



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
филиал ФГБОУ ВО «РГГМУ» в г. Туапсе

Кафедра «Метеорологии экологии и природопользования»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
(бакалаврская работа)  
по направлению подготовки 05.03.05 Прикладная гидрометеорология  
(квалификация – бакалавр)

На тему «Анализ условий образования туманов в районе аэропорта Волгоград (Гумрак) и их прогнозирование»

Исполнитель: Новикова Ольга Александровна

Руководитель: к.ф.-м.н., доцент Величко Виталий Андреевич

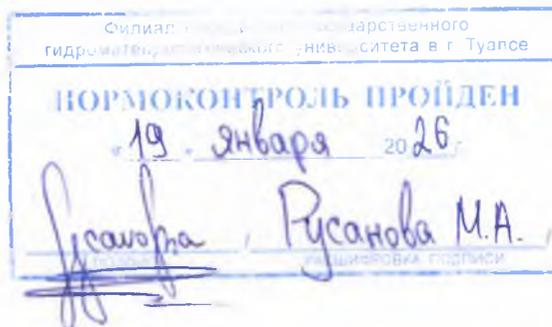
«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

*СЦай*

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент  
Цай Светлана Николаевна

«19» января 2026 г.



Туапсе  
2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1 Классификация и условия образования туманов.....	5
1.1 Классификация туманов и их характеристики .....	5
1.2 Условия образования и рассеивания туманов.....	10
2 Физико-географическая и климатическая характеристика города Волгограда района аэропорта Волгоград (Гумрак).....	16
2.1 Особенности рельефа местности и его влияние на образование туманов в аэропорту Волгоград (Гумрак), климатические характеристики района аэропорта .....	16
2.2 Обзор основных синоптических ситуаций образования туманов в аэропорту Волгоград (Гумрак) и их повторяемость .....	25
3 Исследование условий возникновения туманов в районе аэропорта Волгоград (Гумрак) их прогнозирование и анализ их адаптивности .....	32
3.1 Повторяемость различных условий, способствующих образованию тумана в аэропорту Волгоград (Гумрак).....	32
3.2 Расчетные методы прогнозирования туманов в аэропорту Волгоград (Гумрак) и анализ их адаптивности .....	39
Заключение .....	50
Список литературы .....	53

## Введение

Актуальность темы выпускной квалификационной работы обусловлена значительным влиянием атмосферных явлений с ограниченной видимостью, прежде всего туманов, на безопасность и регулярность авиационных перевозок. Туман является одним из наиболее сложных и опасных для авиации метеорологических явлений, приводя к задержкам, отменам рейсов, дивертации воздушных судов и создавая прямую угрозу для выполнения взлетно-посадочных операций. В условиях роста интенсивности воздушного движения минимизация метеорологических рисков становится критически важной задачей.

Аэропорт Волгоград (Гумрак), являясь ключевым транспортным узлом Южного федерального округа, особенно подвержен воздействию туманов, что связано со спецификой его физико-географического положения в условиях континентального климата, особенностями рельефа и близостью крупного водного объекта – Волгоградского водохранилища. Несмотря на существующие методы прогноза, внезапность и частота возникновения туманов в районе аэропорта продолжают создавать существенные операционные проблемы. Поэтому детальное исследование условий формирования туманов именно в районе аэропорта Гумрак, разработка и адаптация методов их прогнозирования для конкретной локации имеют высокую практическую значимость для повышения эффективности работы аэропорта и обеспечения безопасности полетов.

Актуальность темы исследований обусловлена значительным влиянием атмосферных явлений с ограниченной видимостью, прежде всего туманов, который является одним из наиболее сложных и опасных для авиации метеорологических явлений, приводя к задержкам, отменам рейсов, дивертации воздушных судов и создавая прямую угрозу для выполнения взлетно-посадочных операций, на безопасность и регулярность авиационных перевозок.

Объект исследования: туманы, наблюдаемые в районе аэропорта

Волгоград (Гумрак).

Предмет исследования: синоптические, метеорологические и физико-географические условия возникновения, развития и рассеивания туманов в районе аэропорта Волгоград (Гумрак), а также методы их прогнозирования.

Цель работы: выявление и комплексный анализ условий возникновения туманов в районе аэропорта Волгоград (Гумрак) и оценка применимости расчетных методов их прогнозирования.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Систематизировать теоретические знания о классификации туманов, физических механизмах их образования и рассеивания.
2. Проанализировать физико-географические и климатические особенности района аэропорта Волгоград (Гумрак), определяющие специфику туманообразования.
3. Выявить и охарактеризовать основные синоптические ситуации, приводящие к образованию туманов в районе аэропорта, и оценить их повторяемость.
4. Обобщить материалы исследований и оформить выводы

## 1 Классификация и условия образования туманов

### 1.1 Классификация туманов и их характеристики

Классификация туманов представляет собой фундаментальную основу для их изучения, прогнозирования и минимизации связанных с ними рисков. В условиях авиационной деятельности, где видимость является критическим параметром безопасности, четкое понимание генезиса и характеристик различных типов туманов приобретает первостепенное практическое значение. Целью данного раздела является систематизация существующих подходов к классификации, позволяющая в дальнейшем анализировать условия образования туманов применительно к конкретному географическому объекту – аэропорту Волгоград (Гумрак). Классификация проводится по нескольким взаимосвязанным критериям, главными из которых являются физический механизм возникновения (генетическая классификация), синоптическая обстановка, а также морфологические признаки, такие как микрофизическая структура, вертикальная мощность и интенсивность явления. Такой многоаспектный подход позволяет создать целостное представление о природе туманов, необходимое для последующего детального исследования региональной специфики их формирования.

Туманы представляют собой метеорологическое явление, характеризующееся помутнением приземного слоя атмосферы вследствие конденсации водяного пара в огромном количестве взвешенных капель или ледяных кристаллов. Критерием для их определения служит снижение горизонтальной дальности видимости менее 1 км. Явление с видимостью от 1 км и более классифицируется как дымка [7, с. 533]. С точки зрения физики атмосферы, туманы являются видимым аэрозолем, формирующимся при достижении воздухом состояния насыщения.

Классификация данного явления может быть проведена по нескольким ключевым признакам, отражающим как механизмы развития, так и синоптический контекст. Наиболее существенным для прогностических целей

является генетический принцип, в основе которого лежат физические процессы, приводящие к насыщению воздуха. Согласно этому подходу, выделяются туманы охлаждения, испарения и смешения. При этом в реальных условиях часто наблюдается комбинированное действие нескольких процессов (таблица 1.1) [1, с. 547].

Таблица 1.1 – Классификация туманов

Туманы		
Туманы охлаждения	Адвективные	Над морем
		Над сушей
		Опускание облаков
	Орографические	-
	Адвективно-радиационные	-
	Радиационные	Поземные
Высокие		
Туманы испарения	Испарение с водной поверхности	
	Испарение капель (фронтальный туман)	
Туманы от сгорания топлива	Туманы от увеличения влаги	
	Туманы задымления	

Наибольшую повторяемость и практическую значимость, особенно для континентальных районов, имеют туманы охлаждения. Их образование обусловлено понижением температуры воздуха до точки росы. В зависимости от причины охлаждения различают:

Радиационные туманы, формирующиеся вследствие выхолаживания подстилающей поверхности и прилегающего воздуха за счет эффективного излучения в ночные часы при ясной погоде и слабом ветре. Они могут быть поземными, низкими и высокими (в случае мощной приземной инверсии).

Адвективные туманы, возникающие при перемещении (адвекции) относительно теплой и влажной воздушной массы на более холодную подстилающую поверхность.

Адвективно-радиационные туманы, в формировании которых сочетаются оба указанных процесса.

Орографические туманы, связанные с адиабатическим охлаждением

воздуха при его вынужденном подъеме по горным склонам.

Вторую крупную группу составляют туманы испарения, образующиеся при поступлении водяного пара с прогретой водной поверхности в более холодный приземный слой воздуха. К этой же группе можно отнести туманы, возникающие при испарении капель теплого дождя в холодном воздухе у земной поверхности. Особым случаем являются туманы смешения, образующиеся при турбулентном перемешивании двух масс воздуха, имеющих разную температуру и близких к насыщению, однако их вклад в общую повторяемость явления невелик [1, с. 547].

Синоптический подход позволяет разделить все туманы на внутримассовые и фронтальные. Последние формируются в непосредственной близости от атмосферных фронтов и связаны с комплексом термодинамических процессов: адиабатическим охлаждением при восходящих движениях, испарением осадков и др. [1, с. 547]. Дополнительными параметрами для описания явления служат микрофизическая структура, вертикальная мощность и интенсивность. По агрегатному состоянию частиц различают капельные (наиболее распространенные, включая переохлажденные), ледяные (кристаллические) и смешанные туманы. По вертикальной протяженности выделяют поземные (до 2 м), низкие (2–10 м), средние (10–100 м) и высокие (более 100 м) туманы. Для оценки оперативной опасности используется градация по горизонтальной видимости: слабые (500–1000 м), умеренные (200–500 м), сильные (50–200 м) и очень сильные (менее 50 м) [7, с. 534].

Таким образом, формирование туманов охлаждения является следствием достижения состояния насыщения воздуха при его охлаждении, которое может быть вызвано радиационным выхолаживанием подстилающей поверхности, адвекцией воздушной массы на холодный субстрат либо адиабатическим расширением при подъеме [7, с. 534]. Знание и учет конкретных физико-географических и синоптических условий, ведущих к реализации того или иного механизма, составляют основу для успешного прогнозирования этого опасного явления.

Формирование радиационных туманов представляет собой классический результат ночного выхолаживания приземного слоя воздуха над сушей в условиях малооблачной погоды и ослабленной турбулентности. Ключевым условием является охлаждение воздуха до температуры ниже точки росы, что приводит к достижению состояния насыщения и конденсации водяного пара [18]. Наиболее благоприятный синоптический фон для данного процесса создается в областях со слабыми барическими градиентами, таких как антициклоны, их отроги, барические гребни и седловины. Реже, преимущественно в летний сезон, подобные условия могут возникать и в малоподвижных полях пониженного давления [4, с. 178].

Динамика ветра играет критическую роль в процессе туманообразования. Оптимальной для возникновения и развития радиационного тумана является ситуация со слабым приземным ветром (до 3 м/с), сопровождающимся его небольшим усилением с высотой. Такой режим способствует слабому турбулентному перемешиванию, которое, с одной стороны, распространяет охлаждение и продукты конденсации вверх, увеличивая вертикальную мощность туманного слоя, а с другой — поддерживает капли во взвешенном состоянии. При абсолютном штиле перенос влаги и тепла осуществляется лишь молекулярной диффузией, что зачастую оказывается недостаточным для формирования обширного конденсационного объема [27]. Мощность образовавшегося туманного слоя, как правило, ограничена высотой приземной инверсии температуры и редко превышает 200–300 метров [4, с. 178].

Отдельный механизм связан с адиабатическим охлаждением воздуха при его восходящем движении по склонам возвышенностей. Возникающие таким образом орографические туманы обусловлены существенным вертикальным перемещением воздушной массы. В то же время адиабатическое охлаждение, вызванное лишь барическим падением у поверхности (например, при углублении ложбины), само по себе редко служит основной причиной туманообразования, обычно выступая дополнительным фактором на фоне других процессов [7, с. 535].

Туманы испарения формируются в принципиально иных условиях, когда температура испаряющей поверхности (водного пространства или падающих теплых капель дождя) превышает температуру холодного приземного воздуха. В первом случае возникают надводные туманы, во втором — фронтальные, связанные с испарением осадков в холодной воздушной массе [26].

К более редким типам относятся туманы смешения, образующиеся в зонах контакта двух разнородных воздушных масс, например, вблизи границ морских течений или побережий. Антропогенный фактор также может инициировать данный процесс, когда выбросы водяного пара и тепла создают локальную область теплого влажного воздуха, смешивающегося с окружающим более холодным [42].

Следует отметить, что в реальных атмосферных условиях образование тумана почти всегда является результатом сочетания нескольких физических механизмов. Однако генетическая классификация строится на выявлении преобладающего процесса, что имеет фундаментальное значение для разработки методов физико-статистического и синоптического прогноза [7, с. 535].

Таким образом, туманы как метеорологическое явление отличаются значительным разнообразием, которое может быть упорядочено на основе ряда классификационных признаков. Генетическая классификация, выделяющая туманы охлаждения (радиационные, адвективные, орографические), испарения и смешения, является ключевой для понимания физических причин их возникновения. Синоптический подход (внутримассовые и фронтальные туманы) связывает их образование с макромасштабными атмосферными процессами. Дополнительные характеристики – агрегатное состояние частиц, вертикальная мощность и степень ухудшения видимости – дают оперативное описание явления, важное для авиационных метеорологов.

Для континентальных районов, к которым относится и район исследования, наибольшую повторяемость и практическую значимость имеют внутримассовые туманы охлаждения, особенно радиационные. Однако

формирование тумана в конкретной точке всегда является результатом сложного взаимодействия синоптических предпосылок, локальных физико-географических факторов и действующих физических механизмов. Представленная систематизация создает необходимый теоретический базис для последующего анализа условий возникновения туманов в специфических условиях аэропорта Волгоград (Гумрак), что является предметом рассмотрения в следующем подразделе, посвященном непосредственным условиям их образования и рассеивания.

## 1.2 Условия образования и рассеивания туманов

Если классификация туманов создает систематизированную картину их разнообразия, то анализ условий образования и рассеивания позволяет перейти к пониманию конкретных физических и синоптических механизмов, обуславливающих их возникновение в пространстве и времени. Именно этот аспект является ключевым для решения практической задачи прогнозирования, особенно в контексте обеспечения безопасности авиационной деятельности. Образование любого тумана представляет собой результат достижения воздухом состояния насыщения по водяному пару, однако пути к этому состоянию, а также факторы, ведущие к его разрушению, существенно различаются в зависимости от генетического типа явления. Данный подраздел посвящен детальному рассмотрению термодинамических, динамических и синоптических предпосылок, необходимых для формирования и последующего рассеивания основных типов туманов. Особое внимание уделяется количественным критериям и параметрам (дефицит точки росы, скорость ветра, стратификация атмосферы), знание которых составляет основу современных методов краткосрочного прогноза, крайне востребованного в работе аэропорта Волгоград (Гумрак).

Радиационный тип тумана формируется в результате интенсивного ночного выхолаждения земной поверхности и прилегающего воздуха. Этот

процесс требует специфических синоптических условий: малооблачного неба, способствующего эффективному излучению, и ослабленной турбулентности, которая предотвращает вынос тепла из верхних слоев. Ключевым моментом является охлаждение воздушной массы до температуры ниже точки росы, что инициирует конденсацию [4, с. 177]. Оптимальным синоптическим фоном для развития данного процесса выступают квазистационарные барические образования с малыми градиентами давления – антициклоны, их отроги, гребни и седловины. В летний период подобные условия изредка могут складываться и в малоподвижных областях низкого давления [4, с. 178].

Динамика ветра является одним из определяющих факторов. Наиболее благоприятным для возникновения и развития радиационного тумана считается режим слабого приземного ветра (до 3 м/с) с его незначительным усилением с высотой. Подобная стратификация способствует умеренному турбулентному обмену, который, с одной стороны, распространяет охлаждение и влагу вверх, увеличивая мощность туманного слоя, а с другой — поддерживает конденсационные продукты во взвешенном состоянии. При абсолютном штиле перенос осуществляется лишь молекулярной диффузией, что часто недостаточно для формирования устойчивого конденсационного объема [4, с. 178]. Мощность образовавшегося тумана ограничена высотой приземной инверсии и, как правило, не превышает 200–300 метров [4, с. 178].

Процесс рассеивания радиационных туманов напрямую связан с суточным ходом температуры. После восхода солнца прогрев подстилающей поверхности приводит к нагреву приземного воздуха и разрушению инверсии. Туман рассеивается по мере того, как температура воздуха поднимается выше точки росы, достигнутой в предутренние часы [4, с. 186].

В отличие от радиационных, адвективные туманы формируются при горизонтальном переносе (адвекции) относительно теплой и влажной воздушной массы на более холодную подстилающую поверхность. Наиболее часто этот процесс наблюдается в холодный период года или в переходные сезоны при значительном потеплении. Прогноз таких туманов требует

комплексного учета адвективных изменений температуры и влажности, возможного снижения облачности до уровня земли, а также влияния ночного радиационного выхолаживания, которое может усилить процесс конденсации [4,с.191].

Общими необходимыми условиями для их возникновения являются малый дефицит точки росы (как правило, не более 3 °С) и скорость приземного ветра менее 8 м/с. Более сильный ветер приводит к разрушению приземной инверсии и турбулентному перемешиванию, препятствующему насыщению в устойчивом слое [4, с. 193].

Механизмы рассеивания адвективных туманов более разнообразны и не столь жестко привязаны к суточному ритму. К ним относятся: прекращение адвекции тепла (например, при изменении направления ветра), радиационный прогрев после восхода солнца, радиационное выхолаживание верхней границы тумана, ведущее к разрушению инверсии, усиление ветра свыше 8 м/с, уменьшение влагосодержания воздуха (за счет конденсации на поверхность или выпадения осадков). Поэтому рассеивание может происходить в любое время суток, хотя наиболее часто наблюдается через 3–5 часов после восхода солнца. В осенний период туман может сохраняться до второй половины дня, а зимой — рассеиваться даже ночью [4, с. 196].

Туманы испарения формируются в результате интенсивного поступления водяного пара с более тёплой поверхности в холодный приземный слой воздуха. Наиболее типичными районами их возникновения являются акватории открытых морей в тыловых частях циклонов, вслед за прохождением холодных фронтов. Однако аналогичный механизм может реализовываться и в континентальных условиях — над увлажнёнными почвами, обширными болотами или водоёмами в период, когда их температура существенно превышает температуру воздуха [4, с. 197].

Особую категорию составляют фронтальные туманы, генезис которых непосредственно связан с атмосферными фронтами. Они обычно образуются в холодный сезон года вблизи медленно смещающихся тёплых фронтов или

позади малоподвижных холодных фронтов. Физическая сущность явления заключается в испарении капель дождя или мороси, выпадающих из тёплой надфронтальной воздушной массы, в насыщенный холодный воздух, расположенный у земной поверхности. Интенсивность процесса, а следовательно, и вероятность образования тумана, прямо пропорциональна разности температур на верхней границе фронтальной инверсии и у земли. Ключевыми прогностическими критериями, которые необходимо учитывать при синоптическом анализе, являются: положительная температура на верхней границе инверсии, разность температур «верх инверсии — земля» не менее 3 °С, дефицит точки росы в холодном воздухе у земли не более 2 °С, а также скорость приземного ветра, не превышающая 6 м/с [4,с.198]. Временные параметры существования такого тумана тесно связаны со скоростью и фазой эволюции фронтального раздела.

При экстремально низких температурах (порядка –30 °С и ниже) в районе аэродромов и населённых пунктов могут наблюдаться специфические морозные, или ледяные, туманы. Их происхождение носит преимущественно антропогенный характер и обусловлено смешением переохлаждённого атмосферного воздуха с тёплыми и влажными выбросами от промышленных объектов, систем отопления и двигателей внутреннего сгорания [4, с. 200]. Благоприятным синоптическим фоном для этого служат устойчивые антициклонические образования, создающие условия для застоя воздуха и формирования мощной приземной инверсии. При определённых сочетаниях влажности и температуры выхлопных газов происходит пересыщение окружающей среды, приводящее к мгновенной сублимации водяного пара и формированию взвеси ледяных кристаллов [4, с. 200]. Следует отметить, что при температурах ниже –39 °С туманы могут образовываться исключительно в кристаллической фазе [4, с. 200].

Несмотря на современный уровень технологического развития авиации, обеспечивающий принципиальную возможность выполнения полётов в сложных метеоусловиях, наличие туманов по-прежнему остаётся критическим

фактором, серьёзно ограничивающим регулярность и безопасность авиаперевозок [2, с. 139]. Ограниченная видимость, особенно на этапах взлёта и посадки, создаёт значительные операционные трудности, приводя к задержкам и отменам рейсов. Таким образом, детальное изучение условий формирования различных типов туманов сохраняет свою высокую практическую актуальность для метеорологического обеспечения гражданской авиации.

Основным операционным риском, связанным с туманами для авиации, является резкое ухудшение горизонтальной и вертикальной видимости, что создает прямую угрозу безопасности на критических этапах взлета и посадки. Пилотирование в таких условиях существенно усложняется из-за полной или частичной потери визуальной ориентировки, что требует от экипажа непрерывного контроля пространственного положения по пилотажным приборам [2, с. 139]. Кроме того, метеорологическая обстановка, сопутствующая образованию туманов (например, температурные инверсии, высокая влажность), часто благоприятствует развитию других опасных явлений, таких как обледенение воздушного судна или повышенная турбулентность. Дополнительные оптические эффекты, включая миражи и дымку, могут искажать восприятие дистанции и рельефа, внося дополнительную субъективную сложность в процесс управления [2, с. 139].

С точки зрения продолжительности, вертикальной мощности и внезапности возникновения наибольшую опасность представляют адвективные туманы. Их способность формироваться в любое время суток и сохраняться в течение длительного периода приводит к наиболее серьезным нарушениям расписания и длительным закрытиям аэропортов [2, с. 158].

Для стандартизации требований к безопасному выполнению полетов в условиях ограниченной видимости Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) установлена система категорированных минимумов. Данные минимумы регламентируют два ключевых параметра: высоту принятия решения (фактически, нижнюю границу облаков) и дальность видимости на взлетно-посадочной полосе (ВПП). В соответствии с этими нормами

выделяются три основные категории. Минимумы первой категории (CAT I) допускают посадку при видимости на ВПП не менее 800 метров и высоте облаков от 60 метров. Более строгие условия второй категории (CAT II) предусматривают видимость не менее 400 метров при высоте облаков от 30 метров. Наиболее жесткие требования предъявляются к третьей категории (CAT III), которая, в свою очередь, подразделяется на подкатегории в зависимости от минимально допустимой видимости: III-A – не менее 200 м, III-B – не менее 50 м, и III-C, теоретически допускающая посадку при нулевой видимости [2, с. 144]. Таким образом, нормативная база напрямую отражает приоритетность параметра видимости как определяющего фактора для принятия решения о возможности выполнения полета [2, с. 144].

Таким образом, условия образования и рассеивания туманов определяются комплексным взаимодействием радиационных, адвективных и турбулентных процессов, протекающих в специфическом синоптическом контексте. Каждый генетический тип тумана (радиационный, адвективный, фронтальный) имеет четкий набор необходимых и достаточных условий, включающих определенный режим ветра, стратификацию атмосферы, величину дефицита точки росы и характер синоптической ситуации [2, 4, 7].

Анализ показывает, что радиационные туманы, будучи строго привязанными к суточному ходу температуры и условиям ночного выхолаживания, обладают более предсказуемым жизненным циклом. В противоположность им, адвективные и фронтальные туманы характеризуются большей продолжительностью и могут возникать в любое время суток, что делает их прогноз более сложным, а воздействие на работу аэропорта – более существенным [2, с. 158].

Полученные теоретические выводы о критических параметрах туманообразования создают необходимую аналитическую базу для последующего прикладного исследования.

## 2 Физико-географическая и климатическая характеристика города Волгограда района аэропорта Волгоград (Гумрак)

### 2.1 Особенности рельефа местности и его влияние на образование туманов в аэропорту Волгоград (Гумрак), климатические характеристики района аэропорта

Детальный анализ условий возникновения туманов в конкретной локации невозможен без всестороннего учёта местных физико-географических и климатических факторов. Эти факторы выступают в роли модификаторов общих синоптических и физических процессов, описанных в первой главе, придавая туманообразованию региональную специфику. Аэропорт Волгоград (Гумрак), расположенный в сложной ландшафтной обстановке на стыке крупных геоморфологических структур, представляет собой характерный пример сильного влияния местных условий на режим опасных метеоявлений. Целью данного раздела является комплексная характеристика рельефа, гидрографии и климата района аэропорта, а также оценка их роли в формировании благоприятных предпосылок для образования туманов различных типов.

Волгоград располагается в уникальной физико-географической ситуации, находясь на границе трёх крупных морфоструктур: Приволжской возвышенности, возвышенности Ергени и Прикаспийской низменности, которые разделены глубокой долиной реки Волги. Эта позиция определяет существенную неоднородность рельефа в окрестностях города. Аэропорт Волгоград (Гумрак), обеспечивающий воздушное сообщение региона, расположен в западной части города на территории Приволжской возвышенности [12]. Данная местность характеризуется максимальными для городской черты отметками высот, достигающими 130–150 метров над уровнем моря [6, с.5].

Рельеф в районе аэропорта и к западу от него представляет собой систему слабовыпуклых водоразделов, постепенно переходящих в склоны речных долин

и балок. Эти склоны, расположенные в интервале высот от 40–50 до 100–120 метров, достаточно резко, особенно на восточных рубежах, обрываются в сторону обширной и плоской Прикаспийской низменности с абсолютными отметками 20–30 метров [5, с. 43; 10]. Таким образом, к востоку от аэропорта простирается обширная низменная равнина, в то время как с юго-запада на северо-восток тянется своеобразный орографический барьер в виде возвышенного правого берега Волги.

Важнейшим фактором, влияющим на местный микроклимат и условия туманообразования, является близость крупных водных объектов. Примерно в 15 км восточнее аэропорта протекает река Волга, ширина которой в этом районе составляет около 1 км. К северо-востоку начинается акватория Волгоградского водохранилища. Помимо этого, в радиусе 30–50 км от аэропорта находятся другие значительные водные массивы: река Дон, Цимлянское водохранилище, Волго-Донской судоходный канал и цепь Сарпинских озер [17]. Наличие этих испаряющих поверхностей создаёт постоянный источник влагооборота для приземного слоя атмосферы.

Климат района характеризуется как резко континентальный, что является результатом взаимодействия мощного термического влияния Азиатского материка и смягчающего воздействия западного переноса воздушных масс. Территория открыта для вторжения как холодного арктического и казахстанского воздуха, так и тёплых воздушных масс с Атлантики, Средиземноморья и Ирана.. Однако, поступая в регион, эти массы активно трансформируются, приобретая континентальные свойства. Главными климатическими чертами выступают резкий годовой ход температуры, существенный дефицит атмосферных осадков, частые засухи и, как следствие, полупустынный характер ландшафта [6, с. 23]. Такие условия формируют специфический радиационный и термический режим, который в сочетании с описанными орографическими и гидрологическими особенностями создаёт предпосылки для определённых сценариев возникновения туманов, требующих детального анализа.

Климат Волгограда характеризуется ярко выраженной континентальностью, что находит своё количественное отражение в преобладающем влиянии материка на термический режим. Согласно расчётам, вклад континентальных факторов в годовую амплитуду температуры воздуха составляет около 88%, тогда на долю океанических влияний приходится лишь 12% [34]. Эта особенность напрямую связана с господством континентальных воздушных масс умеренных широт, формирование которых происходит преимущественно в области повышенного давления над юго-востоком Европейской части России. Их повторяемость является доминирующей и достигает 79%.

Значительно меньшую роль играют арктические воздушные массы, сохраняющие свои первоначальные свойства. Их адвекция (около 4% повторяемости) обычно связана с ультраполярными вторжениями или происходит в тыловой части быстро смещающихся «ныряющих» циклонов. В подобных ситуациях воздух не успевает подвергнуться достаточной трансформации, что приводит к резким похолоданиям, особенно характерным для переходных сезонов года. В летний период существенное влияние оказывают континентальные тропические воздушные массы, формирующиеся над территориями Казахстана и Средней Азии, а также образующиеся в результате интенсивной трансформации местного континентального воздуха умеренных широт. Их повторяемость оценивается в 7%, а появление сопровождается установлением продолжительной и изнуряющей жары.

Морские умеренные воздушные массы, поступающие со стороны Средиземного и Чёрного морей, отмечаются в среднем в 10% случаев. Важно подчеркнуть, что в процессе адвекции через территорию Западной Европы эти массы подвергаются значительной трансформации, теряя большую часть первоначального влагосодержания, и прибывают в район Волгограда существенно иссушенными [35].

Указанное распределение и свойства основных воздушных масс закономерно обуславливают преобладание антициклонического типа

циркуляции над циклоническим [39]. Таким образом, ключевым климато- и погодообразующим процессом для региона является антициклогенез, который и определяет характерные типы синоптических ситуаций, формирующие погодные условия в Волгограде и его окрестностях. Данный синоптический фон необходимо учитывать при анализе условий для возникновения таких явлений, как туманы.

**Западный тип** Он возникает в результате влияния азорского максимума. От антициклона отделяются ядра высокого давления проходя по югу ЕЧС, они иногда ослабевают или же вновь усиливаются над юго-востоком ЕЧС. В среднем за год влияние азорского максимума наблюдается в течении 68 дней, особенно оно усиливается в весенний и летний периоды.

**Северо-западный тип.** Антициклон смещается со Скандинавии, затем, получая дополнительное питание с гренландского максимума и смещаясь к юго-востоку, он усиливается, увеличиваясь по площади. Данный тип синоптических процессов чаще всего встречается в летний и в осенний периоды, за год наблюдается 54 дня с процессами этого типа.

**Северный тип.** Перемещение антициклонов происходит с Карского и Баренцева морей Гребень этого антициклона занимает всю территорию ЕЧС и нередко в нем образуется самостоятельное ядро высоко давления, которое медленно смещаются к юго-востоку. Такой тип синоптических процессов, в отличии от предыдущих, чаще встречаются в холодное время года и переходные периоды [36].

В климатологии для каждого конкретного района сроки наступления сезонов определяется по датам перехода средней суточной температуры воздуха через определенные пределы. Для зимы таким пределом служит устойчивый осенний и весенний переход средней суточной температуры через  $0^{\circ}\text{C}$ . Весна ограничивается переходами через  $0^{\circ}\text{C}$  и  $10^{\circ}\text{C}$ , в сторону повышения, осень – переходами через эти пределы в сторону понижения. Для лета пределом служат переходы через  $10^{\circ}\text{C}$  в сторону повышения (начало лета) и в сторону понижения (конец лета) [6, с. 122].

Зима. Средней датой начала зимы в Волгограде считается 15 ноября, конец 24 марта, продолжительность 131 день.

В Волгограде зима начинается сразу только в отдельные редкие годы. Обычно наблюдаются период предзимья. В этот период похолодания с удерживающимся снежным покровом сменяются оттепелями с полным сходом снега.

Преобладающими типами погоды зимой являются умеренно морозная и морозная. В течении холодного периода Волгоград находится преимущественно в области западного отрога сибирского антициклона с преобладанием влияния континентального воздуха умеренных широт и временами морского умеренного воздуха со Средиземноморского бассейна.

Самыми холодными месяцами зимы являются январь и февраль. Средняя месячная температура составляет  $-8,6^{\circ}\text{C}$ , в феврале  $-8,2^{\circ}\text{C}$  [3,с.112].

При вхождении с запада морского воздуха умеренных широт температура воздуха повышается и выпадают осадки в виде морозящих дождей, наступает оттепель.

Климатические условия Волгограда имеют выраженную сезонную динамику, каждый сезон года вносит свой вклад в формирование специфического метеорологического режима, влияющего, в том числе, на условия туманообразования.

Зимний сезон отличается преобладанием пасмурной погоды, обусловленной активной циклонической деятельностью. Среднее количество ясных дней за зиму не превышает 28. Осадки носят преимущественно обложной характер с суммой около 188 мм, выпадая в основном в виде снега, хотя в 10-15% случаев отмечаются дожди. Устойчивый снежный покров невелик, его максимальная средняя декадная высота составляет лишь 17 см., что оказывает влияние на радиационно-тепловой режим приземного слоя. Зимой часто наблюдаются опасные явления: гололедно-изморозевые отложения (16-24 дня за сезон) и метели, повторяемость которых в районе аэропорта Гумрак (28 дней) выше среднегородской (19 дней) [8]. Именно зимой

фиксируется максимальное количество дней с туманами – от 37 до 64. Ветровой режим характеризуется преобладанием восточных и северо-восточных направлений с наибольшими в году средними и максимальными скоростями, достигающими 15 м/с и более в течение 4-6 дней за сезон[37].

Весна в регионе короткая и динамичная, наступающая в среднем 25 марта. Для неё характерны быстрый прогрев воздуха и почвы, а также высокая изменчивость погоды, вызванная ослаблением Сибирского антициклона и увеличением частоты вторжений арктического воздуха, что провоцирует поздние заморозки. Суточные температуры колеблются в широких пределах, хотя преобладают значения от 5 до 10 °С [15]. Количество ясных дней возрастает, а осадки, сумма которых невелика (около 24 мм), носят уже ливневой характер, иногда сопровождаясь грозами. Весной отмечается резкое снижение относительной влажности воздуха (в среднем 6 дней с влажностью менее 30%) и минимальная в году повторяемость туманов (2-4 дня). Ветры смещаются к западным и северо-западным румбам, а их скорость уменьшается.

Летний период, длящийся с 18 апреля по 7 октября, является самым продолжительным (171 день) и устойчивым. Его формирование определяется интенсивным прогревом континентального воздуха и его трансформацией в тропический на фоне ослабленной циркуляции и господства антициклонов. Лето жаркое и засушливое, со средней температурой самого тёплого месяца (июля) +24.3 °С и абсолютным максимумом до +44.0 °С [22]. Количество ясных дней достигает 65 за сезон при минимальной облачности. Осадки имеют исключительно ливневый характер и часто сопровождаются грозами (в среднем 21 день с грозой). Относительная влажность воздуха остаётся низкой (58 дней с влажностью  $\leq 30\%$ ) [3,с.125,136]. Повторяемость туманов незначительна. Ветровой режим летом неустойчив: в начале сезона преобладает западный перенос, а в июле-августе возрастает повторяемость восточных и юго-восточных ветров.

Осень (7 октября – 14 ноября) – время перехода к зимнему типу циркуляции с усилением циклонической деятельности. Для первой половины

сезона характерна ясная, сухая погода с большими суточными амплитудами температуры, сменяющаяся поздней осенью увеличением облачности и количества дождливых дней. Сумма осадков составляет около 31 мм [3, с. 429]. Осенью вновь возрастает повторяемость дней с туманами (до 3-4), появляются гололедно-изморозевые явления. Преобладают ветры северо-западных направлений, скорость которых усиливается по мере углубления сезона [3, с. 136].

Расположение Волгоградского аэропорта без детального рассмотрения, не должно вносить какие-либо местные трансформационные изменения в воздушные массы, но на деле повторяемость туманов тут значительно выше даже метеостанции Волгоград СХИ, расположенной всего в 14 км к юго-востоку, не говоря уже что в городе Волжском и поселке Краснослободск, повторяемость туманов значительно ниже [20].

Таблица 2.1 – Среднее количество дней с туманом, 2020 – 2024 гг.

№ п/п	Метеостанция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
1	Волгоград Гумрак	10,4	8,4	5,6	1,4	0,6	0,4	0,0	0,2	1,8	3,8	8,6	11,8	53,0
2	Камышин	6,1	5,6	5,1	1,3	0,7	0,0	0,0	0,0	0,4	2,0	4,7	7,4	31,2
3	Волгоград СХИ	6,3	4,3	2,6	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	1,6	6,6	9,0	29,9
4	Нижний Чир	5,0	3,1	2,6	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,3	1,3	3,4	4,8	21,3
5	Даниловка	2,7	2,4	2,1	1,1	0,7	0,1	0,1	0,0	0,9	3,1	1,9	2,7	17,4
6	Эльтон	3,9	3,0	1,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	3,2	3,3	14,3
7	Фролово	1,6	2,8	1,1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	1,4	1,4	2,9	11,8
8	Иловля	3,1	2,1	0,7	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,8	1,6	2,6	10,0
9	Новоаннинский	1,8	2,2	1,7	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,1	1,7	9,6
10	Серафимович	1,0	0,9	1,3	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	1,7	2,0	8,5
11	Рудня	1,3	1,3	1,1	0,6	0,6	0,0	0,1	0,1	0,8	1,3	1,4	1,5	8,5
12	Михайловка	1,3	1,9	1,5	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	1,6	0,8	2,5	7,5
13	Урюпинск	0,9	0,9	1,1	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	0,7	0,7	0,7	5,5
14	Котельниково	1,8	1,5	0,8	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,7	1,4	5,3
15	Елань	0,7	0,7	1,0	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	0,7	1,0	5,2
16	Калач-на-Дону	1,7	1,0	0,6	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	1,0	2,0	3,7
17	Ольховка	0,7	0,9	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,6	0,1	0,9	3,2
18	Палласовка	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4

Как видно из таблицы 2.1, количество туманов в аэропорту Волгоград, значительно превосходит данные по всему региону, это дает повод для

дополнительных исследований.

Более того в Волгоградском аэропорту повторяемость тумана значительно превышает повторяемость этих явлений в других аэропортах Северо-Кавказского региона, где условия для их образования более благоприятны.

Это наводит на мысль, что влияние на туманообразования оказывает пусть и незначительный, но все же ощутимый подъем воздушной массы с Прикаспийской низменности, на Приволжскую возвышенность. Немаловажным фактором является и добавочное увлажнение, и насыщение воздушной массы над Волгой, которая даже зимой, за исключением сильной, ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ , практически не покрывается льдом, вследствие водосброса Волжской ГЭС.

Разница высот составляет всего 150 метров, но и ее оказалось достаточно, чтобы изменить режим туманов в большую сторону. Происходит эффект наветренных склонов гор (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Вертикальный разрез рельефа местности Волгоград – Краснослободск по азимуту  $119^{\circ}$ , на расстояние 18 км, с указанием высот над уровнем моря [9]

Возвышенность способствует подъему теплого влажного воздуха с акватории Волги, при подъеме она охлаждается и достигает состояния

насыщения, при других благоприятных условиях способствует образованию тумана. Но в следствии малого бассейна реки Волги в районе города Волгоград, туманы данного вида, а их можно назвать туманы склонов, имеют незначительную горизонтальную протяженность, при юго-восточном процессе, не более 20-25 км от аэропорта на северо-запад. Это подтверждено данными с ведомственного аэродрома Волгоград (Мариновка), на которым туманы в этот момент не наблюдаются.

Синоптические ситуации образования туманов в районе Волгоградского аэропорта при ветре юго-восточной четверти показал, что основным аэросиноптическим условием является взаимодействие юго-западной периферии Сибирского и Казахстанского антициклона и передней части Черноморского циклона.

В Волгоградской области наблюдается столкновение двух разнородных воздушных масс: у земной поверхности господствует сухой и прохладный воздух, пришедший из Казахстана, а в приграничном слое – теплый и насыщенный влагой воздух с южных морей.

Проходя над клином студеного воздуха и охлажденной землей, теплый и влажный воздух, поступающий с юга, подвергается остыванию. Постепенно, при постоянном притоке тепла и влаги, облачное образование становится больше и, достигая поверхности, трансформируется в туман.

Благодаря такому противодействию воздушных масс постоянно поддерживается и не исчезает нужный температурный перепад, что приводит к продолжительному существованию туманов. Усиление антициклона и его отрога над Поволжьем способствует увеличению температурного контраста между взаимодействующими массами.

Проведённый анализ позволяет заключить, что физико-географическая обстановка района аэропорта Волгоград (Гумрак) формирует комплекс условий, существенно влияющих на режим туманов. Ключевыми элементами этой обстановки являются:

Орографический контраст: Расположение аэропорта на западной окраине

Приволжской возвышенности создаёт выраженный перепад высот к востоку, в сторону Прикаспийской низменности и долины Волги. Данный фактор может способствовать застою охлаждённого воздуха в понижениях рельефа и влиять на локальную циркуляцию, создавая условия для радиационного выхолаживания.

Близость крупных водных объектов: Наличие Волги, Волгоградского водохранилища, Дона и системы озёр в радиусе 30-50 км служит постоянным источником дополнительного увлажнения приземного воздуха.

Резко континентальный климат: Господство трансформированных континентальных воздушных масс, большие суточные и годовые амплитуды температуры, преобладание антициклонической погоды зимой и жаркая сухая погода летом определяют сезонное распределение типов туманов.

Высокая повторяемость туманов зимой (37-64 дня) коррелирует с устойчивыми антициклонами, способствующими радиационному выхолаживанию.

Таким образом, рельеф и климат района аэропорта Гумрак создают потенциально благоприятный фон для формирования, в первую очередь, внутримассовых радиационных и адвективных туманов в холодный период года [23].

Однако конкретная реализация этого потенциала зависит от характера макромасштабных атмосферных процессов, что делает необходимым детальный анализ синоптических ситуаций, приводящих к туманам, который будет представлен в следующем подразделе.

## 2.2 Обзор основных синоптических ситуаций образования туманов в аэропорту Волгоград (Гумрак) и их повторяемость

Чтобы в дальнейшем изучить причины и условия возникновения туманов, рассмотрим основные синоптические ситуации его способствующие его образованию.

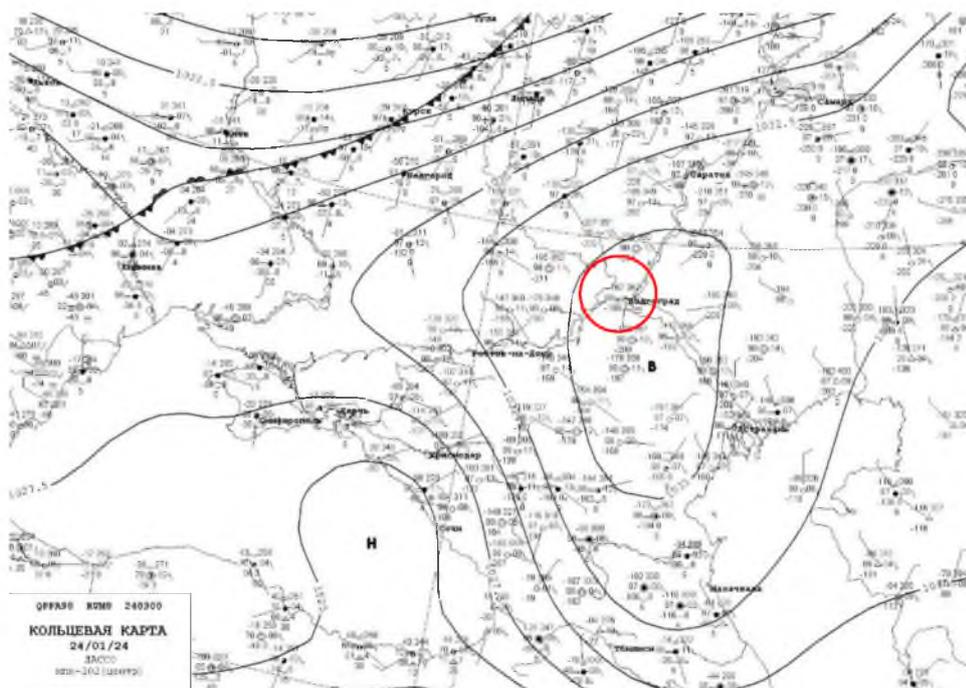


Рисунок 2.2 – Синоптическая ситуация 24.01.2024 г. 03:00 UTC (антициклон)

На рисунке 2.2 представлена синоптическая ситуация с радиационным туманом, в антициклоне. Туман образовался в 06.00UTC (здесь и далее время московское, если др. не указано) и рассеялся в 09.30 общая продолжительность 3,5 часа.

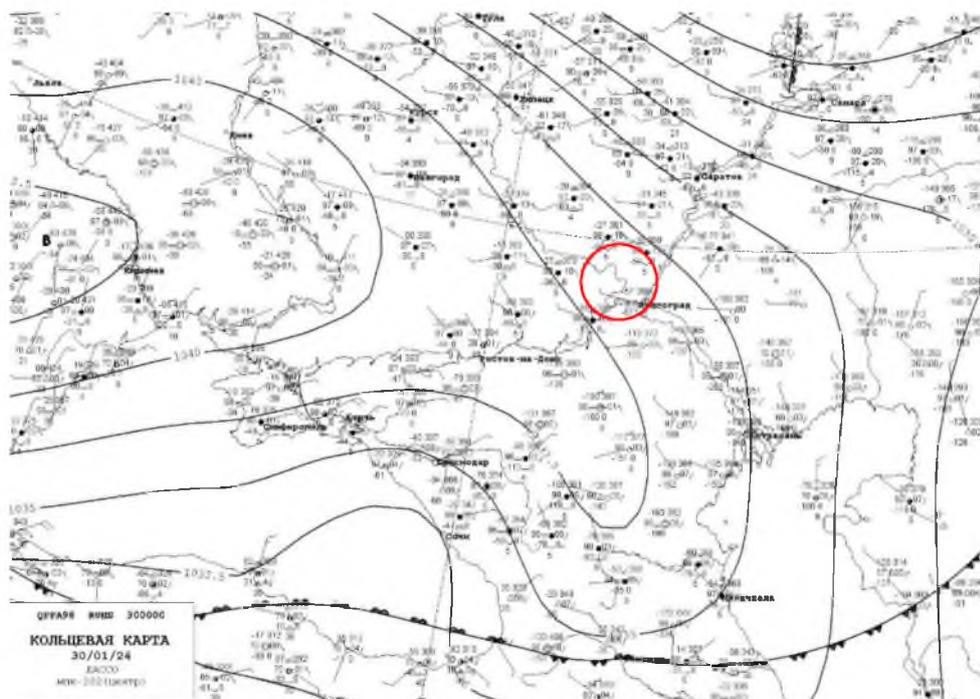


Рисунок 2.3 – Синоптическая ситуация 30.01.2024 г. 00:00 UTC (гребень антициклона)

На рисунке 2.3 представлена синоптическая ситуация с радиационным туманом, в гребне антициклона. Туман образовался в 03.00 и рассеялся в 06.30 общая продолжительность 3,5 часа.

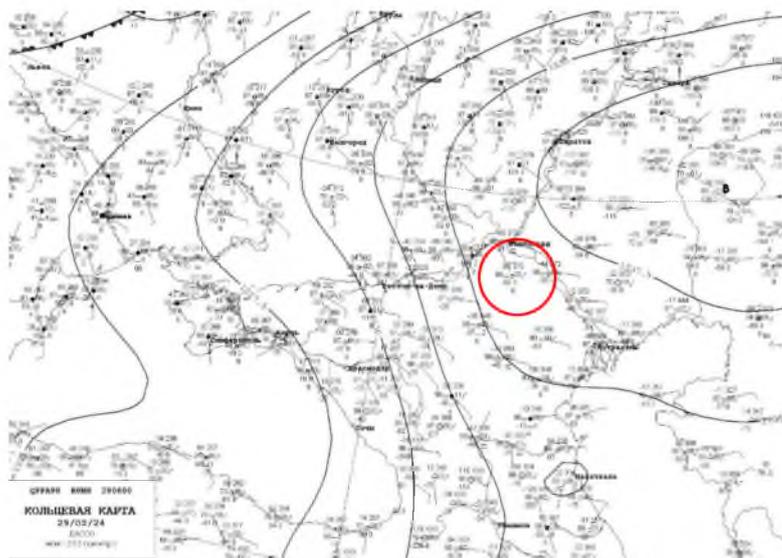


Рисунок 2.4 – Синоптическая ситуация 29.02.2024 г. 06:00 UTC (западная периферия антициклона)

На рисунке 2.4 представлена синоптическая ситуация с адвективно-радиационным туманом, в западной периферии антициклона. Туман образовался в 10.30 и рассеялся в 11.30 общая продолжительность 1 час. Несмотря на отрицательные температуры ( $-6,9^{\circ}\text{C}$ ), река Волга в районе ГЭС не замерзла это и привело к адвентивным изменениям воздушной массы.

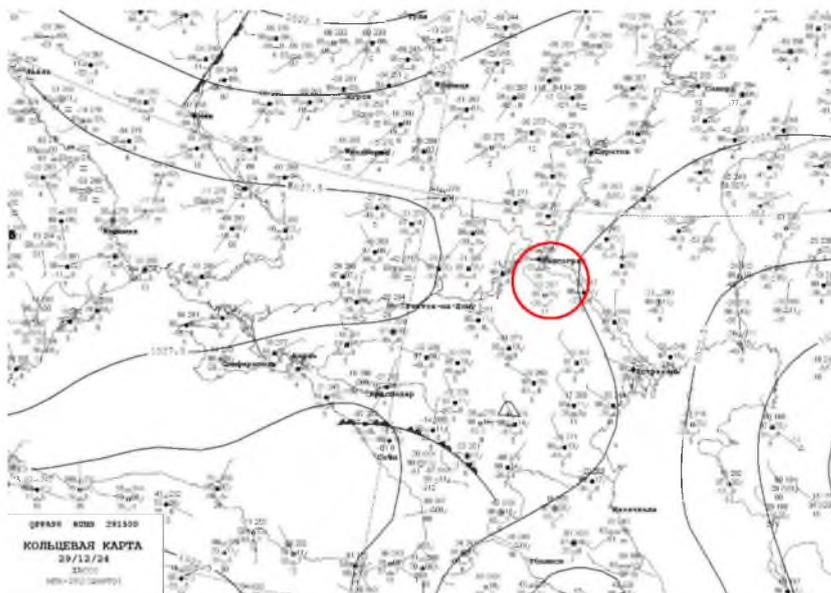


Рисунок 2.5 – Синоптическая ситуация 29.12.2024 г. 15:00 UTC (седловина)

На рисунке 2.5 представлена синоптическая ситуация с радиационным туманом, в седловине. Туман образовался в 21.30 и рассеялся в 02.00 общая продолжительность 3,5 час. Ему предшествовало добавочное увлажнение, в следствии снеготаяния днем, при около нулевых температурах.

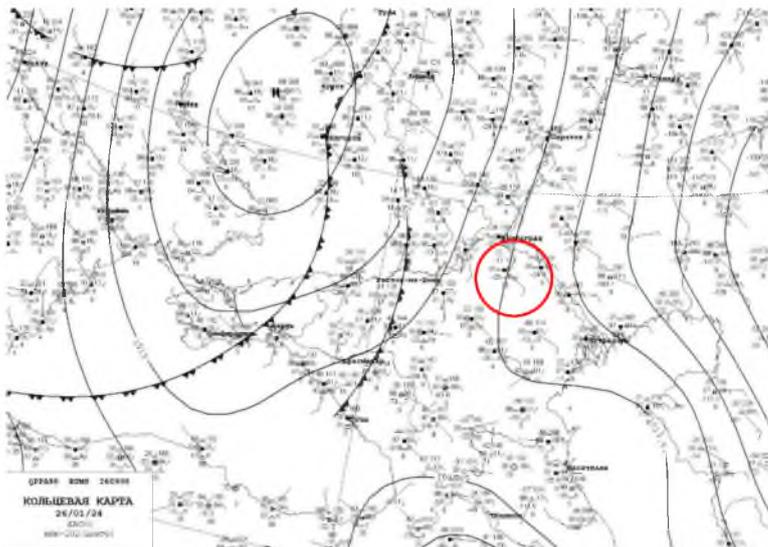


Рисунок 2.6 – Синоптическая ситуация 26.01.2024 г. 09:00 UTC (теплый сектор циклона)

На рисунке 2.6 представлена синоптическая ситуация с адвентивным туманом, в теплом секторе циклона. Туман образовался в 11.30 и рассеялся в 13.00, с наступлением темноты образовался в 19.00 и рассеялся в 21.30, окончательно образовался в 23.30 и полностью рассеялся в 16:30 следующих суток, суммарная общая продолжительность 22 часа.

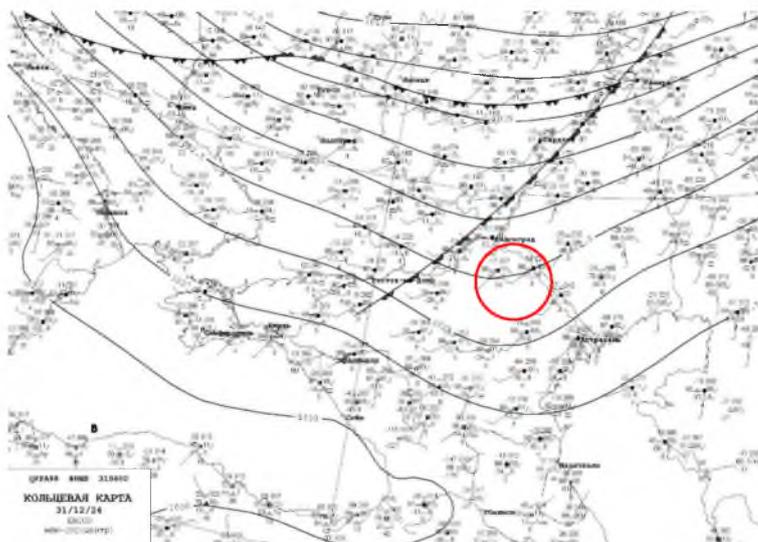


Рисунок 2.7 – Синоптическая ситуация 31.12.2024 г. 06:00 UTC (теплый фронт)

На рисунке 2.7 представлена синоптическая ситуация с фронтальным туманом. Туман на фронтальной линии непосредственно связан со смещением фронта, продолжительность менее одного часа.

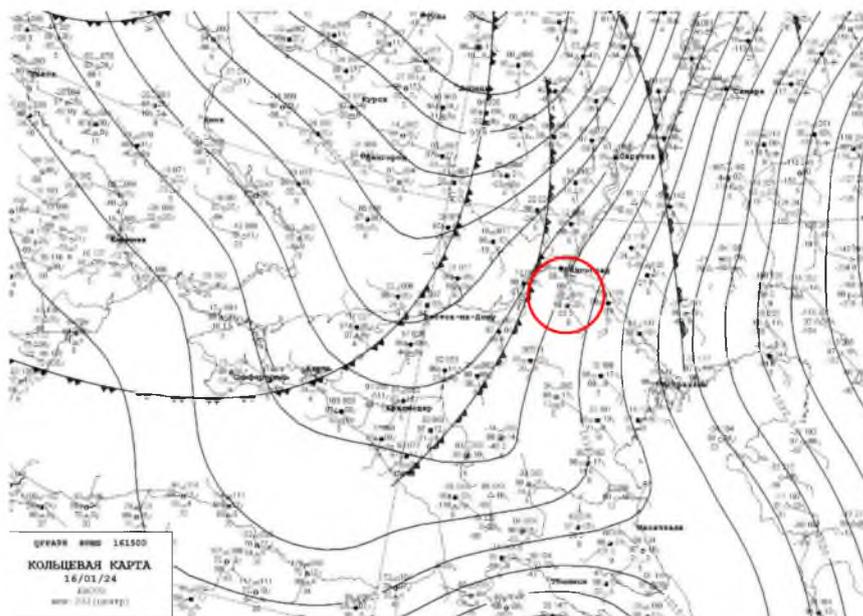


Рисунок 2.8 – Синоптическая ситуация 16.01.2024 г. 15:00 UTC (фронт окклюзии)

На рисунке 2.8 представлена синоптическая ситуация с фронтальным туманом. Туман на фронтальной линии непосредственно связан со смещением фронта, продолжительность менее одного часа.

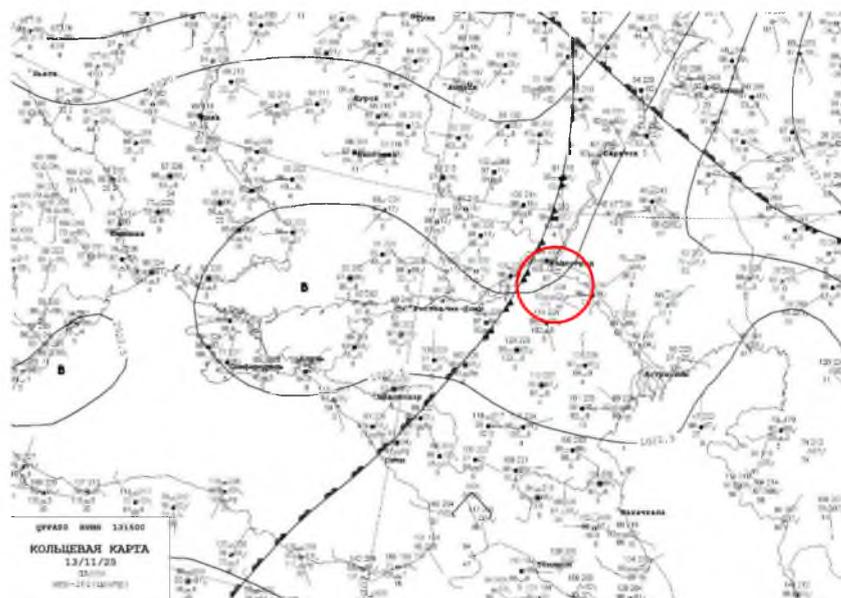


Рисунок 2.9 – Синоптическая ситуация 13.11.2025 г. 15:00 UTC (холодный фронт)

На рисунке 2.9 представлена синоптическая ситуация с фронтальным туманом. Туман на фронтальной линии непосредственно связан со смещением фронта.

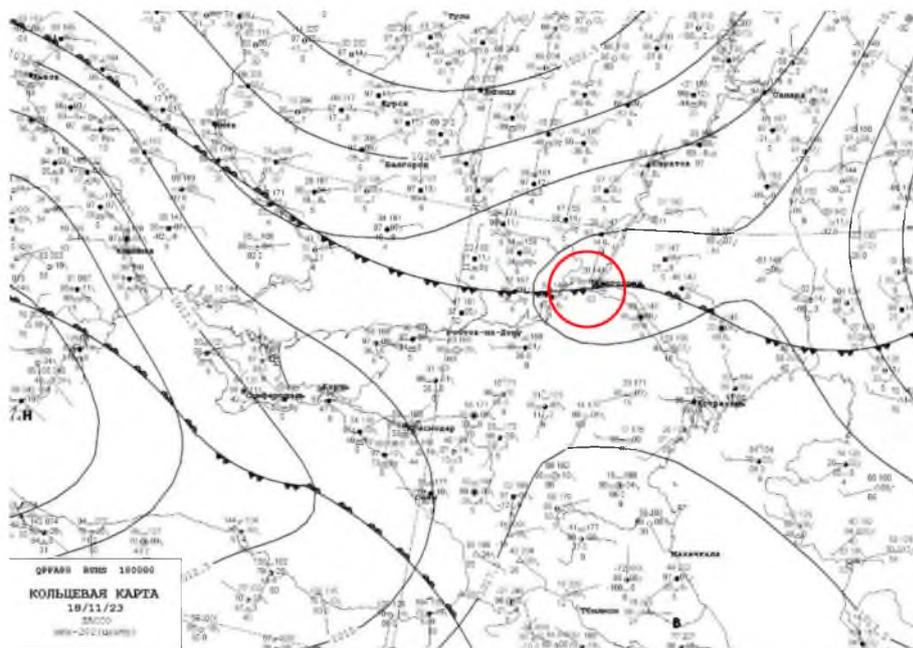


Рисунок 2.10 – Синоптическая ситуация 13.11.2025 г. 15:00 UTC (циклон)

Проанализировав типичные барические образования при которых наблюдался туман в районе аэропорта Волгоград (Гумрак), рассмотрим их повторяемость.

Таблица 2.2 – Повторяемость различных синоптических ситуаций в случае образования туманов в районе аэропорта Волгоград (Гумрак) [24, 32]

Барическое образование	Повторяемость, %
Циклон	2,2
Антициклон	8,7
Ложбина	8,3
Седловина	10,0
Гребень	16,1
Холодный фронт	5,7
Теплый фронт	2,6
Фронт окклюзии	7,4
Малоградиентное поле повышенного давления	7,4
Малоградиентное поле пониженного давления	6,5
Теплый сектор циклона	3,9
Западная периферия антициклона	21,3

Повторяемость синоптических ситуаций, связанных с

туманообразованием видна из таблицы 2.2. Чаще всего туманы в районе аэропорта Волгоград образуются в антициклонических циркуляциях – суммарная повторяемость 32,2%, гребень антициклона – 16,1 %, антициклон – 8,7%, малоградиентное поле повышенного давления – 7,4%, с этими барическими образования как правило связаны радиационные туманы [13]. А вот западная периферия антициклона – 21,3%, это благоприятные условия для образования адвективно-радиационного тумана. Повторяемость фронтальных туманы составляет суммарно – 15,7%.

### 3 Исследование условий возникновения туманов в районе аэропорта Волгоград (Гумрак) их прогнозирование и анализ их адаптивности

#### 3.1 Повторяемость различных условий, способствующих образованию тумана в аэропорту Волгоград (Гумрак)

В процессе исследования за период с 1 января 2020 по 31 декабря 2024 г. в районе аэропорта Волгоград (Гумрак) было зафиксировано 265 случаев возникновения тумана. Из таблицы 3.1 видно, что годом с наименьшим количеством случаев туманов является 2020 г. – за этот год насчитывалось 42 случаев с образованием туманов. Наибольшее число случаев насчитывалось в 2021 г., что соответствует 66 случаям.

Таблица 3.1 – Среднее (наибольшее) число дней (ночей) с туманом Волгоград (Гумрак) за период 2020-2024 гг.

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VI I	VI II	IX	X	XI	XI I	Год
2024	9	6	8	0	0	0	0	1	0	4	8	15	51
2023	5	4	5	2	0	0	0	0	0	4	11	12	43
2022	13	10	6	2	1	1	0	0	5	6	9	10	63
2021	16	10	6	3	1	1	0	0	4	2	8	15	66
2020	9	12	3	0	1	0	0	0	0	3	7	7	42
Среднее число дней	10,4	8,4	5,6	1,4	0,6	0,4	0,0	0,2	1,8	3,8	8,6	11,8	53,0
Наибольшее число дней	16	12	8	3	1	1	0	1	5	6	11	15	66

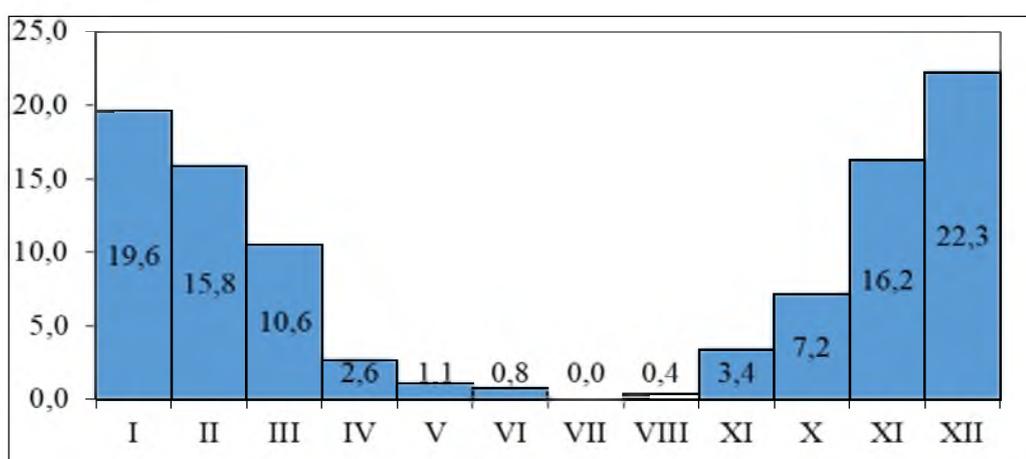


Рисунок 3.1 –Повторяемость (%) среднего числа дней с туманом в аэропорту Волгоград (Гумрак) ( 2020-2024 гг).

Производя анализ архива 2020-2024 гг. (рисунок 3.1), можно сделать вывод, что самыми благоприятными являются холодные периоды года с октября по март, на них и приходится наибольшая - 22,3% в декабре, самый «туманный» месяц и 19,6% - январь.

В период с апреля по сентябрь повторяемость туманов незначительна 1-3,5%, отдельные случаи в июне и августе, до 1% результат добавочного увлажнения, связанного вечерними грозами и кратковременными, но обильными ливневыми осадками.

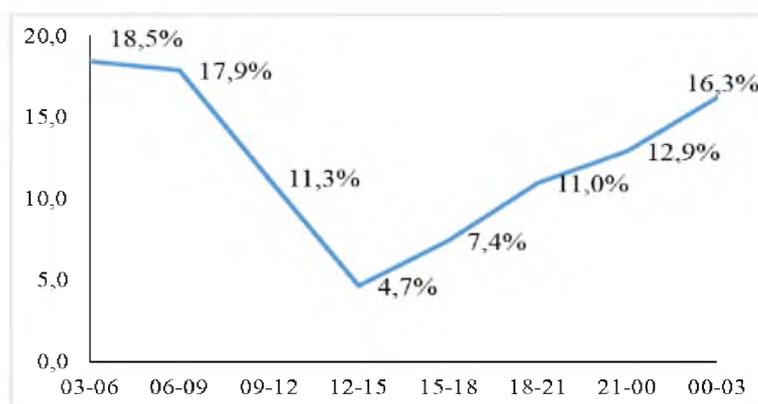


Рисунок 3.2 – Суточный ход случаев образования(время UTC) туманов в аэропорту Волгоград (Гумрак) (2020-2024 г).

Из графика 3.2 видно, что повторяемость туманов, что наиболее часто туманы образуются во вторую половину и в предрассветные часы суммарная повторяемость- 47,9%, с незначительным максимум на восходе солнца - 18,6%, в период с 06:00 до 09:00 местного времени.

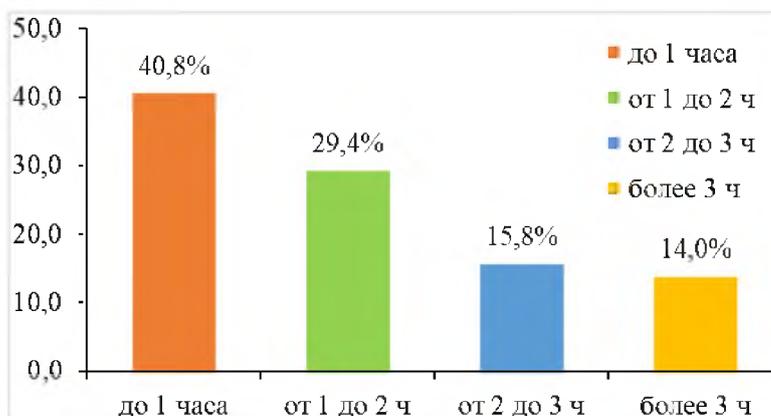


Рисунок 3.3 – Результаты повторяемости (%) непрерывной продолжительности туманов в аэропорту Волгоград (Гумрак), ( 2020-2024 гг.)

В дальнейшем мы рассмотрим такой немаловажный фактор, как непрерывная продолжительность туманов.

На рисунке 3.3, видно, что 40,8% случаев повторяемости приходится на туманы, длительность которых не превышала 1 часа. Количество повторяемости числа туманов, чья продолжительность составляла от 1 часа до 2 насчитывалось 29,4%, повторяемость туманов длительность которых составляет 2-3 часа –15,8 %. Что касается повторяемости туманов, чья непрерывная продолжительность превышала более 3 часов, то она мала - 14% от общего числа случаев.

Таблица 3.2 – Максимум непрерывной продолжительности туманов (часов) в аэропорту Волгоград (Гумрак) за 2020-2024 гг.

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Часы	30	31	46,5	7	2	0	0	2	8	12	18,5	45

Абсолютных рекордсменов, выявилось два почти по двое суток, 45 часов (30 декабря 2021 г.), туману соответствовал теплый сектор циклона и 46,5 часов (1 марта 2022 г.) здесь аэропорт находился под влиянием западной периферии антициклона.

Таблица 3.3 – Годовой ход продолжительности туманов (часов) в аэропорту Волгоград (Гумрак) за 2020-2024 гг.

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Часы	120,0	85,0	54,0	11,5	2,5	0,0	0,0	2,0	12,0	32,5	59,5	140,5

Как видно из таблицы 3.2, зимние месяцы лидируют как по количеству так по общему времени суммарной продолжительности туманов.

Туманы продолжительностью в сутки, а аэропорту Волгограда, не редкость, что конечно вносит определённые коррективы в воздушный трафик авиационной гавани.

Проанализировав время образования туманов и их непрерывную продолжительность, интересно будет узнать время их рассеивания.

На диаграмме 3.4, видно, что наиболее часто туманы рассеиваются с

началом прогрева – повторяемость 23,6%, с 09:00 до 12:00 местного времени, это как правило связано с радиационным характером их образования.

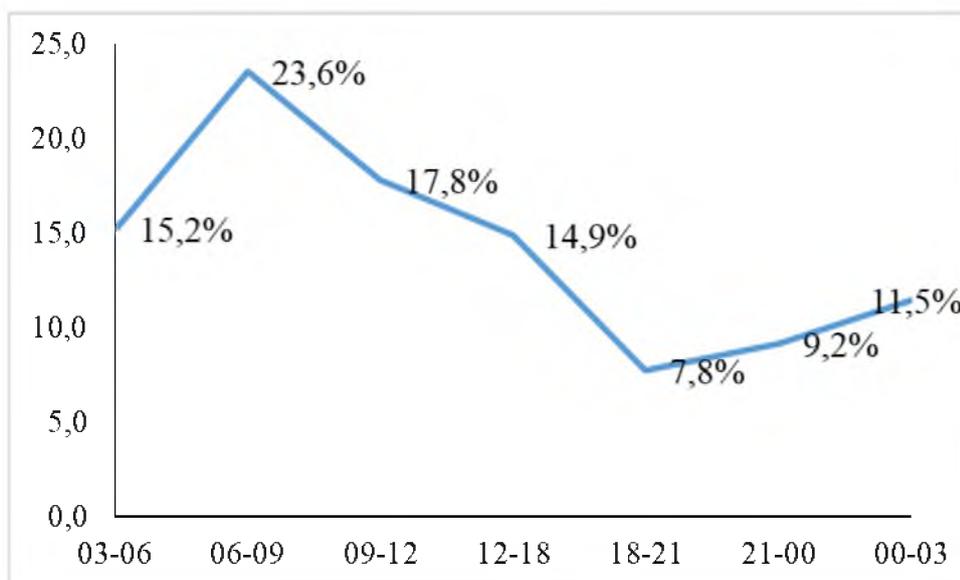


Рисунок 3.4 – Процент суточного хода случаев рассеивания туманов (время UTC) в аэропорту Волгоград (Гумрак) за 2020-2024 гг.

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

Туманы подразделяются на градации в зависимости от того какая видимость зафиксирована. Эта информация представлена и на рисунке 3.5.

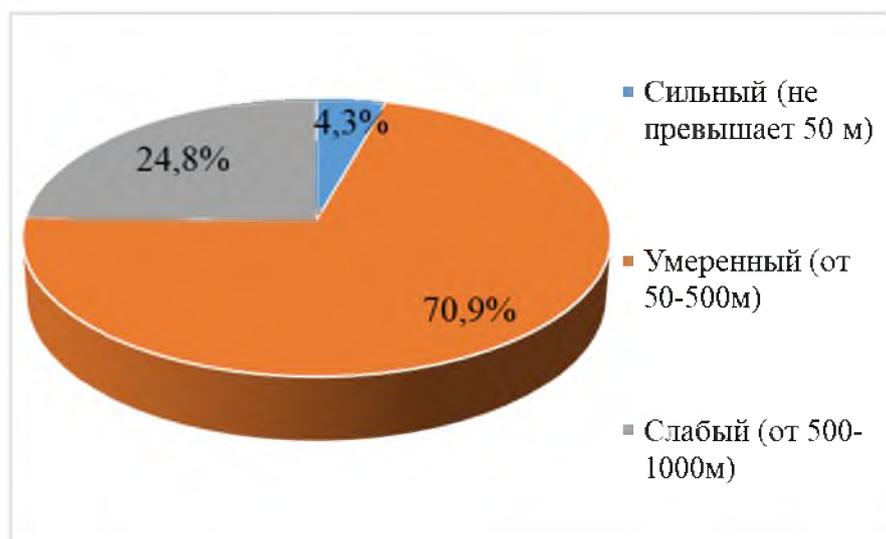


Рисунок 3.5 – Повторяемость горизонтальной видимости в аэропорту Волгоград (Гумрак) за 2020-2024 гг.

За исследуемый период времени было выявлено 70,9% случаев появления умеренного тумана с видимостью менее 500 м, 24,8% слабого с видимостью от 500 до 1000 м и 4,3% сильного с видимостью при котором не превышала 50 м.

Наиболее интересно, какая непосредственно видимость наиболее часто бывает в аэропорту при тумане.

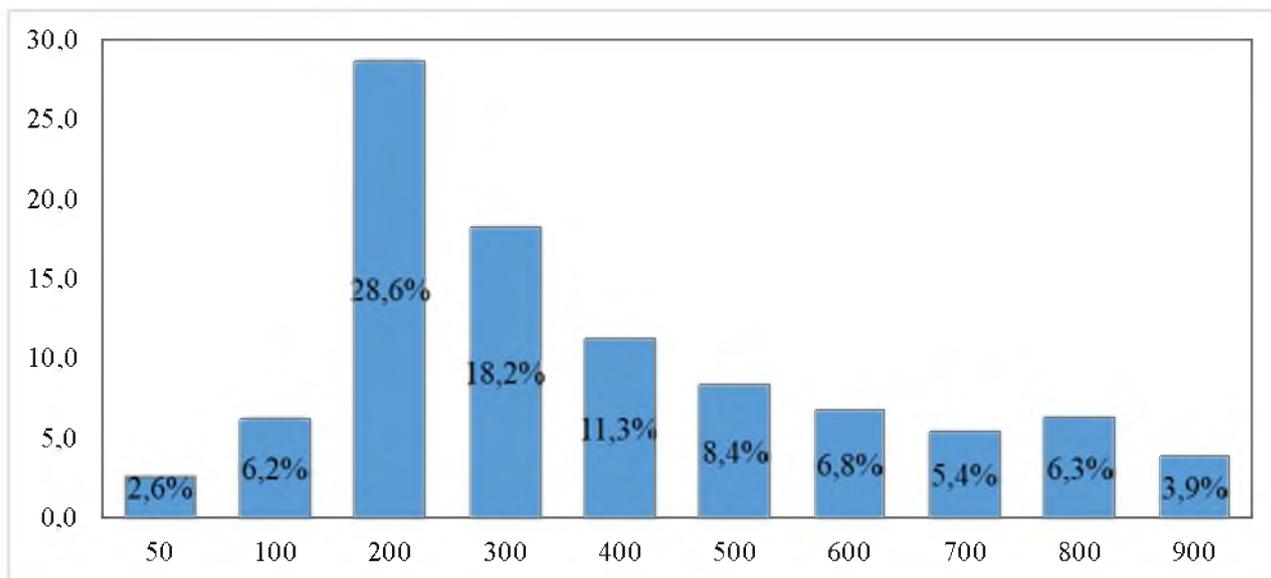


Рисунок 3.6–Повторяемость (%) различных градаций горизонтальной видимости в аэропорту Волгоград (Гумрак) за 2020-2024 гг.

Как видим из рисунка 3.6 наиболее часто повторяется градация видимости в районе 200 метров (700ft) – 28,6%, несмотря на то что это очень ограниченная видимость она соответствует категории IIIАпо ИКАО, и является рабочей для ВПП 05 оборудованной системой ILSCATI/II/IIIА

Типы туманов, в аэропорту Волгоград(Гумрак) (рисунок 3.7).

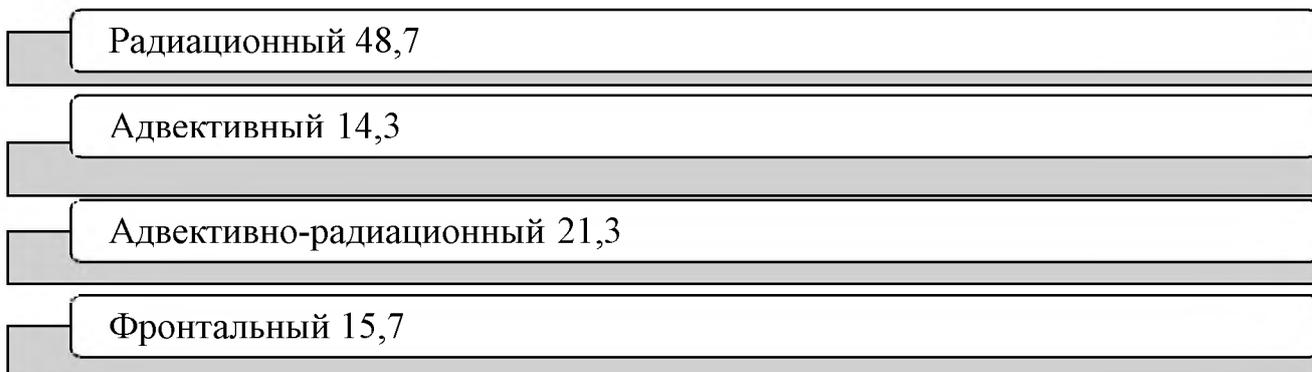


Рисунок 3.7 – Повторяемость (%) различных типов туманов, в районе аэропорта Волгоград(Гумрак) за 2020-2024 гг.

С 2020 по 2024 гг. было отмечено наибольшее число повторяемости 48,7% случаев с наличием радиационных туманов, 15,7% повторяемости составили фронтальные туманы, 14,3% - повторяемости адвективные и 15,7% повторяемости адвективно-радиационные туманы.

Температура воздуха оказывает значительное влияние на образование туманов (рисунок 3.8).

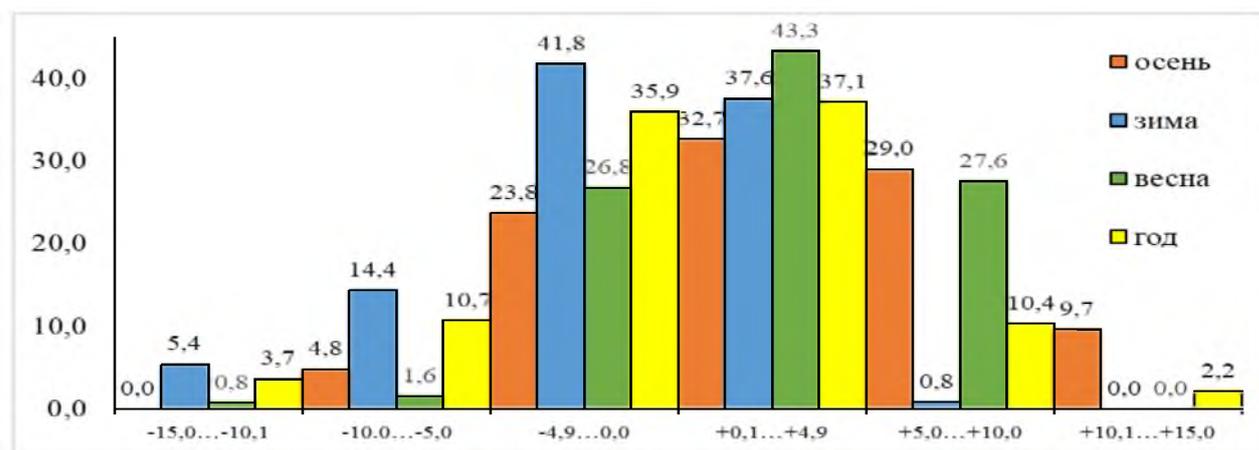


Рисунок 3.8 – Гистограмма анализа повторяемости (%) различных диапазонов температур воздуха во время туманов в районе аэропорта Волгоград (Гумрак) за период 2020-2024 гг.

Анализируя рисунок 3.7, можно увидеть два ярко выраженных максимума, зимой туманы образуются чаще всего в диапазоне температур, от 0,0 до -5,0°C – 41,8%, весной от 0,0 до +5,0 °C – 43,3%, осенью максимум так же приходится на положительные температуры, от 0,0 до +5,0 °C – 32,7%.

Значительное влияние на образование туманов оказывает ветер. На рисунке 3.8 (страница 38) показана роза ветра, на которой наглядно видно что наиболее благоприятное направление ветра для образования туманов является юго-восточное 35,3-38,3%, за исключением случаев тумана весной, там благоприятным направлением является восточное – 40,6%, это связано с радиационным характером туманов и положением барических гребней и антициклонов, в холодное время года не редки адвективно-радиационные туманы, связанные как с западной периферией антициклона так и рельефом местности в Заволжье, откуда и приходит воздушная масса.

Таблица 3.4 – Анализ повторяемости (%) различных направлений ветров (румбов) при туманах по сезонам года в аэропорту Волгоград(Гумрак) за период 2020-2024 гг.

Направление ветра, румбы	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Год	2,6	5,8	19,5	36,8	8,9	11,7	10,6	4,1
Осень	4,0	3,7	19,7	35,3	8,7	11,6	12,5	4,5
Зима	2,4	6,7	17,1	38,3	10,6	13,4	8,3	3,2
Весна	1,6	7,6	40,6	15,5	2,0	6,8	17,9	8,0

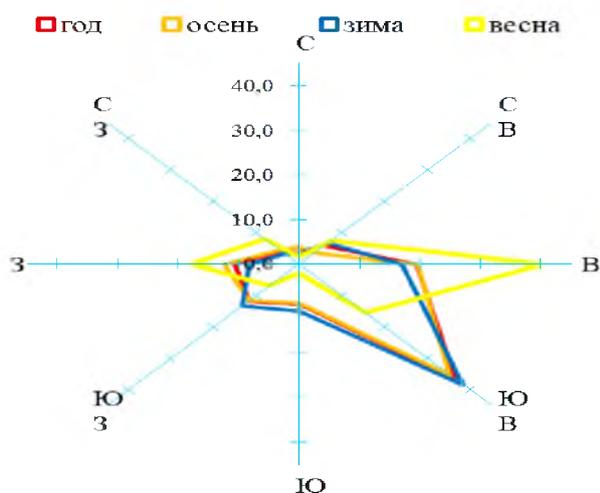


Рисунок 3.8–Повторяемость (%) направлений ветра при туманах в аэропорту Волгоград (Гумрак) ( 2020-2024 гг).

Анализирую розу ветров при туманах, легко можно увидеть, что годовая повторяемость направлений ветра, практически полностью совпадает с осенней.

Немаловажным условием в образовании туманом кроме направления является и скорость приземного ветра.

Таблица 3.5 – Анализ повторяемости(%) различных градаций скоростей ветра при туманах по сезонам года в аэропорту Волгоград (Гумрак) за период 2020-2024 гг.

Скорость ветра, м/с	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13
Год	8,5	25,4	32,5	22,9	8,2	2,3	0,2
Осень	9,9	28,2	27,5	18,6	9,7	6,0	0,2
Зима	8,2	24,1	34,6	23,4	8,1	1,3	0,1
Весна	15,5	27,8	26,0	18,1	7,2	4,3	1,1

Как видно из таблицы 3.5 и рисунка 3.9, преобладающей скоростью ветра при туманах является диапазон, 4-5 м/с, в среднем за год - 32,5%, с максимумом зимой - 34,6%, однако весной и осенью картина немного меняется, туманы чаще образуются при слабом ветре 2-3 м/с, 27,8 – 28,2% соответственно. Это напрямую связано с преобладающим типом туманов. Туманы при сильных ветрах более 10 м/с бывают крайне редко.

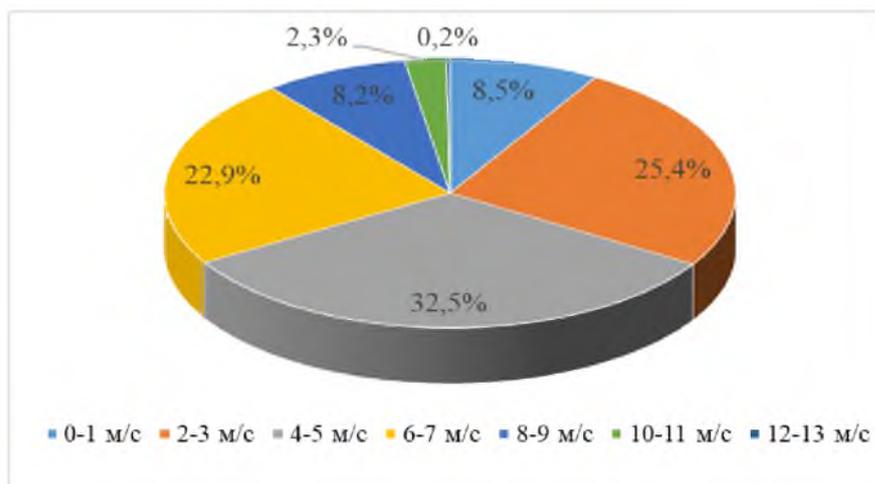


Рисунок 3.9 – Годовой ход повторяемости скоростей ветра при туманах в аэропорту Волгоград (Гумрак) ( 2020-2024 гг).

При рассмотрении множества факторов, влияющих на туманообразование, мы видим, что все они были учтены, математически и графически обоснованы, и наглядно реализованы в методах расчета туманов.

### 3.2 Расчетные методы прогнозирования туманов в аэропорту Волгоград (Гумрак) и анализ их адаптивности

Прогноз возникновения радиационных туманов, представляющих наибольшую частоту и практическую значимость для континентальных районов, в своей физической основе сводится к решению ключевой задачи: оценки, достигнет ли ожидаемое ночное понижение температуры воздуха величины, необходимой для достижения состояния насыщения. Таким образом, прогностическая процедура заключается в сопоставлении двух расчётных

величин – минимально возможной температуры воздуха в предутренние часы ( $T_{\min}$ ) и температуры туманообразования ( $T_T$ ), под которой понимается температура насыщения при данном влагосодержании воздуха. Критерием для включения тумана в прогноз служит выполнение условия:  $T_T > T_{\min}$  [4, с. 181]. Следовательно, точность прогноза напрямую зависит от корректности определения обеих этих характеристик.

$$T_T > T_{\min} \rightarrow \equiv \quad (3.1)$$

Одним из распространённых подходов к оценке радиационного выхолаживания является метод, основанный на номограмме А. С. Зверева (рисунок 3.10). Данная методика позволяет определить величину необходимого ночного понижения температуры ( $\Delta T$ ), достаточного для возникновения дымки или тумана, исходя из начальных условий в вечерние часы. Исходными параметрами служат температура воздуха и его относительная влажность в момент, близкий к заходу солнца. По номограмме, зная эти значения, можно определить критическое падение температуры, которое приведёт воздух к состоянию насыщения [4, с. 182-183]. Метод является наглядным и относительно простым, однако его точность в значительной степени зависит от выполнения стандартных условий радиационного выхолаживания (штиль, ясное небо).

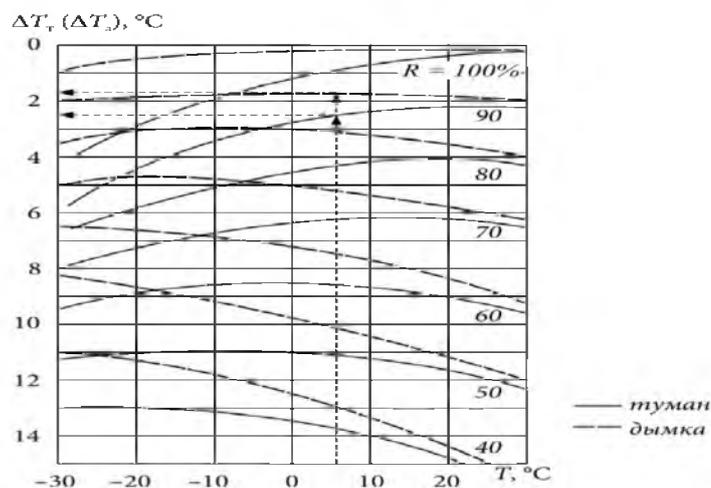


Рисунок 3.10 – Номограмма А. С. Зверева для прогноза тумана[4, с. 182].

Здесь по горизонтальной оси отложена температура воздуха в момент, близкий к моменту захода Солнца, кривые линии соответствуют относительной влажности воздуха в тот же момент времени, а по вертикальной оси определяется необходимое понижение температуры для возникновения тумана или дымки. Причем по пунктирным кривым линиям определяется понижение температуры, необходимое для возникновения дымки, а по сплошным линиям — для возникновения тумана. Дополнительных пояснений для пользования данной номограммой, на наш взгляд, больше не требуется [4, с. 183].

Альтернативный метод, предложенный Д. Н. Лаврищевым, фокусируется на более точном определении собственно температуры туманообразования ( $T_t$ ) с использованием графической зависимости максимальной упругости водяного пара от температуры. Суть метода заключается в графическом анализе на диаграмме «упругость пара – температура». По известной температуре точки росы ( $T_d$ ) определяется фактическое влагосодержание воздуха (точка А). Затем, отложив от этой точки вниз по вертикали некоторую статистически обоснованную для конкретного пункта величину  $\Delta e_1$ , находят точку В. Температура, соответствующая этой точке на кривой насыщения, и принимается в качестве расчётной  $T_t$  [4, с. 183-184]. Ключевым достоинством метода является возможность его адаптации к местным условиям путём корректировки параметра  $\Delta e_1$  на основе многолетних данных наблюдений за туманами.

Важно отметить, что на ряде авиаметеорологических станций, включая Волгоград, для упрощения расчётов иногда используется упрощённый подход, при котором принимается  $\Delta e_1 = \Delta e$  (дефицит упругости пара в вечерние часы). Как справедливо отмечается в литературных источниках, такое допущение не является физически строгим и может снижать оправдываемость прогнозов [4, с. 184]. Повышение точности метода Лаврищева непосредственно связано с проведением локальной климатической статистики для обоснованного выбора параметра  $\Delta e_1$ , что подчёркивает важность адаптации типовых методик к специфике конкретного района прогноза, такого как аэропорт Гумрак.

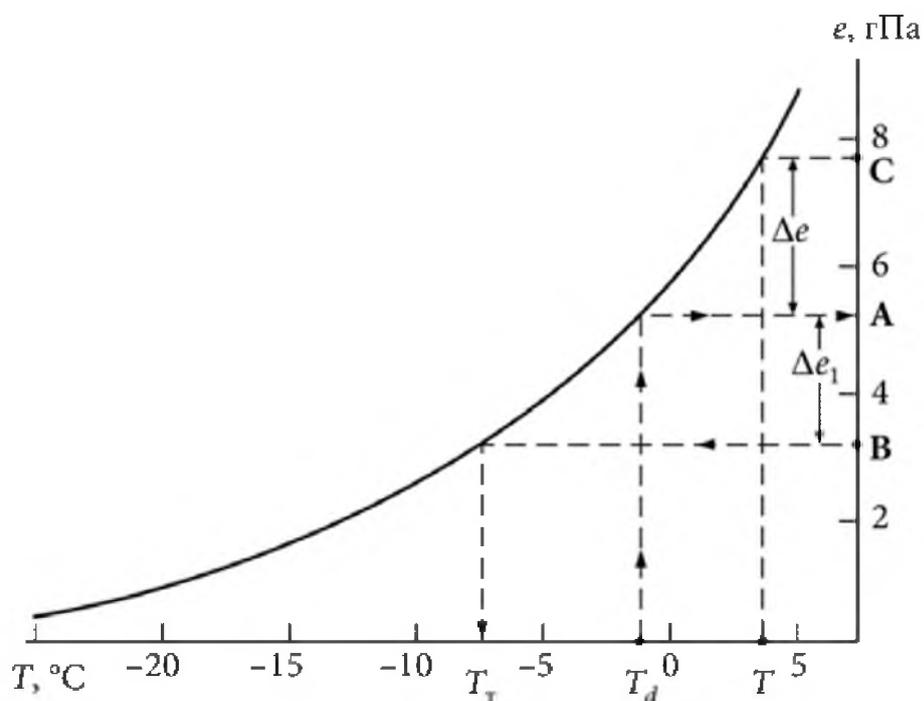


Рисунок 3.11 – График определения величины  $T_t$  по методу Д. Н. Лаврищева[4, с. 183].

Метод Д. Н. Лаврищева для определения температуры туманообразования близок к правилам определения  $T_t$  по аэрологической диаграмме (рисунок 3.11). Следует отметить одно обстоятельство.

На ряде АМСГ, где пользуются данным методом для прогноза радиационных туманов (Волгоград и др.), принимают  $\Delta e = \Delta e_1$ . В принципе, это не совсем верно (скорее, совсем не верно).

Данный метод имел бы на этих станциях еще более высокую оправдываемость, если бы величина  $\Delta e_1$  определялась с учетом имеющихся статистических характеристик, но так проще — не нужно ничего считать. Просто по фактическим данным определил  $\Delta e$  и на такую же величину по графику опустил вниз — и все [4, с. 184].

Следующим этапом в развитии расчётных методов стал подход, предложенный Н.В. Петренко, который ввёл в рассмотрение дополнительный параметр — ночное понижение не только температуры воздуха, но и температуры точки росы. Согласно этому методу, температура туманообразования ( $T_t$ ) определяется по формуле [2, с. 75]:

$$T_T = T_d - \Delta T_d \quad (3.2)$$

где  $T_d$  - температура точки росы в срок, близкий к заходу солнца;  $\Delta T_d$  - возможное понижение температуры точки росы в течение ночи от начального срока до момента образования тумана. Величина  $\Delta T_d$  не является постоянной и задаётся таблицей зависимости от исходного значения  $T_d$ , что позволяет более гибко учитывать изменения влагосодержания в приземном слое в процессе ночного выхолаживания (таблица 3.6) [2, с. 180].

Таблица 3.6 – Средние значения  $\Delta T_d$  в зависимости от температуры точки росы в исходный срок [2, с. 180]

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

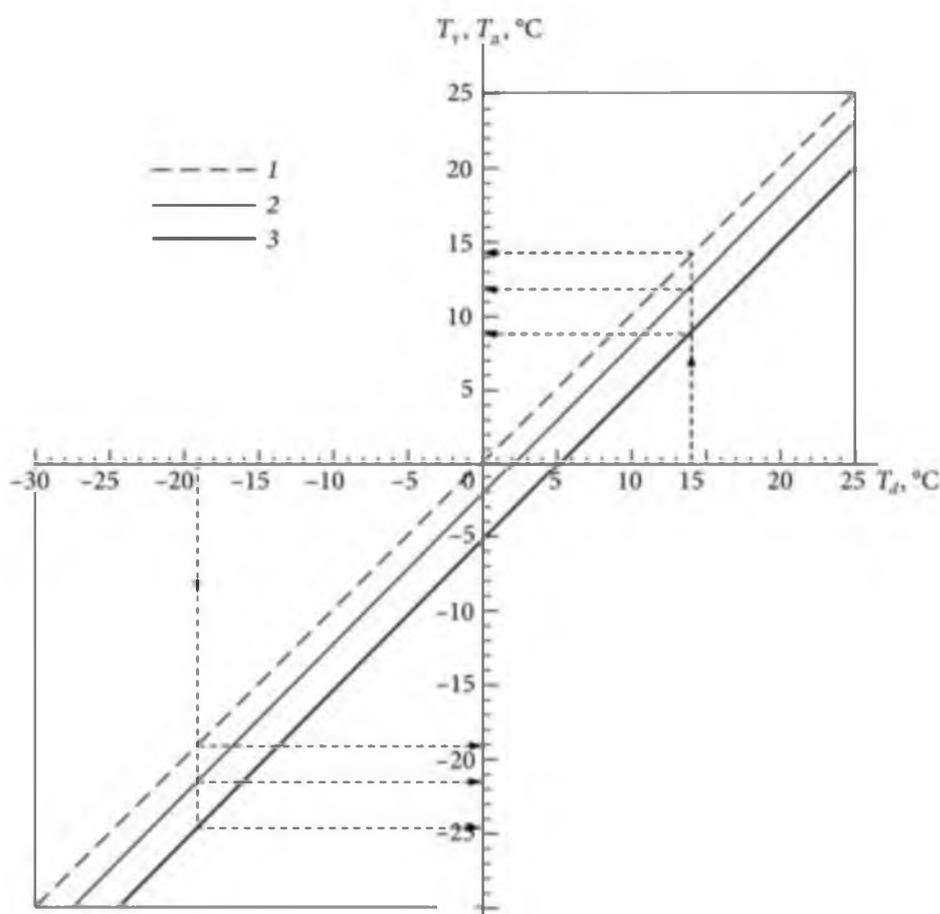


Рисунок 3.12 – График для прогнозирования радиационных туманов методом Н.В. Петренко [2, с. 181]

Особую ценность методу Петренко придаёт разработанный им график, который позволяет не просто дать бинарный ответ о возможности тумана, но и оценить его ожидаемую интенсивность. Нанося на этот график расчётные значения, метеоролог может определить, попадает ли точка в зону, соответствующую дымке, слабому, умеренному или сильному туману [2, с. 181]. Таким образом, метод решает одну из ключевых практических задач – прогноз конкретного значения видимости, что критически важно для принятия оперативных решений в авиации (рисунок 3.12).

Ведь зоне выше линии 1 соответствует отсутствие тумана, зоне между линиями 1-2 соответствует дымка, зоне между линиями 2-3 – слабый или умеренный туман и ниже линии 3 – сильный туман. Таким образом, по методу Н.В. Петренко можно не только прогнозировать туман, но и видимость в нем, что очень важно [2, с. 181].

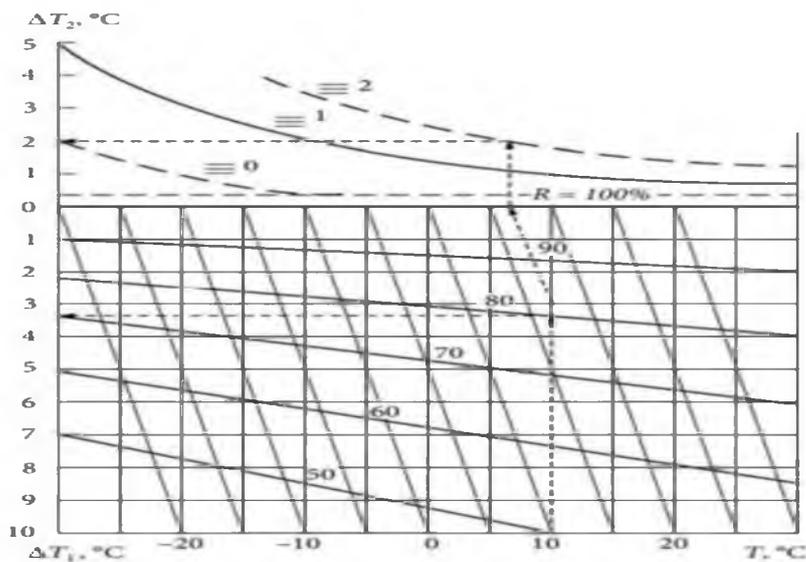


Рисунок 3.13 – Номограмма Б.В. Кирюхина для определения величины  $\Delta T_1$  [2, с. 181]

Дальнейшее развитие идеи параметризации прогноза видимости представлено в методе Б.В. Кирюхина (рисунок 3.13). Его номограмма конструктивно разделена на две взаимосвязанные части. Нижняя часть, аналогично другим методикам, служит для определения величины  $\Delta T_1$  – необходимого понижения температуры для достижения состояния насыщения

(100% относительной влажности). Верхняя же часть номограммы уникальна: она позволяет определить дополнительное понижение температуры  $\Delta T_2$ , требуемое для образования тумана уже заданной интенсивности (с видимостью, например, 1000, 500 или 200 м) [2, с. 181].

По нижней части номограммы, используя фактические значения температуры и относительной влажности воздуха, определяется величина  $\Delta T_1$  - необходимое понижение температуры для достижения воздухом насыщения. По верхней части номограммы определяется величина  $\Delta T_2$  - дополнительное понижение температуры, необходимое для возникновения тумана определенной интенсивности.

Следовательно, общее понижение температуры, необходимое для возникновения тумана определенной интенсивности, будет равно [2, с. 181]:

$$\Delta T_T = \Delta T_1 + \Delta T_2 \quad (3.3)$$

а отсюда температура туманообразования [2, с. 181]:

$$T_T = T - \Delta T_T \quad (3.4)$$

Наиболее важным практическим аспектом метода Кирюхина, как и отмечено в источнике, является его потенциальная адаптивность. Стандартные кривые на номограмме, соответствующие фиксированным значениям видимости, могут быть перестроены на основе локальной климатической статистики конкретного аэродрома. Это позволяет настроить алгоритм прогноза под актуальные операционные минимумы аэропорта (например, под видимость 800 или 400 м), тем самым повышая практическую значимость и точность прогноза для конкретного предприятия [2, с. 181]. Эта идея адаптации типовых методов к местным условиям является центральной для повышения эффективности прогностического обеспечения.

Прогноз адвективных туманов, характеризующихся большей продолжительностью и сложностью, требует учёта иных параметров, чем

прогноз радиационных. Одним из специализированных инструментов для этой цели является графический метод, предложенный И.В. Кошеленко. В основе данного метода лежит анализ двух ключевых прогностических параметров: ожидаемой скорости приземного ветра и горизонтального градиента температуры на траектории перемещения воздушной массы в пункт прогноза. Последний определяется по синоптическим картам. На графике (рисунок 3.14) кривая линия разделяет область прогноза тумана от области его отсутствия. Если точка, соответствующая рассчитанным значениям скорости ветра и градиента температуры, оказывается ниже данной кривой, прогнозируется возникновение адвективного тумана. Метод обеспечивает заблаговременность прогноза до 9 часов [4, с. 190].

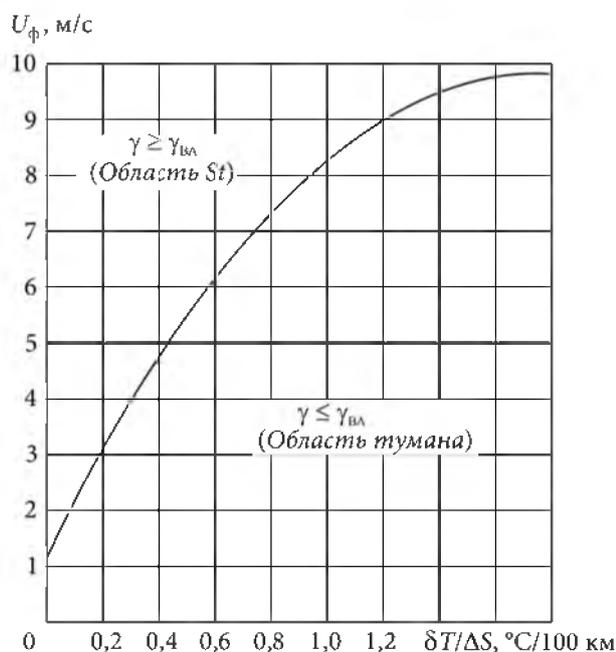


Рисунок 3.14 – График для прогноза адвективного тумана (по И.В. Кошеленко)[4, с. 190]

Более комплексный подход к решению той же задачи предлагает метод Н.В. Петренко, учитывающий одновременно три параметра: горизонтальный градиент температуры, дефицит точки росы в начале траектории перемещения воздуха и прогнозируемую скорость ветра у земли. Для использования метода необходимы два графика (рисунок 3.15). Прогноз тумана даётся только в том случае, если точки, построенные по исходным данным на обоих графиках,

попадают в заштрихованные области, соответствующие условиям туманообразования. Данный метод также рассчитан на заблаговременность до 9 часов и обладает высокой практической ценностью за счёт многопараметрического анализа [4, с. 190].

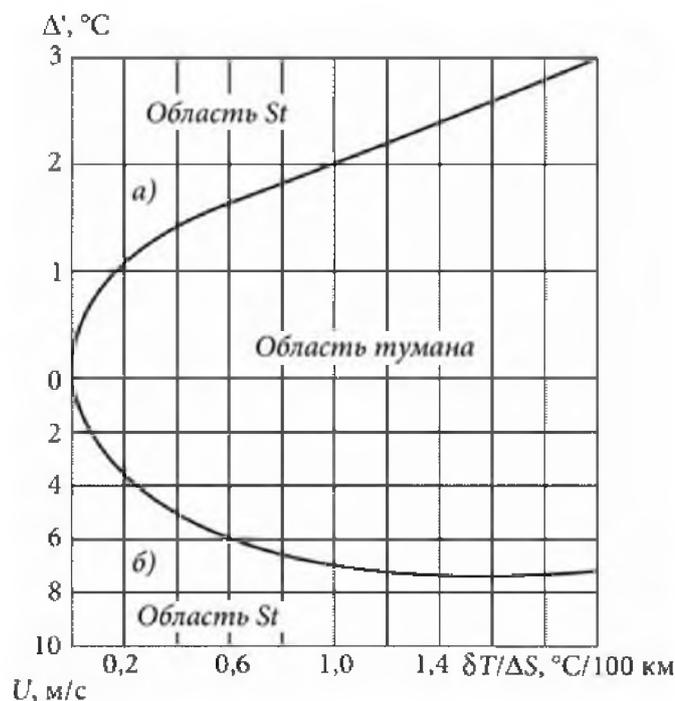


Рисунок 3.15 – График для прогноза адвективного тумана (Н.В. Петренко) [4, с. 191]

Теоретическая эффективность любого прогностического метода должна быть подтверждена его оправдываемостью в конкретных локальных условиях. Проведенная апробация основных рассмотренных методов прогноза радиационных туманов для аэропорта Волгоград (Гумрак) позволила получить количественную оценку их адаптивности и практической пригодности. Результаты данной апробации, отражающие оправдываемость прогнозов, представлены в сводной таблице 3.7. Анализ этих результатов является важным этапом для выбора и возможной дальнейшей модификации наиболее подходящего алгоритма прогноза с учётом специфики района.

Анализируя таблицу 3.7, можно сделать вывод о том, что в качестве основного метода для прогнозирования радиационных туманов можно использовать метод А.С. Зверева, который показал самый большой процент

успешности прогноза при наличии (68%) и отсутствии явления (79%), что делает метод достаточно надежным, при условии, что облачность и ветер были спрогнозированы правильно.

Таблица 3.7 – Успешность прогноза при наличии или отсутствии явления

Расчетные методы	Оправдываемость прогноза на наличие явления, %	Оправдываемость прогноза на отсутствие явления, %
Метод Зверева	68	79
Метод Петренко	57	34
Метод Кирюхина	61	47
Метод Лаврищева	44	58

Метод Н.В. Петренко и Б.В. Кирюхина показали уверенные результаты, успешность которых составила 57-61%. Хотя метод Н.В. Петренко незаменим при прогнозе туманов в западной периферии антициклонов, именно он учитывает адвективные изменения воздушной массы.

Наименьшая оправдываемость прогноза радиационного тумана наблюдается при методе Д.Н.Лаврищева и составляет 44%.

Анализ методов прогноза туманов, напрямую зависящих от различных метеорологических величин и параметров, имеет не только большое практическое значение в обеспечении безопасности полетов, в наше время огромное внимание уделяется экономической эффективности каждого предприятия, и сфера авиационных перевозок не исключение.

Максимальная точность и заблаговременность, учет всех факторов и рисков, вот успех экономической составляющей.

Рассмотрим парк современных самолетов основных Российских авиакомпаний. Это Airbus A320, Boeing 737-800, Sukhoi Superjet 100, средний расход этих лайнеров 2,5 тонны на час полета и 1,7 SSJ 100. Средняя рыночная стоимость авиационного керосина на сегодняшний день составляет 79000 рублей за тонну. При уходе на запасной аэродром из неблагоприятных погодных условий рейса Москва – Волгоград, убыток составит только на авиационном топливе, порядка 200 тыс. рублей, это без учета обслуживания

самолета в аэропорту и размещения пассажиров.

Поэтому анализом погодных условий нельзя пренебрегать не только специалистам метеорологам и летчикам, а также менеджерам авиакомпаний отвечающих за планирование вылетов.

## Заключение

В ходе проделанной работы были исследованы различные случаи повторяемости образования туманов в аэропорту Волгоград(Гумрак) за период 2020 – 2024 гг.

Углубленно было изучено классификация туманов и их характеристики, а также условия их образования и рассеивания.

Мне как коренному жителю Волгоградской области всегда было интересно, почему в Калачевском районе наблюдаются достаточно простые метеорологические условия и при подъезде к городу Волгоград, резко попадаешь в зону тумана. Для этого мы подробно рассмотрели повторяемость случаев туманов, на всех метеорологических станциях Волгоградской области и пришли к выводу, что на самом деле, аэропорт Волгоград лидер по числу туманов в регионе.

В связи с этим был подробнее изучен рельеф местности в районе аэропорта, и обнаружилось что он находится хоть и не очень высоко (145 м над у.м.), но именно эти метр и играют важную роль во влажноадиабатическом подъеме воздушной массы, пришедшей с юго-востока. Секрет «плохой» погоды был раскрыт.

В процессе анализа были выявлены типичные синоптические ситуации, способствующие образованию тумана в районе аэропорта, наиболее часто туманы образовывались в областях высоко давления 32,2 %, которые являются явными лидерами по туманам в районе аэропорта, но наибольший интерес вызывают туманы юго-западной периферии антициклона, их тоже не мало 21,3%, практически четверть от всех случаев. Туманов связанных с атмосферными фронтами 15,7%.

Самым «туманным» месяцем считается декабрь, повторяемость туманов 22,3 %, в целом же лидируют холодные месяца, с ноября по март, повторяемость 16,2 до 19,6 %. В теплый период года туманов практически не бывает. А те немного которые образуются в следствии добавочного

увлажнения, прошедшими в вечерние часы дождями. Носят радиационный характер и очень малы по продолжительности.

Туманы как правило образуются во второй половину ночи суммарная повторяемость - 47,9 %, с максимумом на восходе солнца -18,6%. Рассеиваются чаще всего – 23,6%, в первую половину дня до 12:00 местного времени. Их продолжительность различны, от 15 минут до почти двух суток. Наиболее часто бываю туманы рассеиваются в течении часа 40,8%, рекордсмен туман 1 марта 2022 года, 46,5 часов непрерывной продолжительности.

По критериям видимости туманы как правило умеренные от 50 до 500 метров, их повторяемость 70,9%, наибольшее число случаев составила в этом критерии видимость 200 метров – 28,6%, для ВПП 05 оборудованной системой для точного захода на посадку ILSCATIIIA, эта видимость является «рабочей». Сильные туманы с видимостью менее 50 метров очень редки их повторяемость 4,3 %.

Наиболее часто наблюдаются радиационные туманы 48,7%, туманы связанные с адвекцией бывают суммарно 35,6%.

Температурные показатели при туманах распределились следующим образом, наиболее часто весной и осенью туманы бывают при положительном диапазоне температур от 0,1 до +5,0оС. Зимой же как и следует в отрицательном диапазоне температур от 0,0 до -5,0оС.

Наиболее благоприятное направление ветра для образования туманов является юго-восточное 35,3-38,3% здесь как правило преобладает смешанный адвективно-радиационный характер, за исключением случаев тумана весной, там благоприятным направлением является восточное – 40,6%, практически исключительно радиационный.

Преобладающей скоростью ветра при туманах является диапазон, 4-5 м/с, в среднем за год - 32,5%, с максимумом зимой - 34,6%, однако весной и осенью картина немного меняется, туманы чаще образуются при слабом ветре 2-3 м/с, 27,8 – 28,2% соответственно. Это напрямую связано с преобладающим типом туманов. Туманы при сильных ветрах более 10 м/с бывают крайне редко.

Наиболее успешных методов прогноза туманов выявить не удалось, всеми методами необходимо пользоваться в комплексе в зависимости от синоптической ситуации и личного опыта. Только комплексный подход, залог хорошего прогноза погоды.

## Список литературы

1. Зверев, А.С. Синоптическая метеорология. Издание второе, переработанное и дополненное / А.С. Зверев – Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 711с.
2. Богаткин, О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник – СПб.: Изд.РГГМУ, 2009 – 339 с.
3. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометиздат, 1967. – Вып.13. – 335
4. Богаткин, О. Г. Авиационные прогнозы погоды. — 2-е изд., стереотипное. — СПб.: БХВ-Петербург, 2010. — 288 с.: ил. — (Учебное пособие).
5. География Волгоградской области: учебное пособие / В. А. Брылев, Ф. И. Жбанов, Ю. П. Самборский. - Волгоград: Нижне-Волжское книжное изд-во, 1989. - 127 с.
6. Климат Волгограда. – под редакцией Ц.А. Швер, В.Н. Карпенко Л.: Гидрометиздат, 1989. — 215 с.
7. Воробьев, В.И. Синоптическая метеорология / В.И. Воробьев. – Л.: Гидрометеиздат, 1991, 612 с.
8. Сажин, А.Н. Погода и климат Волгоградской области. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. – 82 с.
9. [Электронный ресурс]. URL: <https://votetovid.ru/?ysclid=mix7quama5602527302#48.8638,44.5084,9z,tb,50v3601,!29vhHw6tmGysAeovA!pt> (дата обращения: 05.12.2025).
10. [Электронный ресурс]. URL: [https://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2\\_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B\\_%D0%B2\\_%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B5\\_\(%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82\),\\_METAR](https://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B5_(%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82),_METAR) (дата обращения: 01.11.2025).

11. Акуничева, А.А., Беркович, Л.В., Соломахов, А.Ю. «ГИС Метео» и состояние их использования в метеорологических службах РФ и стран ближнего зарубежья. – Обнинск, 2001. – 165 с.
12. Берлянд, М.Е., Оникул, Р.И. К прогнозу речных туманов // Труды ВНМС, Л.: Гидролетиздат, 1963. – 45 с.
13. Богаткин, О.Г., Еникеева, В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. – Л.: Гидрометиздат, 1985. – 188 с.
14. Волынцева, О.И., Смирнова, А.А. Анализ и прогноз погоды с помощью «ГИС Метео». – Обнинск, 2001. – 100 с.
15. Воробьев, В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометиздат, 1986. – 98 с.
16. Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 3. – С. 21-29.
17. Давыдыкина, Л. И. Синоптические условия образования туманов в Волгоградской области. – Волгоград, 1963. - 140 с.
18. Дашко, Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. – Владивосток: ДВГУ, 2005. – 65 с.
19. Дробышев, А.Д. Потепление климата и отклики на него природы и общества. //В сб. Региональные особенности функционирования и взаимодействия предприятий рекреационной отрасли и промышленного сектора. – Туапсе, 2010. – С.123 – 127.
20. Зверев, А.С. Туманы и их предсказание. – Л.: Гидрометиздат, 1954. – 74 с.
21. Кирюхин, Б. В. Об интенсивности и продолжительности радиационных туманов. // Труды НИУ ГУГМС. -1948. - серия 1 вып. 28. – С. 10 - 18.
22. Климатические характеристики Российской Федерации по месяцам. – Л.: Гидрометиздат, 1971. - 225 с.
23. Ключникова, Л.А. К вопросу образования адвективных туманов. //

Труды ГМЦ. – 1956. – вып. 60. – С. 36-38.

24. Кольцевые карты погоды за период 2008-2013 год «Метеоцентр». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteocenter.net/> (дата обращения 12.04.2016).

25. Кошеленко, И.В. Схема образования низкой облачности и туманов под влиянием радиационного охлаждения. // Труды УкрНИГМИ. – 1960. – вып. 21. – С. 30-37.

26. Ляхов, М.Е. Метеорологические условия возникновения и распространения туманов и их предотвращение. – М.: АН СССР, 1960. - 75 с.

27. Матвеев, Л.Т. Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – 421с.

28. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, многолетние данные. Части 1 – 6. Выпуск 13. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. - 724 с.

29. Раковская, Э.М., Давыдова, М.И. Физическая география России: учеб. для ВУЗов. – М.: Гуманит. Изд. Центр ВЛАДОС, 2001. – 288 с.

30. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, часть 1. – Л.: Гидрометиздат, 1986. – 200 с.

31. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды, часть 2 - Л.: Гидрометиздат, 1965. – 303 с.

32. Сапожникова, С. А. Карта-схема числа дней с туманами в Волгоградской области и на примыкающих к ней территориях.// Труды НИИАК. – 1970. - вып. 65. – С. 66-69.

33. Сборник методических указаний по авиационной метеорологии. / под ред. Плечко. - Л.: Гидрометеиздат, 1959. - 205 с.

34. Соколова, Т. И. Синоптические условия образования туманов в Сталинградской области. – Сталинград, 1954. – 25 с.

35. Справочник по климату СССР, вып. 13. Ветер. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 331 с.

36. Справочник по климату СССР, вып. 13. Влажность воздуха,

атмосферные осадки, снежный покров. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 356 с.

37. Справочник по климату СССР, вып. 13. Облачность и атмосферные явления. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 363 с.

38. Справочник по климату СССР. Вып. 13. Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. - 492 с.

39. Тверской П.Н. Курс метеорологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 700 с.

40. Тимофеев, М. П. Теория адвективных туманов. – М.: Изд. АН СССР, сер. Геофиз, 1955. – 155 с.

41. Хандожко, Л.А. Экономическая метеорология. – СПб.: Гидрометеиздат, 2005. - 83 с.

42. Хромов, С.П., Петросянц, М.А. Метеорология и климатология: учеб., 4-е изд.: перераб. и доп. – М.: Изд – во МГУ, 1994. – 520 с.