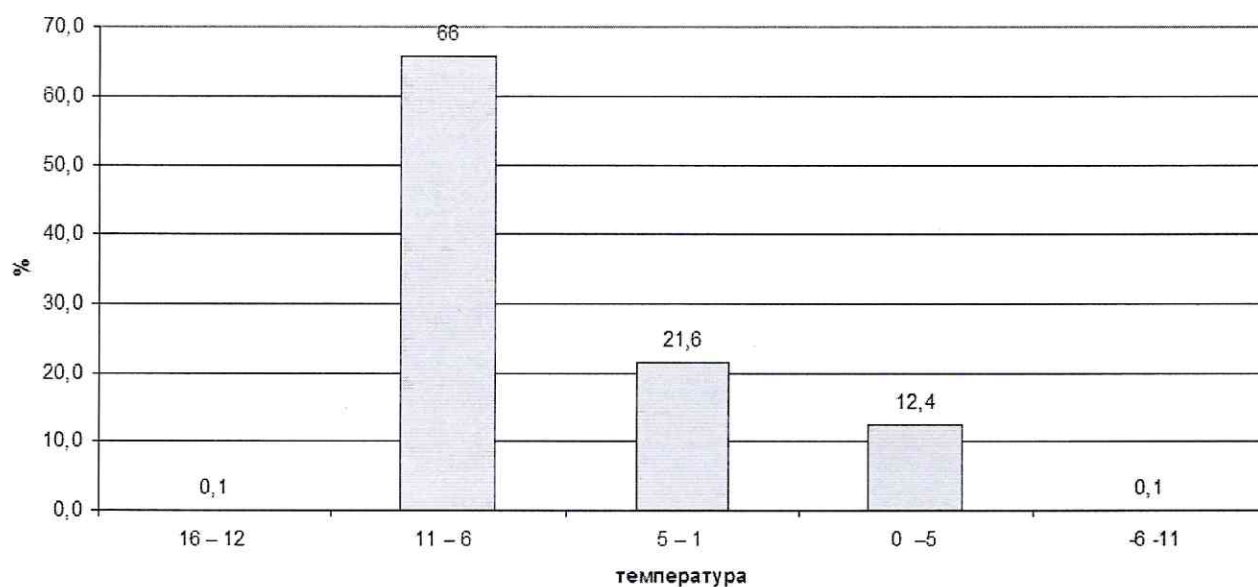


Рис. 3.1- Повторяемость туманов (%) при различных температурах

Из таблицы 3.3 видно, что туман имеет чётко выраженный годовой ход. Туманы наблюдались с февраля по декабрь, причём в эти месяцы по одному случаю с продолжительностью от 3 до 6 часов. В июле месяце наибольшее количество случаев с туманами составляет около 6 часов, максимальная непрерывная продолжительность тумана составила 10,5 часов.

Таблица 3.3 – Повторяемость тумана различной продолжительности по месяцам и часам.

Продолжительность (в часах)	Месяц										Всего	%
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	12		
<1			1	2	2	5	3	2	1		16	16,1
1-2		1		8	3	3	4	2	2		23	23,2
2-3				2	6	8	5	3			17	17,3
3-6	1		2	3	4	5	5	2	1	1	24	25,4
6-10				2	3	5	4	2			16	16,8
10-15						1					1	1,2
Всего	1	1	3	17	18	27	14	11	4		96	
%	0,6	0,6	3,0	18,0	18,6	27,8	15,1	11,6	4,1	0,6		100

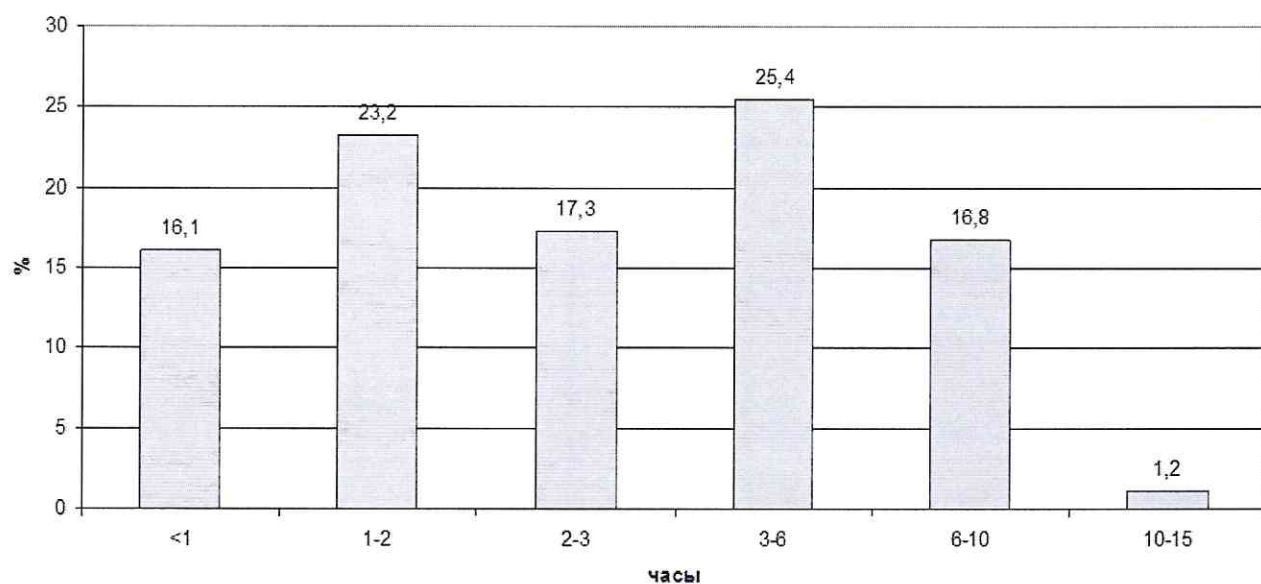


Рис.3.2 – Продолжительность туманов

Как следует из таблицы 3.4, туманы обычно возникают при разнице температуры воздуха и точки росы ($T - T_d$) не более 2°C , а чаще всего, в 67% случаев при $T - T_d = 0 - 0,5^{\circ}\text{C}$.

Таблица 3.4 – Повторяемость тумана %, при различных T-Td в момент возникновения.

T-Td	Месяц										Всего %
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	12	
0,0-0,5			1,6	5,0	7,4	30,0	8,4	9,8	2,4	2,4	67,0
0,6-1,0		0,8	0,8	2,4	4,0	7,1	3,5	1,6	0,8		21,0
1,1-1,5			0,8	3,4	3,4	0,8	0,8	0,8			10,0
1,6-2,0	1,0		1,0								2,0

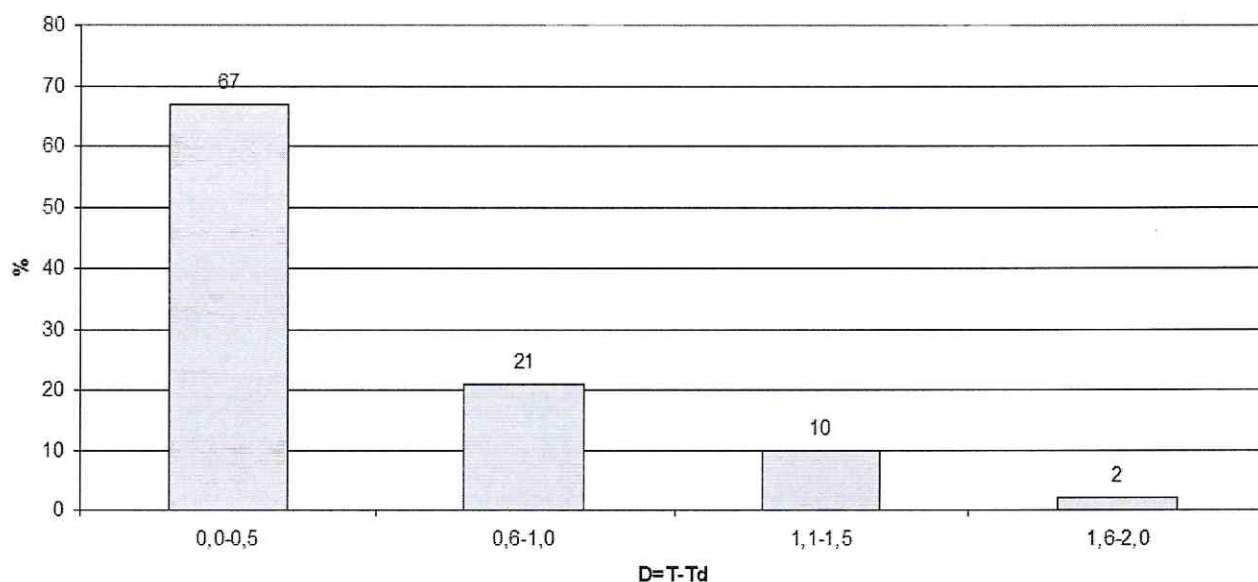


Рис.3.3 – Повторяемость туманов при различных значениях D

Перед появлением туманов и при туманах наблюдаются, как правило, слабые ветры, скорость которых в 97% случаев не превышает 0 – 2 м/с, и лишь в отдельных случаях достигает 4 – 5 м/с, как видно из таблицы 3.5.

Таблица 3.5 – Повторяемость, % тумана при различных скоростях ветра.

Скорость, м/с	Месяцы										Всего, %
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	12	
0		0,8	2,4	7,3	8,1	19,5	9,8	6,5	0,8	1,8	57,0
1			0,8		3,5	9,0	1,7	2,5			20,0
2	0,8		0,8		3,1	3,1	1,6	2,2	1,6	0,8	14,0
3				0,7		4,4	0,7	0,7	1,5		8,0
4								0,5			0,5
5				0,5							0,5

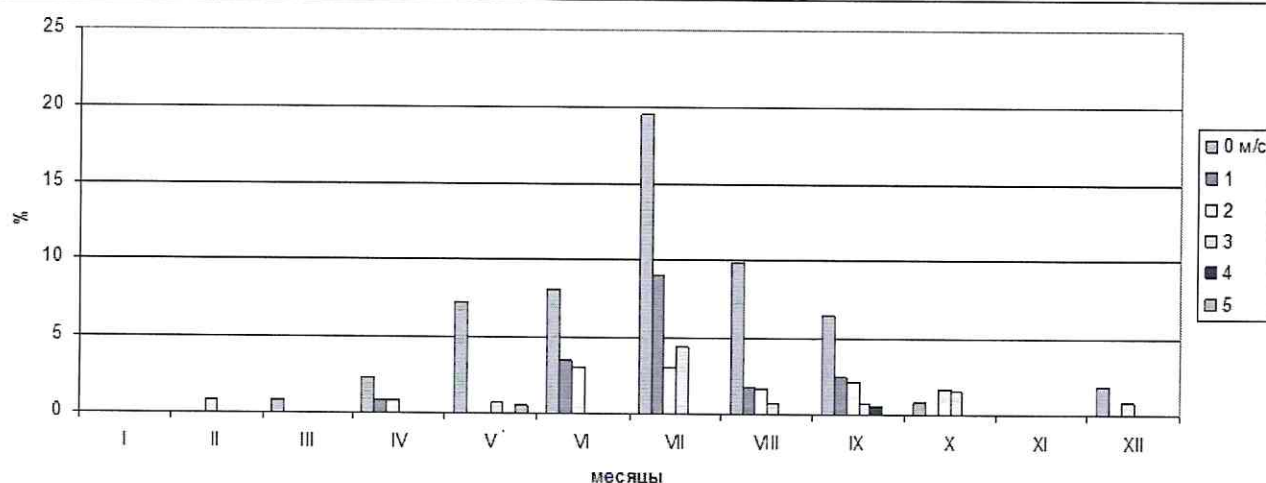


Рис. 3.4 – Повторяемость туманов при различных скоростях ветра

Туманы могут образовываться вслед за холодными фронтами. Когда проходит холодный фронт, выпадают осадки, а за ним происходит резкое прояснение и понижение температуры воздуха, что приводит к появлению тумана. Эти туманные явления, как правило, возникают в ситуации, когда прекращение осадков и прояснение наступают уже после захода солнца и в любое время ночи. Все разнообразие синоптических процессов, способствующих формированию туманов, можно объединить в пять типовых положений:

1. Нисходящее поле повышенного давления.
2. Западная периферия североатлантического максимума.
3. Нисходящее поле пониженного давления.
4. Атмосферный фронт.
5. Передняя часть гребня за холодным фронтом.

Статистика повторяемости туманов при различных синоптических условиях представлена в таблице 3.6.[7]

Таблица 3.6 – Повторяемость % тумана при различных синоптических положениях.

Типы положений	Месяц										Всего, %
	02	03	04	05	06	07	08	09	10	12	
1				0,9	4,4	17,5	6,2	2,4	1,9		33,3
2	0,8		1,6	3,5	1,6	5,4	2,7	3,2	2,7	2,4	23,9
3			0,8	5,2	2,6	6,0	3,4	3,4			21,4
4		0,8		1,7	3,4	5,2	1,7	2,6			15,4
5				0,8	3,4	1,8					6,0
Всего	0,8	0,8	2,4	12,1	15,4	35,9	14,1	11,6	4,5	2,4	100

Максимальная повторяемость туманов - 33% отмечается при малоградиентном поле повышенного давления, а при западной периферии северотихоокеанского максимума составила 24%. Рассмотрим подробнее синоптические условия возникновения туманов.

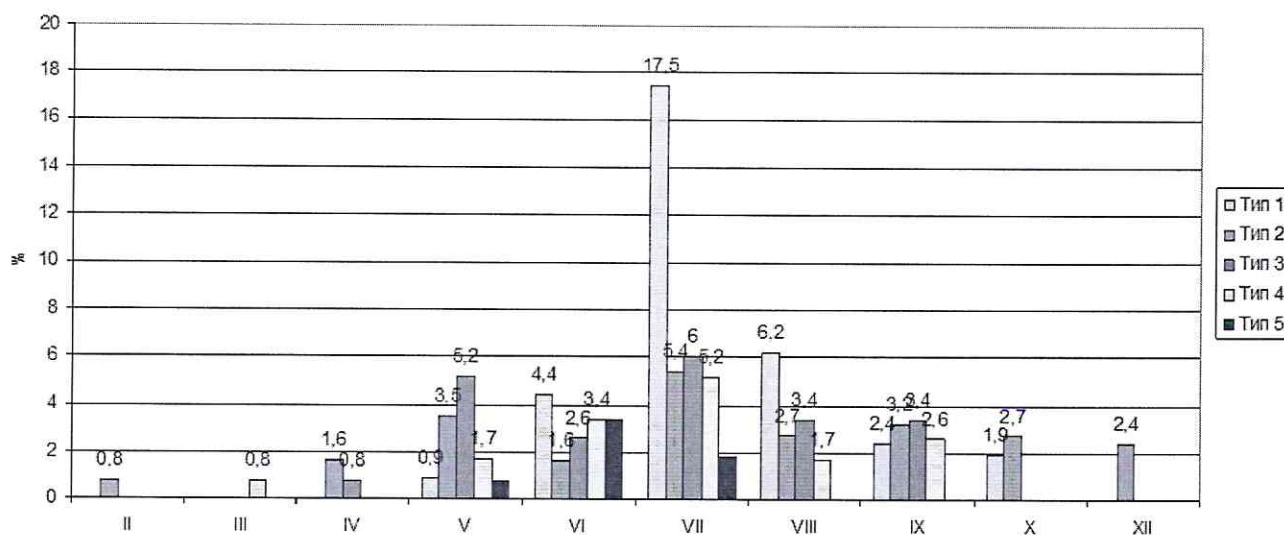


Рис. 3.5 - Повторяемость % тумана при различных синоптических положениях.

3.1 Синоптические условия возникновения туманов в аэропорту Петропавловск-Камчатский.

Длительные наблюдения за туманами выявили, что радиационные туманы чаще всего образуются в центральных частях антициклонов и вдоль осей барических гребней, тогда как адвективные туманы наиболее эффективно формируются в тёплых секторах циклонов и на их перифериях.

В окрестностях аэродрома Петропавловск-Камчатского такие туманы появляются при следующих синоптических условиях и характеристиках стратификации воздуха [7].

1. Влияние на Камчатку гребня высокого давления, который ориентирован из районов Тихого океана. В приземном слое, на высоте 500-600 м, наблюдается устойчивая стратификация (тип 1.а) рис.3.6 и.3.7.

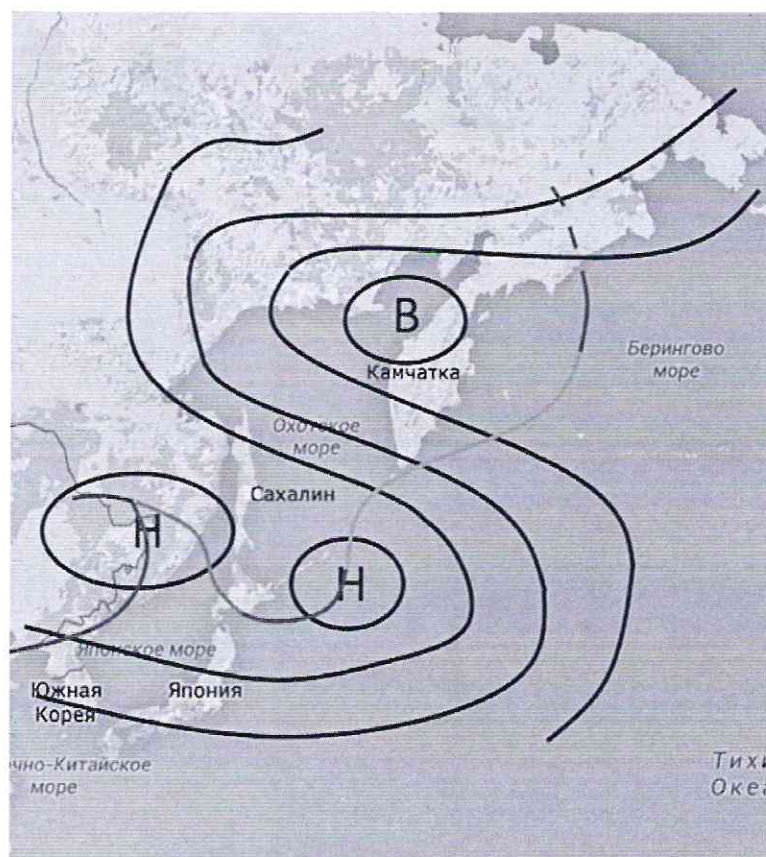


Рис.3.6 – Влияние на Камчатку гребня высокого давления с востока или юго-востока, тип 1

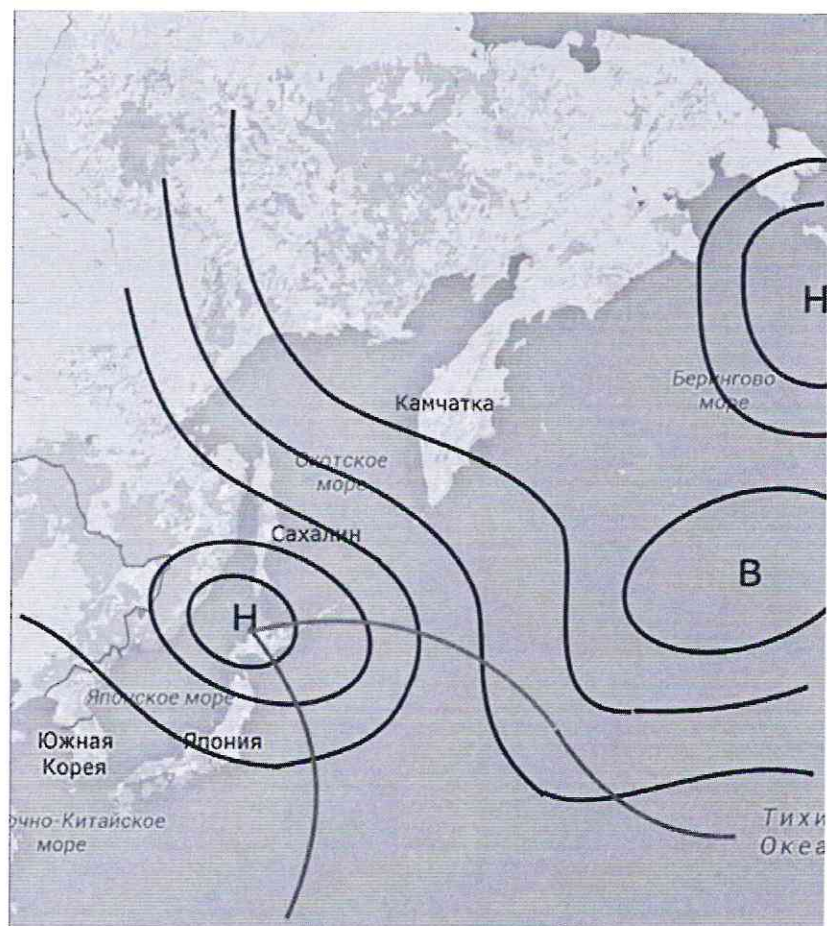


Рис.3.7 - Антициклон над Тихим океаном, тип 1а

2. Влияние северного гребня на Камчатку. Замедляющие слои распространяются в атмосфере на высоту 600-1900 м (тип 2). Ядро высокого давления располагается над районами Камчатки. На высоте 1900 м в атмосфере наблюдаются значительные инверсивные слои (тип 2а), как показано на рис. 3.8.

3. Присутствие малоградиентного барического поля и стабильной стратификации (тип 3), согласно рис. 3.9.

4. Формирование туманов происходит в зоне сабфронтальной зоны, в условиях малоградиентного барического поля. В слое от 1 до 2 км высотой в атмосфере может возникать неустойчивая стратификация (тип 4), как показано на рис. 3.10.

5. Туманы возникают в теплом секторе циклона в результате переноса тёплых и влажных масс к району Петропавловска (тип 5), согласно рис. 3.11.

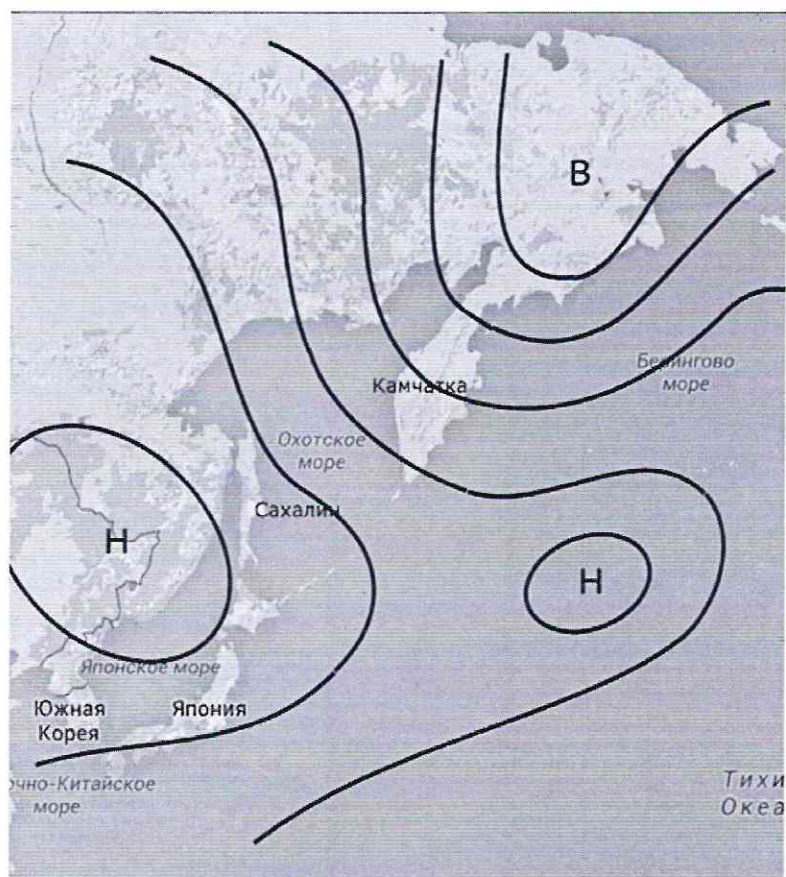


Рисунок 3.8 – Влияние на Камчатку гребня, направленного с севера, тип 2

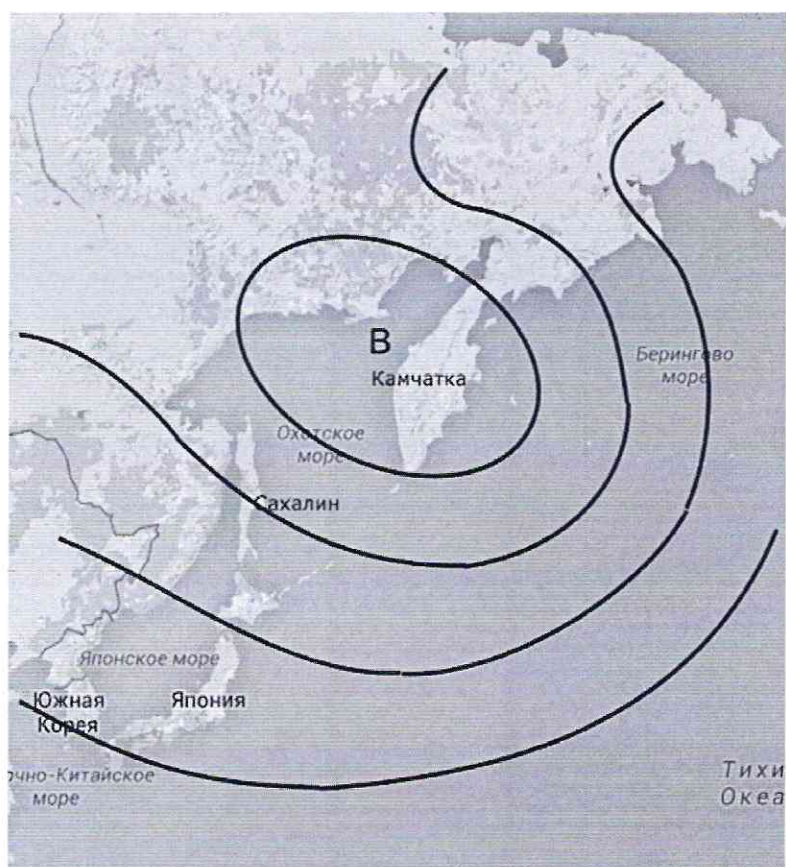


Рисунок 3.9 – Ядро высокого давления над Камчаткой, тип 2а

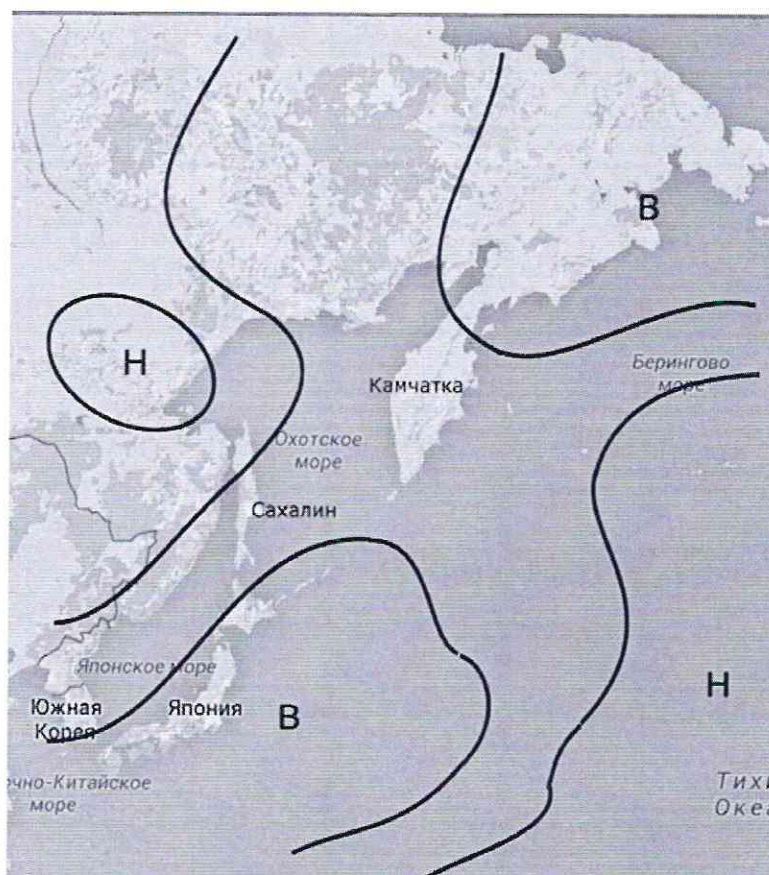


Рисунок 3.10 – Наличие малоградиентного барического поля, тип 3

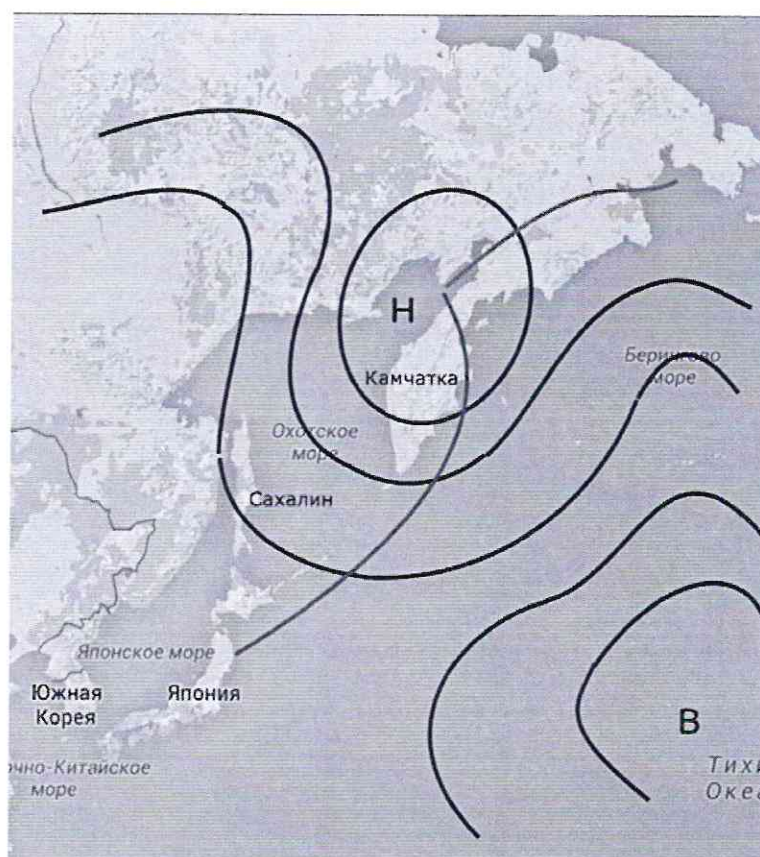


Рисунок 3.11 – За холодным фронтом, тип 4

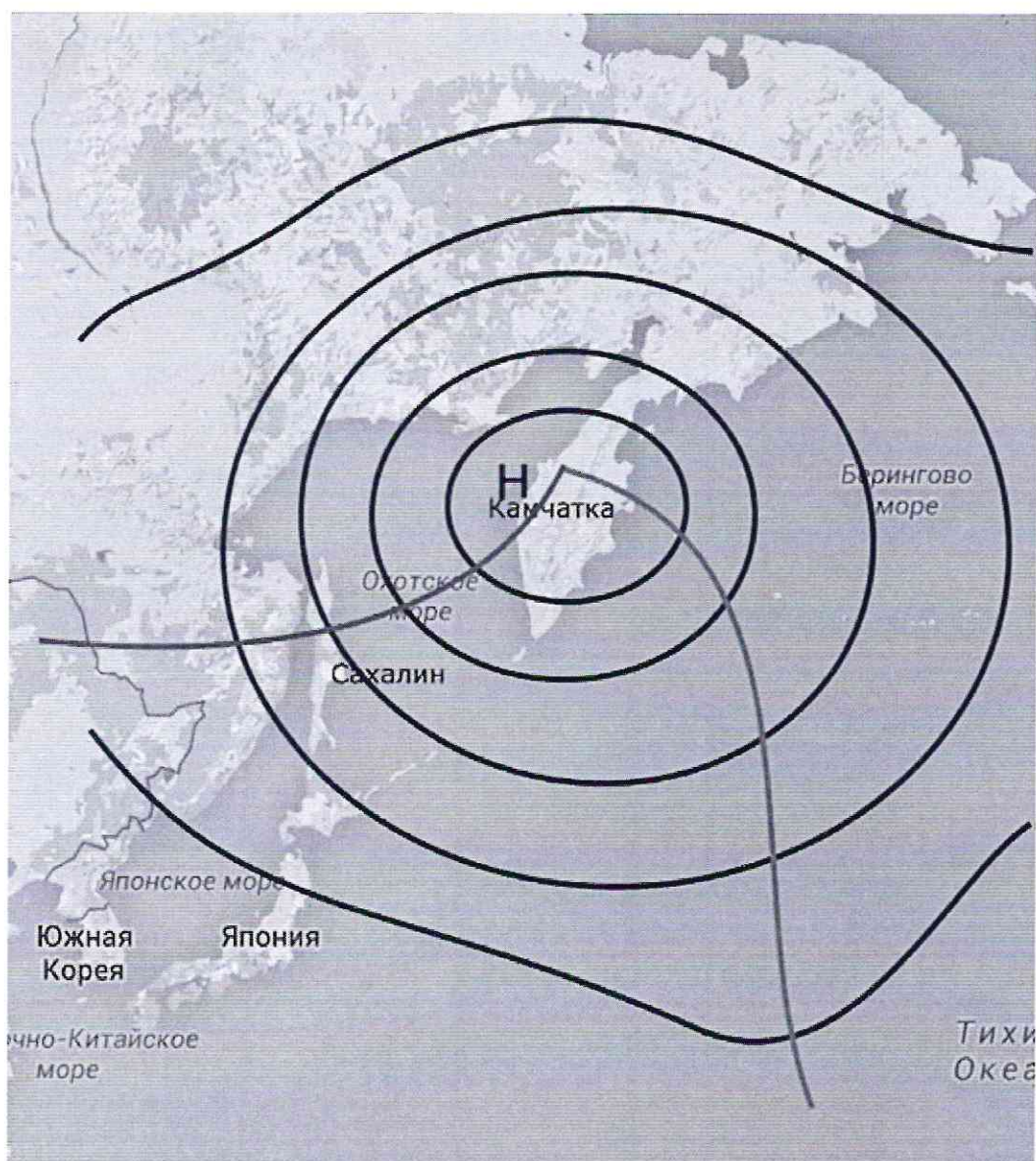


Рисунок 3.9 – Теплый сектор циклона, тип 6

3.2 Рекомендации к прогнозу тумана в районе аэропорта Петропавловск-Камчатский в тёплое полугодие

Прогнозирование образования тумана в ночное время заключается в предсказании ночных понижений температуры и определении вероятности того, что охлаждающаяся воздушная масса достигнет состояния насыщения водяным паром, то есть 100% влажности. В рассматриваемом сценарии для прогнозирования температуры туманообразования используется температура точки росы в момент захода солнца. Иными словами, предполагаются

стационарные условия, при которых абсолютное количество влаги, присутствующее в воздухе на момент захода солнца, сохраняется постоянным на протяжении ночи. Однако в природе часто встречаются отклонения от таких условий.

В большинстве случаев, намерения понимания этих процессов черпаются из наблюдений, где информация собирается как на материале наблюдений, взятых на месте, так и на большом расстоянии. Например, анализ наблюдений на ОПН аэродрома Петропавловск-Камчатский за продолжительный период (7 лет) показал, что наиболее значительное количество случаев возникновения тумана приходится на ночь (метод Звегера) и сопровождаются заметными снижениями температуры воздуха на момент захода солнца. Исследования также выявили, что в поздний осенний период (с августа по октябрь), когда туман появляется наиболее часто, на возникновение туманов также влияют метеорологические условия (морось, дождь, снег), что в свою очередь обуславливает важность корректного учета этих факторов.

Таким образом, вероятное образование тумана в описанных условиях сильно зависит от множества факторов, включая температуру, влажность и метеорологические явления. Рассматривая данную информацию в комплексе, предусматривается более точная и обоснованная методика прогнозирования тумана, подкрепленная даже при наличии образований туманов в разной степени интенсивности и образования туманов разных типов.

Фронтальные туманы включают те случаи, когда после осадков, связанных с прохождением фронта, наблюдаются разрывы облаков или прояснения. Дополнительное охлаждение воздуха при прояснении, а также высокая влажность создают благоприятные условия для формирования тумана. В таких ситуациях при расчетах минимальной температуры стоит учитывать потенциальное уменьшение облачности после прохождения фронта.

Второй тип туманов включает те, которые возникают в результате адвекции — переноса влажного воздуха или тумана с моря. Для таких ситуаций характерно малое изменение барического поля или их равномерное изменение в

связи с проходом циклонов и барических ложбин. Туманы, образующиеся в районе аэропорта, в этих случаях за редкими исключениями, являются адвективными.[11]

Появление низкой разорвано-слоистой и слоистой облачности, которая при понижении температуры переходит в туман, может предшествовать этому явлению. Прогностические признаки такого тумана включают:

1. Усиление во второй половине дня (после 14 часов местного времени) ветра южного направления $150-200^\circ$ до 5 м/с и более. Относительная влажность воздуха при этом составляет 55-60% и выше. Если влажность будет менее 50%, то туман в редких случаях может отмечаться, но начинается он после 14 часов.

2. Рост температуры точки росы T_d в конце дня при одновременном понижении температуры воздуха. Часто рост T_d на $1-2^\circ\text{C}$ отмечается после захода солнца за нижнюю кромку облачности. Это отнюдь не понижение температуры воздуха до T_d как при сильной инверсии, а устойчивое повышение температуры нижней границы облачного слоя.

К радиационным туманам обычно относят те случаи, когда туман возникает непосредственно в районе аэропорта (аэродрома, ВПП, перрона) и быстро растворяется с восходом Солнца, без передвижения к тому же месту. Такие туманы обычно поднимаются в пределах нескольких десятков метров, их форма меняется в зависимости от рельефа местности. Они наблюдаются в утренние часы, в предрассветные часы и охватывают не более 50-60 метров. Процесс охлаждения порой продолжается с сильным ветерком, губительным для густого тумана. Такой туман называют еще приземным или слабым, если его высота равна 1-2 часам.

Помочь в прогнозировании таких туманов может детальный анализ распределения аэрозольных частиц. Обычно в тумане находится около 850 частиц в 1 см^3 , и преимущественное распределение их по плоскости способствует образованию тумана. Облачность в тумане образуется на достаточно низкой скорости ветра и облачности. В таких условиях перенос влаги по высоте наслоенному слою, зависящему от поднимающегося потока.

Туманы этого типа рассеиваются сравнительно быстро с восходом солнца, а иногда и до восхода, если скорость ветра увеличивается до 3 м/с и выше. После рассеивания, как правило, наблюдается малое количество облаков или ясное небо. Если перед образованием тумана имелась типичная нижняя облачность, то чаще всего после рассеивания тумана некоторое время (2-3 часа) сохраняется низкая слоистая облачность.

Для прогнозирования времени рассеивания тумана может служить следующий погодный показатель:

Если при сохранении 100% влажности температура воздуха за последний час повысилась на 10°C или более, то велика вероятность, что туман рассеется в течение ближайшего часа.

Для расчета минимальной ночной температуры и температуры туманообразования были разработаны поправки, для трех типов туманов по месяцам. Апрель и май объединены, поскольку туманы в апреле фиксируются не каждый год.

Если при сохранении 100% влажности температура воздуха за последний час повысилась на 1°C и более, то туман, как правило, рассеивается в течение ближайшего часа.

Были разработаны поправки для расчёта минимальной температуры на ночь и температуры туманообразования представлены для трёх типов туманов по месяцам. С введением этих поправок оправдываемость прогноза туманов повысилась.

Заключение

В данной работе сделаны расчёты климатических характеристик на основе обобщения результатов регулярных инструментальных метеорологических наблюдений за период 2018-2022гг., в аэропорту Петропавловск-Камчатский.

Разработаны некоторые практические рекомендации по прогнозированию туманов в районе аэропорта Петропавловск-Камчатский.

Все материалы иллюстрированы таблицами и графиками.

В годовом ходе туманов максимум их повторяемости приходится на тёплый период. Так, на период с мая по август приходится более 80% всех случаев с туманом. Наибольшее число случаев с туманом отмечается в июле – 32,8%. За десятилетний период в январе и ноябре за весь имеющийся ряд наблюдений отмечалось не более одного раза случая тумана.

В суточном ходе максимум повторяемости туманов около 70% на период от 3 до 9 часов, особенно перед восходом солнца.

В июле месяце с наибольшим количеством случаев с туманами составило около 6 часов, максимальная непрерывная продолжительность тумана составила 10,5 часов.

Туманы обычно возникают при разнице температуры воздуха и точки росы, чаще всего в 67% случаев.

Перед появлением туманов и при туманах наблюдаются, как правило, слабые ветры, скорость которых в 97% случаев не превышает 0-2 метра в секунду, и в отдельных ситуациях 4-5 метров в секунду.

Все разнообразие синоптических процессов благоприятствующих образованию туманов, связано с 5 типовыми ситуациями.

Максимальная повторяемость туманов 33% отмечается при малоградиентном поле повышенного давления и в западной периферии северо-тихоокеанского максимума составило 24%.

Данные, полученные в результате анализа, позволяют сделать вывод, что для повышения надёжности прогнозов и совершенствования методов прогноза необходимо иметь данные о целом ряде метеорологических величин и параметров. Это повысит безопасность, регулярность и эффективность полётов.

Список литературы.

1. Федеральные авиационные правила полетов в воздушном пространстве Российской Федерации. Приказ Минобороны РФ, Минтранса РФ и Росавиакосмоса от 31 марта 2002 г. N 136/42/51.
2. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. “Анализ и прогноз погоды для авиации” – СПб: Гидрометеиздат, 1992 – 107с.
3. Зверев А.С. “Синоптическая метеорология” – Ленинград: Гидрометеиздат, 1967 – 547 с.
4. Матвеев Л.Т. “Физика атмосферы” – СПб: Гидрометеиздат, 2000 – 630 с.
5. Белоусов С.Л., Васильев А.А., Вельтищев Н.Ф., Леонов Н.Г., Мерцалов А.Н., Успенский Б.Д. “Руководство по краткосрочным прогнозам погоды”, Часть 1 – Ленинград: Гидрометеиздат, 1986 – 481 с.
6. Воробьев В.И. “Практикум по синоптической метеорологии” – Ленинград: Гидрометеиздат, 1983 – 190 с.
7. “Архивные данные метеорологических наблюдений: АМСГ Елизово за 2018-2022 гг.
8. Воробьев В.И. “Синоптическая метеорология” – Ленинград: Гидрометеиздат, 1991 – 616 с.
9. “Наставление по метеорологическому обеспечению авиации России” – Москва: Роскомгидромет – министерство транспорта России, 1995 – 15 с.
10. “Климатический справочник СССР”, выпуск 21, часть 2,4,5 – Ленинград: Гидрометеиздат, 1978.
11. Княжевская С.Я. “Условия возникновения туманов в районе АМЗГ Петропавловск”. “Сборник работ Петропавловской ГМО” вып. 1: Магадан – 1971.