



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

Кафедра «Метеорологии и природопользования»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

На тему «Исследование закономерностей образования туманов в районе аэропорта города Минеральные Воды»

Исполнитель Дубовик И.В.

Руководитель кандидат военных наук, доцент Голушко М.В.

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай С.Н.

«17» июня 2016 г.



Туапсе
2016



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

Кафедра «Метеорологии и природопользования»

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

На тему «Исследование закономерностей образования туманов в районе аэропорта города Минеральные Воды»

Исполнитель Дубовик И.В.

Руководитель кандидат военных наук, доцент Голушко М.В.

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай С.Н.

« ____ » _____ 2016 г.

Туапсе
2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1 Условия образования туманов	5
1.1 Физико-метеорологические закономерности образования туманов.	5
1.2 Аэросиноптические условия образования туманов	13
Глава 2 Физико-географическая и климатическая характеристика района Минеральных Вод	21
2.1 Физико-географическое описание района Минеральных Вод.....	21
2.2 Общая климатическая характеристика, годовой и суточный ход туманов в районе Минеральных Вод.....	23
Глава 3 Анализ условий возникновения туманов в районе аэропорта, зависимость ее от метеовеличин.....	31
3.1 Зависимость туманов от температуры и влажности воздуха	31
3.2 Зависимость туманов от состояния подстилающей поверхности и от направления и скорости ветра	36
3.3. Синоптический анализ условий возникновения туманов.....	39
Заключение.....	45
Список использованной литературы.....	49

Введение

Учитывая большую зависимость авиации от погоды, в целях повышения безопасности полетов вводятся их ограничения в сложных метеорологических условиях применительно к оборудованию самолетов, техническим возможностям посадочных систем и подготовки летного состава.

Однако обеспечение регулярности полетов требует сокращения ограничений полетов по метеоусловиям. А для этого необходимо повышение надежности всей метеоинформации и прогнозов. Помимо прогнозов и сведений о текущей погоде, большое значение в обеспечении авиации приобретает климатическая информация, дающая возможность оценить вероятность благоприятных и неблагоприятных условий погоды для полетов. Использование такой информации способствует наиболее эффективному применению авиационной техники и совершенно необходимо при планировании воздушных перевозок, составлению прогнозов эксплуатации аэропортов, а также при проектировании новых воздушных трасс и аэродромов.

Чем совершеннее становится авиационная техника, тем в большей степени и с большей детализацией необходимо учитывать при ее эксплуатации местные условия и режимные климатические характеристики. Эффективность деятельности гражданской авиации зависит от метеорологических факторов. Современные самолеты оснащенные новейшим навигационным оборудованием, способны производить полеты практически при любых метеорологических условиях, однако взлет и посадка воздушных судов всех типов, также как и полеты легкомоторной авиации до настоящего времени осуществляются визуально и зависят таким образом от метеорологической обстановки над районами аэродромов и по местным воздушным трассам.

Ограничение метеорологической дальности видимости из-за туманов занимает одно из важнейших мест в комплексном анализе и прогнозе погоды для авиации.

Актуальность исследований обусловлена высокой повторяемостью

ограничения метеорологической дальности видимости из-за туманов на аэродроме Минеральные Воды, оказывающей существенное влияние на регулярность и безопасность полетов воздушных судов

Объект исследования туманы Ростовской области.

Предмет исследования метеорологические предпосылки образования туманов

Цель исследования - описание и анализ условий возникновения туманов в районе аэродрома Минеральные Воды.

Для реализации поставленной цели, необходимо решить следующие **задачи:**

1. Изучить условия образования туманов;
2. Проанализировать физико-географические и климатические особенности района Минеральных Вод
3. Рассчитать и проанализировать климатические характеристики образования туманов в районе аэродрома Минеральные Воды
4. Выполнить синоптический анализ условий возникновения туманов и их зависимость от ряда метеовеличин.

Информационно-методическая база. В качестве исходного материала использовались дневники погоды АВ-6, книжки КМ-1, приземные, кольцевые и карты барической топографии, а также данные радиозондирования аэрологической станции Минеральные Воды за период с 2006 по 2010 годы.

Структура работы. Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. В первой главе рассматриваются условия образования туманов. Во второй главе представлена Физико-географическая и климатическая характеристика района Минеральных Вод. В третьей главе представлен анализ условий возникновения туманов в районе аэропорта, зависимость ее от метеовеличин.

Общий объем работы составляет 50 машинописных страниц, работа содержит 13 таблиц, 5 рисунков.

Глава 1 Условия образования туманов

1.1 Физико-метеорологические закономерности образования туманов

Для метеорологического обеспечения полетов необходимо правильное прогнозирование времени образования тумана, его интенсивности и продолжительности. Поэтому для успешного прогноза тумана необходимо знать классификацию и характеристики туманов.

Туманом называют совокупность взвешенных в воздухе капель воды или кристаллов льда, ухудшающих дальность видимости до значений менее 1 км [1, с. 64].

В авиационной метеорологии ограниченная видимость затрудняет взлет и посадку воздушных судов и влияет на обнаружение и опознавание наземных ориентиров. Различают горизонтальную, или метеорологическую дальность видимости, полетную, посадочную, или наклонную и вертикальную видимость.

Метеорологической дальностью видимости называется то расстояние, на котором исчезают последние признаки наблюдаемого объекта днем или становится неразличимым нефокусируемый источник света определенной интенсивности, т.е. видимый контраст между объектом и фоном становится равным пороговому контрасту глаза человека.

Принципы классификации туманов могут быть различными в зависимости от поставленных задач.

По агрегатному состоянию воды все туманы могут быть классифицированы как капельные, ледяные и смешанные. Большинство туманов являются мелкокапельными даже при отрицательных температурах. Наибольшую повторяемость в туманах имеют капли радиусом 5-15 мкм.

По синоптическому положению, при котором возникают туманы, они делятся на фронтальные, образование которых связано с термодинамическими процессами в области фронтальных разделов, и внутримассовые.

По степени ухудшения горизонтальной видимости туманы принято делить на слабые (видимость 500-1000 м), умеренные (видимость 50-500 м) и

сильные (видимость менее 50 м).

Наибольшее значение применительно к задаче разработки методов краткосрочного прогноза туманов имеет их генетическая классификация [9, с. 38].

В зависимости причин образования тумана различают два основных вида: туманы охлаждения и туманы испарения.

Достижение состояния насыщения воздуха с последующей конденсацией водяного пара в приземном слое атмосферы, вызывающей образование тумана, происходит вследствие двух основных процессов: понижения температуры воздуха и увеличения его влагосодержания.

При сильных морозах образованию тумана способствует обогащение воздуха водяным паром при сгорании топлива в печах, котельных электростанций, авиационных двигателей и др. [3, с. 44].

Туманы охлаждения возникают за счет приближения влажности воздуха к состоянию насыщения при понижении температуры воздуха. При этом охлаждение воздуха в приземном слое может происходить в результате следующих причин:

- при перемещении влажного воздуха на относительно холодную подстилающую поверхность;
- при понижении температуры подстилающей поверхности за счет ее радиационного охлаждения;
- при адиабатическом расширении воздуха.

Туманы возникающие по первой причине называются адвективными, по второй – радиационными.

В тех случаях, когда понижение температуры воздуха при его перемещении на относительно холодную подстилающую поверхность в дальнейшем усиливается его охлаждением от радиационно выхолаживающейся подстилающей поверхности, могут возникать туманы, которые принято называть адвективно-радиационными (рис. 1.1).

Понижение температуры воздуха при его адиабатическом расширении

может сопровождаться образованием тумана практически только при натекании воздуха на склоны возвышенностей, обеспечивающем значительное перемещение воздуха по вертикали, а, следовательно, ощутимое его охлаждение. Поэтому возникающие при этом туманы называют орографическими.

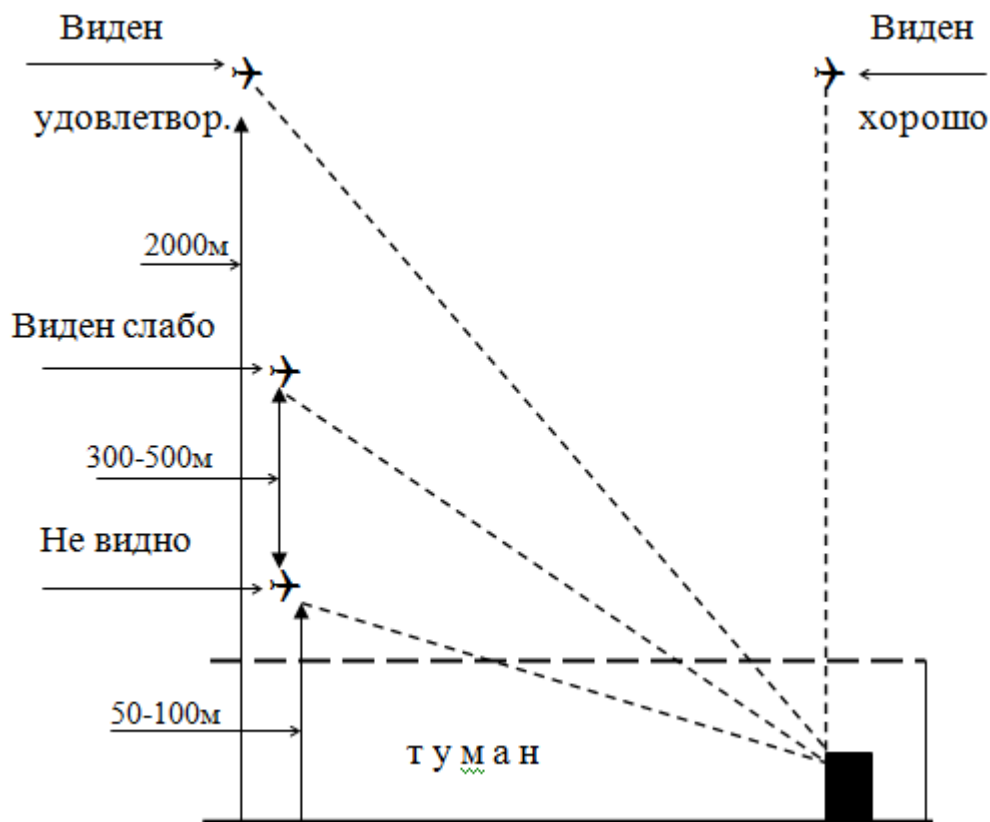


Рис. 1.1. Видимость ориентиров в тумане в зависимости от высоты полета и направления обзора [18, с. 71]

К туманам испарения относятся надводные и фронтальные туманы. Надводные туманы возникают только тогда, когда температура испаряющей поверхности выше температуры приземного воздуха. Образование фронтальных туманов обусловлено испарением капель дождя, выпадающего из теплой воздушной массы; адвективным понижением температуры холодного воздуха, перемещающегося из более южных районов; адиабатическим охлаждением воздуха при предфронтальном падении давления [11, с. 59].

Образование туманов возможно при смешении двух воздушных масс с разной температурой и влажностью. Эти туманы называются туманами

смешения. Они возникают вблизи границ раздела между теплыми и холодными морскими течениями, вблизи морских побережий. Такие туманы можно назвать пограничными. Кроме того, туманы могут образовываться при поступлении водяного пара в атмосферу в результате хозяйственной деятельности человека. Водяной пар в этом случае играет роль второй теплой и влажной воздушной массы в процессе смешения. Такие туманы могут быть названы антропогенными.

Приведенная классификация туманов является условной, так как в природе различные физические процессы действуют одновременно.

Важнейшей характеристикой туманов является их водность. Абсолютной водностью туманов называют массу капель воды и кристаллов льда, содержащихся в единичном объеме воздуха (чаще всего в 1 м^3). Удельная влажность – это масса капель воды и кристаллов льда в 1 г воздуха.

В тумане вода находится в двух, а при низких температурах в трех фазовых состояниях. Если ввести новую величину Q – абсолютное влагосодержание воздуха, под которым будем понимать массу водяного пара α , капель воды и кристаллов льда δ в 1 м^3 воздуха, т.е.

$$Q = \alpha + \delta \quad (1.1)$$

где α - абсолютная влажность,

δ - водность тумана.

До момента образования тумана $\delta = 0$ и $Q = \alpha$; в тумане абсолютная влажность близка к максимальной α , которая является функцией одной лишь температуры T . для тумана последнее равенство можно переписать в виде

$$\delta = Q - \alpha (T) \quad (1.2)$$

При количественном анализе общих физических условий в тумане и перед образованием тумана используются известные уравнения притока тепла и

водяного пара в виде

$$\frac{dT}{dt} = -u \frac{dT}{dx} - \omega \frac{dT}{dz} + \frac{d}{dz} k (\gamma - \gamma_a) + \frac{1}{cp} \frac{dR}{dz} + \frac{Lm}{cp} \quad (1.3)$$

$$\frac{dS}{dt} = -u \frac{dS}{dx} - \omega \frac{dS}{dz} + \frac{d}{dz} k \frac{dS}{dz} - m \quad (1.4)$$

где T – температура воздуха, °C;

t – время;

u – скорость ветра;

x – горизонтальная ось координат, направленная по потоку;

ω – вертикальная скорость;

z – вертикальная координата;

k – коэффициент турбулентности;

γ и γ_a – фактический и адиабатический градиент температуры;

S – абсолютная влажность воздуха, которая в пределах пограничного слоя атмосферы простым умножением на плотность воздуха переводится в удельную влажность;

m – характеризует скорость конденсации водяного пара ($\text{г}/(\text{м}^3\text{с})$), она пропорциональна водности тумана.

Анализ уравнений (1.3) показал, что в тумане m и ω можно пренебречь, поскольку они, как правило, на порядок меньше других членов.

Нередко в практической работе синоптика для использования теоретических положений из смежных наук приходится производить значительные упрощения, поскольку без таких упрощений требуется слишком много времени для расчетов, либо недостает исходной информации [6, с. 91]

Водность туманов изменяется в достаточно широких пределах от тысячных и сотых долей $\text{г}/\text{м}^3$ до 1,5-2 $\text{г}/\text{м}^3$ (табл.1.1).

Согласно табл. 1.1 водность тумана возрастает с увеличением его

интенсивности. Максимальные значения водности туманов одной и той же интенсивности при переходе от положительных температур к отрицательным уменьшаются. С ростом температуры может увеличиваться лишь водность туманов охлаждения (радиационных и адвективных).

Таблица 1.1

Водность туманов (г/м³) различной интенсивности при положительных и отрицательных температурах [14, с. 115]

Туман и температура t	Интенсивность тумана		
	Слабый	Умеренный	Сильный
Адвективный, t > 0°	0,02 – 0,09	0,04 – 0,18 0,004 – 0,095	0,10 – 0,76
Испарения, t < 0°	0,02 – 0,04	0,05 – 0,11	0,08 – 0,37
	0,02	0,02 – 0,04 0,044 – 0,172	0,04 – 0,14 0,22 – 1,72

Водность туманов испарения, образующихся под влиянием притока водяного пара, наоборот, при повышении температуры воздуха уменьшается. Объясняется это тем, что с понижением температуры воздуха увеличивается разность температур, а вместе с этим поток водяного пара между водной поверхностью и воздухом [19, с. 113]. Рост относительной влажности является наиболее надежным и доступным показателем процессов формирования любого вида тумана, а ее уменьшение – их рассеяния.

И.В. Кошеленко в [6] считает, что туман начинается с того момента, когда относительная влажность –

$$f = \frac{S}{Sm} 100 \quad (1.4)$$

Достигает 100% по отношению к воде, если туман образуется капельно-жидкий, и по отношению ко льду, если он кристаллический. Беря

логарифмическую производную от (1.2), с использованием уравнения Клазиуса-Клапейрона приближенно получим изменение относительной влажности

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta S}{S} - \frac{20}{T} \Delta T \quad (1.5)$$

где S и S_m – абсолютная и максимальная влажность.

Для тумана охлаждения $\Delta S = 0$. Так как туман начинает образовываться при $f = 100\%$, то из (1.3) получим величину необходимого понижения температуры

$$\Delta T = \frac{f - 100}{2000} \quad (1.6)$$

где f – относительная влажность воздуха, %.

Для тумана испарения в чистом виде $\Delta T = 0$. Из (1.3) получим

$$\Delta S = \frac{100 - f}{100} S \quad (1.7)$$

По данным многих исследователей относительная влажность воздуха в туманах при положительных температурах чаще всего заключена в интервале 96-100 %, т.е. близка к 100%. С понижением температуры относительная влажность в тумане уменьшается, достигая при температуре $-30, -40^\circ$ значений 70-80 %.

Вопрос о ядрах конденсации тесно связан со значением относительной влажности в туманах. В настоящее время установлено, что наличие ядер конденсации является необходимым условием для возникновения процессов

конденсации в атмосфере.

Однако остается до конца не выясненным вопрос о том, может ли изменение количества ядер конденсации приводить к туманам при различной относительной влажности [17, с. 179]

Основным видом ядер конденсации в атмосфере являются частицы морской соли, а также продукты сгорания топлива и выветривания почвы, переносимые воздушными потоками.

Они постоянно присутствуют в атмосфере в больших количествах. В 1 см³ даже сравнительно чистого воздуха содержатся сотни и тысячи ядер. Поэтому условия конденсации водяного пара связаны главным образом с изменением температуры и влажности воздуха.

Экспериментальными исследованиями установлено, что естественные туманы состоят из частиц различного размера, т.е. являются полидисперсными. Число капель в 1 см³ изменяется от 0,5 до 93 в случае адвективных туманов, от 50 до 860 – в радиационных и от 70 до 500 в туманах испарения средней интенсивности

. Размеры элементов тумана изменяются в достаточно широких пределах: от долей микрона до нескольких десятков микрон. Преобладающее число капель имеет радиусы от 2 до 18 мк.

Особенности образования тумана над снежной поверхностью имеют большое практическое значение. Так как упругость насыщения надо льдом меньше, чем над водой, то условия для образования капельно-жидкого тумана над снежной поверхностью неблагоприятны. При понижении температуры воздух достигает состояния насыщения по отношению к снежной поверхности раньше, чем по отношению к воде.

Наиболее благоприятные условия для образования тумана над снежной поверхностью наблюдаются при температурах близких к 0°C. В этом случае разность упругостей насыщения водяного пара над водой и льдом невелика, в то же время охлаждение воздуха от снежной поверхности служит сильным туманообразующим фактором.

Поэтому над снежной поверхностью наиболее часто туман образуется при температурах близких к 0°C (от 5 до -5°C).

1.2 Аэросиноптические условия образования туманов

Адвективный туман возникает при переносе теплого влажного воздуха над холодной подстилающей поверхностью в тыловой части антициклона и в передней части или в теплом секторе циклона [20, с. 96]

Для существования такого тумана адвективное охлаждение воздуха должно быть достаточным, чтобы турбулентное перемешивание, зависящее от скорости ветра и стратификации воздушной массы, не успевало переносить образующиеся в приземном слое продукты конденсации вверх.

На рис.1.2 представлена схема формирования адвективного тумана при скорости ветра 5 м/с на высоте 10 м и скорости градиентного ветра меньше 12 м/с. Из-за слабого турбулентного обмена образуется инверсия температуры и точки росы, начинающаяся от холодной подстилающей поверхности (рис. 1.2а).

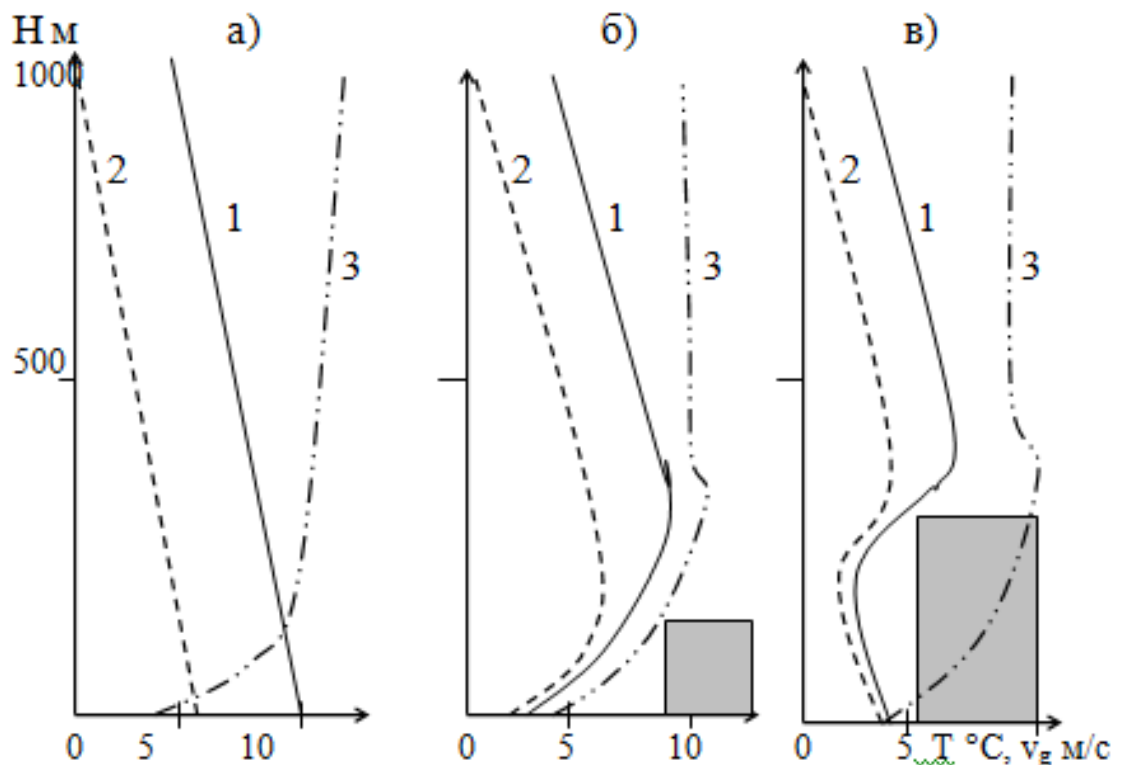
В результате того что в приземном слое воздуха температура оказывается ниже начального значения точки росы на $2-3^{\circ}\text{C}$, образуется туман (рис. 1.2б). Мощность его со временем возрастает по мере дальнейшего адвективного понижения температуры нижнего слоя теплой воздушной массы. Вследствие наибольшего выделения теплоты конденсации вблизи земной поверхности и охлаждения воздуха в верхней части тумана, разрушается нижняя часть приземной инверсии температуры.

При этом усиливается вертикальный турбулентный обмен в слое разрушенной инверсии, благодаря чему устанавливается влажноадиабатическая или близкая к ней стратификация в слое тумана (рис. 1.1.2в).

Адвективные туманы могут наблюдаться в любое время суток, хотя обычно они усиливаются ночью в связи с добавочным радиационным охлаждением воздуха в приземном слое.

Радиационный туман образуется через несколько часов после захода

Солнца, чаще во второй половине ночи при следующих условиях: безоблачное небо или небольшая тонкая облачность, скорость ветра от 0 до 3 м/с на высоте 10 м, небольшое увеличение скорости ветра с высотой (в слое 300-600 м на 2-6 м/с), разность между значениями температуры и точки росы на высоте 2 м около времени захода Солнца не больше 6-8°C и небольшое уменьшение ее с высотой в нижнем слое 300-600м. Наиболее часто такие условия создаются в антициклонах, гребнях, отрогах и барических седловинах. Летом радиационные туманы могут образоваться и в поле пониженного давления с малыми барическими градиентами.



1 – температура, 2 – точка росы, 3 – скорость ветра

Рис. 1.2 Вертикальное тепло в воздушной массе: распределение температуры и точки росы в: а) в очаге ее формирования; б) при охлаждении и слабом турбулентном обмене; в) при разрушении приземной инверсии из-за выделения теплоты конденсации вблизи земной поверхности [15, с. 298]

Механизм образования радиационного тумана заключается во

взаимодействии двух процессов:

- 1) эффективное излучение подстилающей поверхности и охлаждение прилегающего к ней слоя воздуха;
- 2) слабый турбулентный обмен между самым нижним слоем воздуха и вышележащими слоями.

В результате взаимодействия этих процессов в нижней части пограничного слоя атмосферы формируется приземная инверсия температуры. По мере дальнейшего охлаждения воздуха его температура понижается до значения точки росы на высоте 2 м, а затем в более мощном слое и образуется дымка, а потом туман.

На образование радиационного тумана оказывает влияние состояние поверхности почвы, так как от него зависят суточный ход температуры и влажности воздуха. В теплое время радиационный туман возникает преимущественно над влажной почвой. Поэтому в теплое время года прослеживается прямая связь между выпадением дождя и образованием тумана.

Адвективно-радиационный туман образуется над сушей преимущественно в холодное время года и, как правило, ночью при слабой адвекции теплого воздуха на западной или северо-западной периферии антициклона. Скорость ветра в приземном слое составляет 1-2, реже 3-4 м/с. Для достижения состояния насыщения и конденсации излишков водяного пара требуется дополнительное радиационное охлаждение теплого воздуха в приземном слое. Это возможно лишь при незначительной вертикальной мощности слоистых облаков или при полном прояснении хотя бы на короткое время. В результате ночного охлаждения воздуха под слоем приподнятой инверсии происходит уплотнение ранее наблюдавшейся тонкой облачности сначала на некоторой высоте над поверхностью земли, а затем постепенное опускание их и переход в туман. Процессу туманообразования способствует ослабление ветра ночью. Точка росы в слое приподнятой инверсии, как и при адвективном тумане, увеличивается с высотой; дефицит точки росы обычно

небольшой, над слоем тумана он возрастает.

Орографические туманы, или туманы склонов, образуются в результате адиабатического охлаждения воздуха при подъеме по наветренным склонам возвышенностей [12, с. 158]. Вертикальный турбулентный обмен является дополнительным фактором охлаждения поднимающихся объемов воздуха.

Орографический туман образуется при следующих условиях:

- 1) уровень конденсации должен быть ниже вершины возвышенности;
- 2) над вершиной возвышенности должна быть инверсия температуры, препятствующая распространению продуктов конденсации водяного пара в вышележащие слои.

Степень влияния адиабатического охлаждения зависит не только от высоты возвышенности, но и от ее формы и экспозиции по отношению к господствующим потокам. Дело в том, что вынужденное поднятие воздуха зависит от условий обтекания, которые определяются, с одной стороны, характером возвышенности, с другой – свойствами воздушного потока. При устойчивой стратификации воздушный поток стремится обойти препятствие или двигаться вдоль него, отклоняясь в сторону низкого давления. Если возвышенность имеет обтекаемую форму, то эффект адиабатического охлаждения воздуха в этом случае будет ничтожно мал.

А так как адвективные туманы наблюдаются при устойчивой стратификации, то, очевидно, что наиболее благоприятными формами рельефа должны быть сужающиеся долины и возвышенности определенным образом изогнутые и ориентированные относительно преобладающих ветров [16, с. 54]

Туман во время сильных морозов образуется при застаивании и сильном радиационном охлаждении нижнего слоя сухого континентального воздуха над снежным покровом в мало подвижных антициклонах, отрогах и барических седловинах.

Основной причиной его образования является поступление в приземный слой воздуха водяного пара, образующегося при сгорании жидкого и углеводородного топлива, а также угля, дров и торфа [2, с. 113]

Фронтальные туманы чаще всего образуются перед теплым фронтом или теплым фронтом окклюзии, а также за малоподвижным холодным фронтом, основная облачная система которого состоит из облаков Ns – As [5, с. 139]. В умеренных широтах эти туманы наблюдаются обычно поздней осенью или зимой при выпадении мелкокапельного дождя или мороси.

Туман образуется при повышении влажности за счет испарения капель дождя или мороси, в результате чего температура туманообразования, повышаясь, достигает температуры подфронтального холодного воздуха. Фронтальная поверхность в таком случае обнаруживается по данным вертикального зондирования в виде инверсии температуры, которая нередко сливается с приземной инверсией в пленке выхоложенного воздуха. При этом в слое инверсии температуры значения точки росы также растут с высотой. Испарение капель дождя или мороси будет тем сильнее, чем выше температура на верхней границе фронтальной инверсии по сравнению с температурой в слое холодного воздуха у поверхности земли.

Дополнительную роль в образовании туманов перед теплым фронтом осенью и зимой играет адвективное понижение температуры холодного воздуха, перемещающегося из более южных районов на ранее выхоложенную почву или снежный покров. В тылу медленно движущегося холодного фронта образованию туманов способствует также испарение с более теплой влажной подстилающей поверхности [8, с. 57]

Возникновение туманов на стационарных фронтах чаще всего происходит при очень малых углах наклона фронтальной поверхности к горизонту.

Так, при соблюдении прочих условий туманообразования при $\text{tg}\alpha < 0,003$ (α - угол наклона фронтальной поверхности к горизонту) всегда наблюдается туман, при $\text{tg}\alpha > 0,01$ туман не образуется. При $0,01 < \text{tg}\alpha < 0,003$ образование тумана возможно, но чаще всего образуется низкая облачность, высота нижней границы которой не более 100 м [4, с. 139]

Плотность тумана будет увеличиваться при повышении устойчивости стратификации температуры под инверсионным фронтальным слоем.

При этом следует иметь в виду, что при $\gamma=0,4\dots0,5$ °C/100 м и более нижнем километровом слое дождь начинает рассеивать туман. При изотермии в том же слое слабый или умеренный дождь может вызвать ослабление тумана в результате частичной коагуляции капель тумана с каплями дождя, но не вызывает его полного рассеяния.

Благоприятными условиями для образования тумана являются следующие:

- 1) температура теплого воздуха на верхней границе фронтальной инверсии выше 0 °C, а разность между ее значением на этом уровне и температурой холодного воздуха у земли составляет 3-5°C;
- 2) дефицит точки росы в холодном воздухе вне зоны фронтальных осадков не превышает 2 °C;
- 3) скорость ветра в холодном подфронтальном воздухе не больше 6 м/с.

В зоне малоподвижных фронтов с размывающейся облачной системой туман может образоваться и без выпадения осадков. Его возникновению будет способствовать радиационное охлаждение нижнего слоя воздуха под рассеивающимися облаками. В этом случае туман будет формироваться как высокий радиационный под приподнятой инверсией, распространяясь сверху вниз.

Термическая стратификация в пограничном слое атмосферы имеет большое значение при анализе и прогнозе многих явлений погоды, особенно таких как туманы. Известно, что туманы возникают при устойчивой стратификации [7, с. 117]

У Матвеева Л.Т. в [1] наиболее характерной особенностью термического режима туманов, установленной лишь в последние годы, является наличие вблизи поверхности земли слоя атмосферы, в котором температура падает с высотой ($\gamma>0$).

Главными внешними физическими факторами, определяющими профили метеозаэментов в пограничном слое, являются скорость градиентного ветра, адвекция тепла, радиационный приток тепла, шероховатость подстилающей поверхности и теплофизические свойства почвы [10, с. 148]

Наличие в пограничном слое повышенного турбулентного обмена приводит к тому, что профили температуры, влажности, ветра и других элементов оказываются взаимосвязанными. Причем турбулентный обмен является тем механизмом, который приводит к установлению того или иного подвижного термодинамического равновесия. Так, при отсутствии радиации и адвекции на вертикальный градиент температуры (γ) из формулы турбулентного потока тепла

$$p = -c\rho k \left(\frac{\partial T}{\partial z} - \gamma \right) \quad (1.8)$$

следует, что турбулентный обмен приводит к безразличной стратификации ($\frac{\partial T}{\partial z} = \gamma$),

где c_p – теплоемкость воздуха,

ρ - его плотность,

k - коэффициент турбулентности.

Приближенный расчет среднего градиента температуры при равновесных условиях может быть произведен из известного уравнения баланса турбулентной энергии и критерия Ричардсона:

$$\gamma = \gamma - \frac{T}{g} \left(\frac{du}{dz} \right) = \gamma - \frac{T}{g} \left(\frac{u - u}{H} \right) \quad (1.9)$$

где g - ускорение силы тяжести,

u_{Γ} и u_{Φ} – скорость градиентного ветра и на высоте флюгера.

Из формулы (1.7) отчетливо видно, что если скорость ветра мало меняется с высотой, то подвижное равновесие устанавливается при $\gamma = \gamma_a$ - безразличная стратификация. Если разность $u_{\Gamma} - u_{\Phi}$ велика ($u_{\Gamma} > 2u_{\Phi}$), то подвижное равновесие устанавливается при термической инверсии. Расчет по формуле (1.7) удовлетворительно согласуется с эмпирическими данными, если эти данные получены при условиях, близких к стационарным. Такое состояние наступает при ясной погоде во вторую половину ночи, а также при отсутствии значительной адвекции. Это состояние благоприятно для образования радиационных туманов.

Глава 2 Физико-географическая и климатическая характеристика района Минеральных Вод

2.1 Физико-географическое описание района Минеральных Вод

Район Минеральных Вод специфичен по своим физико-географическим условиям. Большой Кавказ, расположенный то Минеральных Вод к югу на расстоянии 100-120 км, образует грандиозное складчатое поднятие, представляющее из себя сплошной комплекс хребтов, расположенных параллельно водораздельному гребню или отходящих от него в виде отрогов. Северные склоны Большого Кавказа представляют собой систему многочисленных хребтов, являющихся водоразделами рек, стекающих с ледников Большого Кавказа.

Далее к северу от Главного хребта располагается равнинная часть Северного Кавказа, которая орографически делится на три части:

- 1) западную Кубанско-Приазовскую равнину в большей части низменную и плоскую;
- 2) восточную Прикаспийскую низменность, еще более плоскую и в значительной своей части лежащую ниже уровня моря;
- 3) Ставропольскую возвышенность, расположенную между двумя первыми областями.

Почти широтное расположение Главного Кавказского хребта, являющегося естественной границей умеренного и субтропического поясов, его значительная протяженность и большая высота обуславливают преобладание над Кавказом западно-восточного переноса в течение всего года.

Одновременно Кавказский хребет затрудняет меридиональную циркуляцию воздушных масс, в результате чего атмосферные холодные фронты, достигая склонов хребта, стационарируются здесь на длительное время. Часты случаи когда холодный воздух проникает в Закавказье через бассейн Черного, а реже Каспийского морей. В этом случае холодный фронт огибает хребет и в дальнейшем образует орографическую малоподвижную окклюзию.

Авиаметеостанция расположена на западной окраине города Минеральные Воды в долине р.Кумы, на высоте 320 м над уровнем моря, у юго-восточной оконечности Ставропольского плато, представляющего собой своеобразную платформу высотой 500-600 м с отдельными вершинами до 800 м над уровнем моря.

К югу от Мин-Вод местность постепенно повышается, переходя в область "Пятигорья", состоящую из группы лакколитов с абсолютными высотами от 800 до 1400 м. Восточнее Минеральных Вод на расстоянии 12 км возвышаются Лысогорские холмы, которые сужают долину и оттесняют русло р.Кумы к северо-востоку, а к северо-востоку на таком же расстоянии г. Бурундук высотами до 500 м над уровнем моря.

К западу и востоку от Минеральных Вод на расстоянии около 500 км располагаются Черное и Каспийское моря, оказывающие большое влияние на развитие синоптических процессов в пределах Кавказа.

Окружающие район аэропорта горы являются хорошими естественными ориентирами, которые обнаруживаются на расстоянии 50-100 км, но в тоже время бывают большим препятствием для выполнения полетов в сложных метеорологических условиях.

Большое влияние на региональные особенности погоды оказывает относительно невысокое Ставропольское плато, возвышающееся к северо-западу от Минеральных Вод и постепенно понижающееся к востоку, переходя в Прикаспийскую низменность. В этом случае воздушная масса смещающаяся с востока, испытывает дополнительное адиабатическое охлаждение за счет вынужденного подъема, которое приводит к влагонасыщению приземного слоя воздуха, и в конечном итоге, к увеличению повторяемости сложной погоды при восточном ветре.

Таким образом, город Минеральные Воды расположен в природном желобе, начинающемся в 50-60 км западнее, постепенно понижающемся и расширяющемся к востоку. Такая особенность рельефа способствует формированию особых, чисто местных погодных условий.

Большое влияние на формирование микропогоды оказывает рельеф местности в районе аэропорта. АМСГ расположена в правой равнинной части долины р.Кумы в 1,5 км от нее. Между р.Кумой и метеостанцией проходит железная дорога и расположен крупный железнодорожный узел станции Минеральных Вод. Далее к востоку, за восточной окраиной города в долине р.Кумы имеется небольшой лесной массив. К югу от аэрометстанции в 4-5 км возвышается г.Змейка с высотой 996 м над уровнем моря, отрог которой высотой 150-200 м над уровнем аэродрома вытянут далеко к западу. В районе аэродрома местность без заметной всхолмленности с редкими лесополосами, ориентированными с севера на юг или с востока на запад.

2.2 Общая климатическая характеристика, годовой и суточный ход туманов в районе Минеральных Вод

Район Минеральных Вод расположен в зоне умеренно-континентального климата с жарким летом и умеренно теплой зимой, редкие зимние холода с наличием неустойчивого снежного покрова.

Средняя годовая температура по данным АМСГ Минеральные Воды 9,4 °С. Температура самого холодного месяца января составляет -3,8 °С, самого теплого месяца июля +22,7 °С. Экстремальные значения температуры в отдельные годы могут достигать -36 ° и +42 °С.

Среднее годовое количество осадков 452 мм. В теплый период года выпадает около 80 % годовой нормы осадков. Среднегодовая относительная влажность составляет 78 %, причем зимой она более 90%, летом 76-70 %. В период летних суховеев относительная влажность в дневные часы может понижаться до 15-20 %.

Наибольшее количество пасмурных дней по общей облачности наблюдается в холодное время года 75-80 %, минимум летом – 40 %. Причем в зимний период в большинстве случаев пасмурная погода отмечается при низкой облачности.

Среднемесячная скорость ветра составляет 3 м/с и распределяется в течение года равномерно. Экстремальные значения скорости ветра могут достигать 25-30 м/с при западном направлении и не превышает 15-17 м/с при восточном направлении. Среднее число дней с туманом в районе аэродрома Минеральные Воды представлено в табл. 2.1

Таблица 2.1

Среднее число дней с туманом по месяцам¹

Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число дней с туманом	9	8	8	4	1	-	-	-	3	8	9	10

Всего за год 61 день с туманом.

В качестве исходного материала для расчета и анализа климатических характеристик тумана послужили результаты ежечасных наблюдений из дневников АВ-6, результаты наблюдений из книжек КМ-1 за пятилетний период с 2006 по 2010 годы. Для выяснения взаимосвязи между возникновением тумана и синоптической обстановкой использовались приземные и кольцевые карты погоды за тот же период.

Для уточнения формы барического рельефа рассматривались карты барической топографии. Данные радиозондирования аэрологической станции Минеральных Вод использовались для выяснения вертикального распределения температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, для анализа задерживающих слоев и характера стратификации. Использовались данные инструментальных наблюдений за метеорологической дальностью видимости полученные с помощью измерителей видимости ФИ-1 и ФИ-2, расположенных на основном и вспомогательном пункте наблюдений и на середине ВПП.

Всего было проанализировано 21200 наблюдений.

Исходные данные включают в себя: время начала явления (тумана); продолжительность тумана; температуру воздуха, точки росы, температуру

¹ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

подстилающей поверхности и влажность воздуха по моменту возникновения тумана; состояние подстилающей поверхности; направление и скорость ветра; наличие задерживающих слоев, толщину и высоту нижней и верхней границ инверсии или изотермии; синоптическую обстановку.

Из приземных авиационных климатических характеристик при планировании работ авиации особенно важно учитывать повторяемость условий погоды различной степени сложности. Под сложными метеоусловиями понимают комплексы, определяющиеся в каждом случайном сочетании тех или иных градаций высоты нижней границы облаков и метеорологической дальности видимости.

Наличие условий погоды ниже установленных минимумов нарушает регулярность работы воздушного транспорта. Поэтому для расчета вероятности рабочего времени аэропортов (месячного, сезонного, годового) или, иначе говоря, его авиационно-климатических ресурсов, необходим учет закономерностей сезонного распределения минимальных значений метеоусловий.

Для климатических характеристик режима туманов был произведен расчет:

- повторяемость туманов по месяцам года, график суточного хода туманов, повторяемость различных видов тумана;
- повторяемость туманов при различных синоптических ситуациях, при различных сочетаниях направления и скорости ветра, температуры и влажности воздуха;
- повторяемость туманов в зависимости от состояния подстилающей поверхности, зависимость возникновения туманов от толщины инверсии и различного вертикального распределения метеоэлементов.

Исходные данные, их обработка и анализ позволяют вывести ряд закономерностей, которые необходимо учитывать не только при планировании работ авиации, для обеспечения безопасности полетов, но и в повседневной прогностической практике в данном случае АМСГ Минеральные Воды.

Повторяемость туманов по месяцам года. При планировании полетов и составлении расписания движения воздушных судов требуется знание повторяемости туманов в течение года.

При расчете повторяемости случаев наличия тумана считался любой срок наблюдения в котором отмечалось ограничение видимости до значений менее 1000 м.

Всего было рассмотрено 313 таких случаев из более чем 21200 наблюдений. При расчете повторяемости за 100 % принималось общее число случаев туманов за пятилетний период.

Из анализа полученных результатов видно, что наиболее часто туманы наблюдаются в осенне-зимний период в декабре (22,3 %) и январе (20,8 %). Основным, наиболее часто встречающимся типом туманов, являются - адвективные (102 случая или 32,6 %), вернее это адиабатические туманы, связанные с орографическим подъемом, представляющие собой адвекцию теплого воздуха с Каспийского моря на выхолаженную поверхность Северного Кавказа, усиленную эффектом адиабатического охлаждения, связанного с орографией прилегающей местности к району Минеральных Вод (рис. 2.1).

Разность высот Каспийского моря и Минеральных Вод достигает 320 м. Такое выхолаживание хотя и меньше теоретического, но по-видимому, может достигать 2-2,5 °С.

Радиационные туманы (83 случаев или 26,5 %), занимают второе место по повторяемости за исследуемый период.

Фронтальные туманы всех типов фронтов (83 случаев или 26,5 %), из этой группы выделяются туманы, связанные с орографической окклюзией и стационарными холодными фронтами, залегающими вдоль северных склонов Кавказского хребта (16,6 %).

Адвективно-радиационных туманов в районе Минеральных Вод отмечалось 45 случаев или 14,4 %.

Результаты расчетов повторяемости туманов по типам и месяцам представлены графически на рис.2.1.

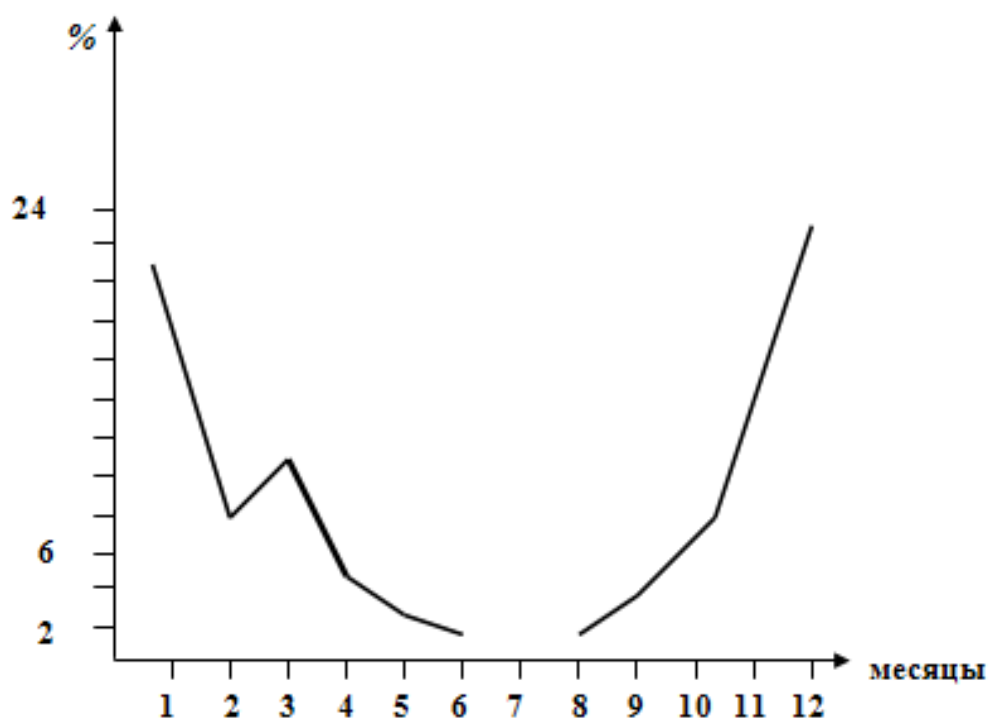


Рис. 2.1. Годовой ход повторяемости (%) туманов в Минеральных Водах²

Суточный ход повторяемости туманов. Одним из наиболее трудных вопросов прогнозирования является определение времени возникновения опасных для авиации явлений погоды, в том числе и туманов.

Для более точных и правильных прогнозов времени возникновения тумана необходимо знать его суточный ход. Поэтому в данной работе были произведены подсчеты повторяемости образования тумана для каждого синоптического срока. За 100 % принималось общее число случаев. Результаты подсчетов сведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Время начала образования тумана в (%) по типам³

Типы Туманов	Время начала образования тумана (часы суток)							
	00-03	03-06	06-09	09-12	12-15	15-18	18-21	21-24
Адвективный	11,6	25,0	22,1	1,9	4,8	10,6	10,6	13,4
Радиацион.	26,0	30,2	30,1	-	-	-	5,5	8,2

² Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

³ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

Продолжение таблицы 2.2

Адвек.-радиац	19,2	19,2	8,5	2,1	-	21,4	12,6	17,0
Фронтальный	15,0	18,4	27,6	10,3	5,7	8,1	4,6	10,3
В С Е Г О	17,0	23,5	23,5	3,9	3,2	9,0	8,4	11,5

Как видно из табл. 2.2 , что наиболее благоприятным временем суток для образования адвективных туманов является период с 03 до 09 часов утра и в вечернее время с 21 до 24 часов. Однако, он может образоваться и в остальные часы суток, но гораздо реже, в то время как радиационный туман образуется в период с 00 до 09 часов с одним максимумом в суточном ходе, приходящимся на период с 03 до 06 часов утра, т.е. на период максимального охлаждения приземного слоя воздуха.

Радиационно – адвективные туманы, как и адвективные туманы, могут образовываться в любое время суток, но наиболее благоприятным является период с 21 до 06 часов.

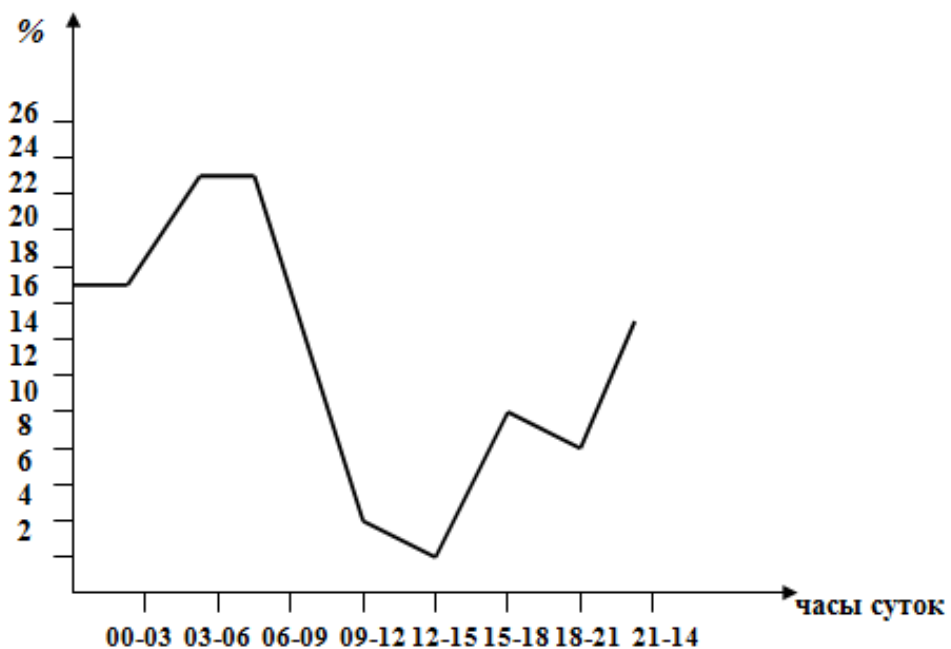


Рис. 2.2 Суточный ход повторяемости туманов в (%)⁴

Фронтальные туманы всех типов фронтов возникают в течении всех суток, но наиболее благоприятным временем образования этих туманов

⁴ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

является период с 00 до 09 часов утра. Это распределение подтверждает то, что образование фронтальных туманов связано не столько с предфронтальным падением давления увлажнением подфронтального воздуха выпадающими осадками, а в основном они образуются в период суток, когда радиационный баланс на подстилающей поверхности отрицателен, т.е. в образовании этих туманов играет роль процесс радиационного охлаждения.

Графически время начала образования всех типов туманов представлено на рис. 2.2.

В табл. 2.3 представлена повторяемость продолжительности туманов за исследуемый пятилетний период.

Таблица 2.3

Повторяемость в (%) различной продолжительности туманов по типам и их максимальная продолжительность⁵

Типы Туманов	Продолжительность в часах			Максимальная продолжительность
	00-06	06-12	Более 12	
Адвективный	69,2	23,1	7,7	19 ч 30 мин
Радиацион.	75,3	25,7	-	11 ч 40 мин
Адвек.-радиац	38,3	42,6	19,1	20 ч 10 мин
Фронтальный	70,1	18,4	11,5	24 ч 10 мин
ВСЕГО	66,3	25,0	8,7	24 ч 10 мин

Как видно из табл. 2.3, продолжительность туманов в районе Минеральных Вод в среднем небольшая до 6 часов и составляет 66,3 % всех случаев туманов. Наиболее устойчивыми являются адвективно-радиационные туманы, сохраняющиеся в 42,6 % случаев до 12 часов.

Максимальная продолжительность сохранения туманов приходится на фронтальные туманы (более 24 часов), связанные со стационарным холодным фронтом, залегающим по северным склонам Кавказского хребта. Для радиационных туманов средняя продолжительность около 6 часов, а продолжительности более 12 часов не отмечалось.

⁵ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

При рассмотрении продолжительности сохранения туманов в районе Минеральных Вод необходимо иметь в виду тот фактор, что в дневное время вследствие прогрева, туманы, особенно адвективные, адвективно-радиационные и частично фронтальные, приподнимаются и переходят в низкую облачность, высота которой колеблется от 100 до 300 м. В вечернее время низкая облачность вновь опускается и переходит в туман.

Глава 3 Анализ условий возникновения туманов в районе аэропорта, зависимость ее от метеовеличин

3.1 Зависимость туманов от температуры и влажности воздуха

Для характеристики общих метеорологических условий появления туманов была рассмотрена повторяемость при тумане значений температуры и влажности воздуха у земли.

Наличие тумана находится в прямой зависимости от температуры и влажности воздуха. В табл. 3.1 представлена повторяемость туманов при различных значениях температуры.

Таблица 3.1

Повторяемость в (%) туманов в зависимости от температуры их образования по сезонам⁶

Сезоны	Значения температуры в °С								
	> 5	+5 до 0	-0,1 -3,0	-3,1 -6,0	-6,1 -9,0	-9,1 -12,0	Более -12,1	Макси мум	Мини мум
Осень	47,3	34,1	9,9	2,2	3,2	2,2	1,1	14,5	-12,3
Зима	1,2	28,2	36,8	14,7	9,2	6,2	9,7	7,7	-21,3
Весна	29,8	40,4	22,8	1,8	3,4	-	-	9,7	-10,1
Лето	100	-	-	-	-	-	-	16,4	+7,0
ВСЕГО	20,5	32,5	27,3	7,4	6,8	3,9	2,0	16,4	-21,3

Из приведенных в табл. 3.1 данных видно, что наиболее благоприятной температурой для образования тумана является температура в диапазоне от +5 до -3 °С, т.е. в районе Минеральных Вод образуются преимущественно теплые туманы 59,8 %.

Это не исключает возможности их образования и при более низких температурах, однако количество их с понижением температуры убывает. Так

⁶ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

при температурах ниже $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$ они составляют всего 3,9 % от всех случаев в году. Летом тумана образуются только при температуре выше $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Крайними значениями температуры при которых возможно образование тумана зарегистрированы максимальная температура летом $+16,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ и минимальная зимой $-21,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Одним из признаков образования тумана является, как известно, постепенное увеличение относительной влажности приземного слоя воздуха. Повторяемость различных значений относительной влажности рассматривалась только для адвективных, радиационных и адвективно-радиационных туманов (табл. 3.2.).

Таблица 3.2

Повторяемость в (%) различных значений относительной влажности за 3 часа до появления тумана⁷

Типы туманов	Относительная влажность в %							
	Более 60	80-83	84-87	88-90	91-93	94-96	97-99	100
Адвективный	3,0	-	8,0	9,0	17,0	26,0	31,0	6,0
Радиацион.	7,0	-	13,0	21,0	27,0	23,0	9,0	-
Адв.-радиац.	4,5	4,5	9,0	23,0	30,0	18,0	11,0	-
ВСЕГО	5,0	1,0	10,0	16,0	23,0	24,0	19,0	3,0

Рассматривая повторяемость различных значений относительной влажности воздуха у поверхности земли за 3 часа до появления тумана в табл.3.2, можно установить, что появлению тумана предшествует в 23 % случаев влажность воздуха более 90 % и в 19 % случаев более 97 %.

Это положение справедливо только при ветрах восточной четверти, при западных ветрах высокая влажность за 3 часа до появления тумана не всегда приводит к образованию тумана в районе, а приводит к образованию дымки с видимостью более 100 м или тумана на расстоянии, располагающемуся по реке

⁷ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

Куме.

Вторым показателем степени насыщения является дефицит точки росы $T_B - T_d$, где T_B – температура воздуха, а T_d – температура точки росы. Используя данные радиозондирования рассчитывалась повторяемость различных значений дефицита точки росы в нижнем слое воздуха от земли до 1500 м к моменту появления тумана. Повторяемость рассчитывалась для адвективных, радиационных и адвективно-радиационных туманов. Результаты расчетов представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Повторяемость в (%) различных значений $T_B - T_d$ ⁸

Уровни	Значения $T_B - T_d$			
	Менее 1,0	1,1 - 2,0	2,1 – 3,0	Более 3,0
Земля	93,7	3,6	2,2	0,5
300 м	40,8	26,2	11,5	21,5
600 м	30,5	16,3	15,6	37,6
900 м	18,8	11,6	16,7	52,9
1500 м	11,7	10,2	15,3	62,8

Анализ табл. 3.3 показывает, что перед образованием тумана в слое земля - 300 м преобладает дефицит точки росы меньше 1 °С, а на высотах от 600 до 1500 м эта разность резко возрастает.

Таким образом, перед образованием тумана насыщенным оказывается только приземный слой атмосферы толщиной от 0 до 300 м. Это объясняется тем, что туманы в районе Минеральных Вод возникают при восточном выносе воздушных масс по периферии Сибирского антициклона, который несет влажный и теплый воздух с бассейна Каспийского моря.

Пройдя путь от Каспия до района Минеральных Вод, воздух адиабатически охлаждается вследствие воздействия орографии местности на 2,0-2,5 °С и достигает насыщения. Величина охлаждения получена

⁸ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

эмпирическим путем, с использованием метода переноса частицы в приземном слое на уровнях: земля, 300 м, 600 м и 900 м.

Для выявления влияния вертикального обмена в приземном слое воздуха на процесс туманообразования было проанализировано 140 случаев подъема радиозондов в сроки близкие к моменту образования тумана. Повторяемость различных типов изменения температуры с высотой в нижнем слое атмосферы (0-1500 м) представлена в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Повторяемость в (%) различных типов изменения температуры⁹

Типы туманов	Наличие инверсии	Наличие изотермии	Отсутствие инв.и изотерм.
Радиационный	73	21	6
Адвективный и Адвек.-радиац.	55	16	29
В С Е Г О	60	17	23

Как видно из табл.3.4 радиационные и адвективные туманы в подавляющем большинстве случаев 60 % образуются при наличии в приземном слое воздуха инверсии и в 23 % при нормальном распределении температуры с высотой. При рассмотрении кривой стратификации в нижнем слое атмосферы от 0 до 1500 м, в сроки близкие к моменту образования тумана, было установлено 11 различных типов этой кривой (рис. 3.1)

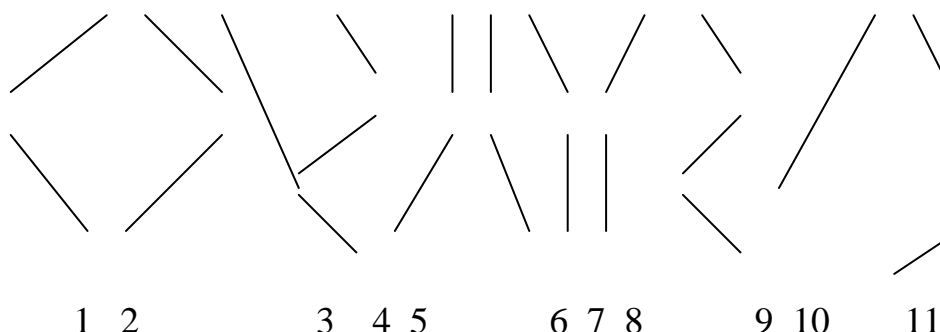


Рис. 3.1 Типы кривой стратификации атмосферы при образовании тумана¹⁰

⁹ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

¹⁰ Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

Анализируя данные радиозондирования были вычислены повторяемости при образовании тумана различных высот нижней границы инверсии и различной вертикальной мощности инверсий.

Данные таблиц указывают на то, что в 85 % случаев радиационные туманы наблюдаются при наличии приземной инверсии, толщина которой в 50 % случаев находится в пределе 0,5-1,0 км и в 30 % - она бывает больше 1 км. Эти данные, а также кривые стратификации типа 2,5,7,10,11 характерные для радиационных туманов наглядно свидетельствуют об устойчивой стратификации приземных слоев воздуха.

В этих условиях вертикальные восходящие токи воздуха почти отсутствуют и возникающие туманы не продолжительны по времени и не достигают значительного развития по вертикали.

Значительная толщина инверсии при радиационных туманах объясняется тем, что приземная инверсия, возникшая в результате радиационного охлаждения приземного слоя воздуха, при при выше указанной синоптической ситуации сливается с антициклональной инверсией сжатия.

При адвективных и адвективно-радиационных туманах в 23 % случаях наблюдается приземная инверсия, но в подавляющем большинстве случаев 44 % инверсия располагается на высоте 0,1-0,3 км от уровня земли. Толщина ее заключена в 41 % случаев в интервале 0,2-0,5 км и в 39 % - в интервале 0,5-1,0 км, толщина инверсии более 1 км встречается довольно редко и составляет всего 8 %. При данных типах туманов кривая стратификации характеризуется типами 1,3,4,6,8,9 (рис. 3.1).

Такое распределение температуры в приземном слое приводит к турбулентному перемешиванию холодного воздуха внизу с теплым наверху, чему способствует и орография местности, что и обуславливает более длительное сохранение тумана, с последовательным переходом в низкую облачность и из облачности обратно в туман. В слое 600-1500 м слоев инверсии и изотермии приводит к быстрому возрастанию с высотой дефицита точки росы, т.е. иссушению воздуха с высотой.

3.2 Зависимость туманов от состояния подстилающей поверхности и от направления и скорости ветра

Состояние поверхности почвы определяет изменения влагосодержания и температуры приземного слоя воздуха. Следовательно, оно оказывает существенное влияние на формирование тумана. Об этом можно судить по распределению числа случаев туманов различного вида в зависимости от состояния поверхности почвы и температуры воздуха.

Адвективный туман, возникающий вследствие охлаждения теплого влажного воздуха при движении над более холодной подстилающей поверхностью в 30 случаях из 102 отмечался над влажной почвой и преимущественно при температурах выше 0 °С. В 43 случаях туман наблюдался над сплошным снежным покровом и тающим снегом. В отдельных случаях над сухой и замерзшей почвой.

Таким образом, необходимое для формирования адвективного тумана охлаждение воздуха сравнительно редко достигается над обнаженной влажной почвой. В большинстве случаев такое охлаждение возможно над снегом, который характеризуется большими значениями альбедо и эффективного излучения, а поэтому и более низкой температурой. Кроме того, при начальной температуре выше 0 °С воздух расходует большое количество тепла на таяние снега. Адвективно-радиационные туманы почти равновероятны как над обнаженной почвой, так и над снежным покровом.

Радиационный туман чаще наблюдается над обнаженной почвой влажной или сухой, причем преимущественно при положительной температуре 51 случай из 83 отмечавшихся.

Число случаев радиационного тумана над снегом меньше половины (14 случаев) общего числа случаев. Преобладание случаев радиационного тумана при положительной температуре над почвой связано с испарением влаги с ее поверхности в дневное время, обогащающим воздух водяным паром и облегчающим приближение его к состоянию насыщения ночью.

Фронтальные туманы чаще всего возникают над влажной почвой 30 случаев из 83 зафиксированных, причем при температуре выше 0 °С, и в 21 случае над снегом при температуре ниже 0° С.

Вопрос о зависимости образования туманов от направления и скорости ветра имеет большое прогностическое значение. Связанные со скоростью и направлением ветра продолжительность и интенсивность туманов первоочередным образом зависят от них

. Поэтому была проанализирована повторяемость туманов при различных направлениях ветра по моменту возникновения тумана, по типам и по сезонам. Эта зависимость представлена в таблице 4.5. Розы повторяемости туманов в зависимости от направления ветра представлены в табл.3.5.

Таблица3.5

Повторяемость в (%) туманов при различных направлениях ветра¹¹

Типы туманов и сезоны года	Направления ветра								
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Тихо
Адвективный	-	2,9	74,0	7,7	-	-	11,5	1,0	2,9
Радиацион.	-	-	31,5	1,4	-	-	8,2	1,4	57,5
Адвек-радиац	-	2,7	76,6	2,1	-	-	12,8	2,1	4,3
Фронтальный	-	1,2	70,1	5,7	-	-	6,9	-	16,1
Осень	-	1,1	62,6	4,8	-	-	11,0	-	24,2
Зима	-	2,5	60,5	7,4	-	-	10,5	1,8	17,3
Весна	-	-	72,4	3,4	-	-	5,2	-	19,0
Лето	-	-	19,0	1,0	-	-	15,0	1,5	63,5
Г О Д	-	1,6	63,3	4,8	-	-	9,7	1,0	19,6

Как видно из табл. 3.5 розы повторяемости в приложении 4 все типы туманов, за исключением радиационного, возникают при восточном направлении ветра у земли. При других направлениях ветра вероятность туманов резко снижается.

¹¹ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

Эта особенность объясняется рельефом местности. Прежде всего из главы 2, вспомним, что Минеральные Воды расположены в природном желобе, суженное начало которого находится западнее Мин-Вод на высоте 600 м над уровнем моря. К востоку этот желоб расширяется и опускается до уровня Каспийского моря. Разность высот Каспийского моря и Мин-Вод достигает 350 м.

В холодное время года при устойчивом восточном выносе, связанном как правило с наличием малоподвижного антициклона над Казахстаном, холодный воздух вторгается на восточные районы Северного Кавказа.

Туманы при устойчивом западном ветре в Минеральных Водах образуются редко, что также связано с влиянием рельефа местности.

При вторжении влажного воздуха с запада воздушная масса, перевалив в районе Киана-Курсавка отрог Ставропольского плато, опускается, адиабатически нагреваясь. Это нагревание, по-видимому довольно значительно и вполне компенсирует суммарное радиационно-адвективное выхолаживание, что и приводит к рассеиванию туманов.

В табл. 3.6 представлена повторяемость туманов в зависимости от скорости ветра по моменту возникновения тумана.

Таблица 3.6

Повторяемость в (%) тумана в зависимости от скорости ветра¹²

Типы туманов	Скорости ветра в м/с			
	0 - 2	3 - 6	7- 12	Более 12
Адвективный	41,3	46,1	10,6	2,0
Радиационный	80,8	19,2	-	-
Адв.-радиац.	38,3	57,5	4,2	-
Фронтальный	43,7	46,0	9,2	1,1
В С Е Г О	50,8	41,5	6,7	1,0

Как следует из табл. 3.6., наиболее благоприятными скоростями ветра, при которых образуются адвективные, адвективно-радиационные и

¹² Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

фронтальные туманы являются скорости ветра до 6 м/с. радиационные туманы образуются преимущественно при слабом ветре до 2 м/с, причем при скоростях более 6 м/с радиационные туманы не образуются вообще.

Повторяемость возникновения остальных типов туманов при больших скоростях ветра уменьшается и при скоростях более 12 м/с – они очень редки. Только адвективные 2 % и фронтальные 1,1 %.

3.3 Синоптический анализ условий возникновения туманов

Для выявления синоптических условий способствующих образованию тумана в районе Минеральных Вод был произведен расчет повторяемости туманов при различной синоптической обстановке.

Их выявление производилось при совместном анализе приземных и кольцевых карт погоды и дневников АВ-6.

Повторяемость туманов при различных синоптических ситуациях рассчитывалась от общего числа случаев при всех ситуациях. Результаты анализа сведены в таблицы.

В зависимости от синоптических условий образования туманы делятся на внутримассовые, образующиеся в однородной воздушной массе и фронтальные, образующиеся при прохождении атмосферных фронтов.

К внутримассовым туманам относятся:

- 1) радиационные туманы;
- 2) адвективно-радиационные туманы, в образовании которых существенную роль играет радиационное выхолаживание при наличии адвекции;
- 3) адвективные туманы, образующиеся в результате адвекции теплого и влажного воздуха или в результате адиабатического охлаждения воздуха под воздействием орографии местности;
- 4) туманы теплого сектора.

К фронтальным отнесены туманы образующиеся при прохождении: теплых, холодных фронтов, фронтов орографической окклюзии или

стационарных холодных фронтов, залегающих вдоль северных склонов Кавказского хребта.

В табл. 3.7 представлена повторяемость туманов при внутримассовых процессах, в табл. 3.8 при прохождении фронтов.

Таблица 3.7

Повторяемость туманов в (%) при внутримассовых процессах¹³

Месяцы	Типы синоптических положений				Число случаев	%
	Радиационные	Адв.тепла по периферии антициклона		Теплый Сектор циклона		
		Адвективные	Адв-радиац.			
Январь	14,2	40,0	13,8	32,0	35	54,7
Февраль	21,1	32,9	16,0	30,0	19	70,4
Март	30,5	33,5	16,0	20,0	23	67,6
Апрель	55,6	11,4	22,0	11,0	9	56,3
Май	100	-	-	-	8	88,8
Июнь	100	-	-	-	3	100
Август	100	-	-	-	4	100
Сентябрь	71,4	7,1	15,0	6,5	14	93,3
Октябрь	68,1	10,0	11,9	10,0	22	88,0
Ноябрь	24,4	60,0	8,8	6,8	37	80,4
Декабрь	23,2	58,4	8,4	10,0	56	80,0
В С Е Г О	36,0	37,0	12,0	15,0	230	73,5

Как видно из табл. 3.7 преобладающими туманами являются адвективные 37 % и радиационные 36 %, образование которых связано с адвекцией теплого влажного воздуха с районов Каспийского моря по периферии антициклона. Восточный поток в зимний период является потоком туманообразующим для предгорной части Северного Кавказа и это происходит при следующей синоптической ситуации.

Повторяемость туманов рассматривается по месяцам в (%) в зависимости от синоптических условий их образования. Из рассмотренных 313 случаев

¹³ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

тумана, 73,4 % случаев приходится на внутримассовые и только 26,6 % - на фронтальные туманы, таким образом, преобладающими туманами для Минеральных Вод являются внутримассовые туманы.

Таблица 3.8

Повторяемость в (%) туманов при фронтальных процессах¹⁴

Месяцы	Типы синоптических положений			Число случаев в	%
	Теплые фр.	Холодные фр.	Окклюзии или Стац. х.фр.		
Январь	20,7	13,8	65,5	29	45,3
Февраль	37,5	12,5	50,0	8	29,6
Март	45,5	18,1	36,4	11	32,4
Апрель	14,3	14,3	71,4	7	43,7
Май	-	-	100	1	11,2
Июнь	-	-	-	-	-
Август	-	-	-	-	-
Сентябрь	-	-	100	1	6,7
Октябрь	-	33,3	66,7	3	12,0
Ноябрь	11,1	33,3	55,6	9	19,6
Декабрь	14,3	7,4	78,6	14	20,0
В С Е Г О	21,7	15,6	62,7	83	26,6

Как известно, в холодное время на континентах в умеренных широтах происходит усиленное радиационное выхолаживание повышающее отток, это создает благоприятные условия для развития антициклона на континенте. Над Западной Сибирью, Казахстаном в этот период как правило, преобладает антициклонное поле. По юго-западной периферии антициклона на Северный Кавказ поступают массы континентально-полярного воздуха, устойчиво стратифицированные.

В начале осени и конце весны массы этого потока бывают недостаточно

¹⁴ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

увлажнены, поэтому туманы, наблюдающиеся в этом периоде, кратковременны и обусловлены прежде всего радиационным выхолаживанием (апрель-55,6 %, май, июнь и август – 100 %, сентябрь-71,4 %, октябрь 68,1 %).

В конце осени, зимою и в начале весны условия существенно изменяются, так как воздушные массы северо-восточного потока, перемещаясь над холодной подстилающей поверхностью, приближаются к насыщению. Увеличение высоты местности от Каспия до района Минеральных Вод приводит к вынужденному подъему воздушных масс и дополнительному его охлаждению.

Благодаря эти двум факторам конденсационные процессы происходят в самых нижних слоях воздуха. Это приводит к установлению пасмурной погоды с низкой слоистой облачностью и туманами, морозящими осадками и гололедными явлениями.

В дневные часы туман ослабевает, переходя в низкую облачность с высотой нижней границы 50-200 м, но в вечерние часы туман имеет прежнюю интенсивность. Туманы при этом устойчивые, хотя и имеют малую вертикальную мощность.

Радиационные туманы наблюдаются в тех случаях, когда Северный Кавказ находится в центре антициклона или его восточной периферии. Этот антициклон, медленно смещаясь с запада на восток по югу Европы стационарируется над Кавказом, охватывая территорию Северного Кавказа и низовья Волги.

Ясная погода и слабые ветры, устанавливающиеся при этом, способствуют возникновению в утренние часы радиационных туманов. В подавляющем числе случаев при этом наблюдается приземная инверсия, являющаяся эффектом излучения в течении ночи.

Относительно малая повторяемость туманов при ветрах западной четверти объясняется двумя факторами:

1. При западных и северо-западных потоках обычно приносятся холодные и довольно сухие массы воздуха, которые к тому же подвержены

нисходящим потокам по восточным и юго-восточным склонам Ставропольского плато, вследствие чего, приходя в рассматриваемый район, они имеют малый запас влаги.

2. При юго-западных потоках на рассматриваемый район большое влияние оказывает фенный эффект, так как воздушные массы при этом переваливают Западный Кавказ.

Из рассмотренных в табл. 3.8 83 случаев фронтальных туманов, 62,7 % случаев связано с орографическими окклюзиями и малоподвижными холодными фронтами, залегающими вдоль северных склонов Кавказского хребта (табл. 3.9)

Таблица 3.9

Повторяемость в (%) туманов в зависимости от положения фронта¹⁵

Теплые фронты			Холодные фронты		
перед фронтом	в зоне фронта	за фронтом	перед фронтом	в зоне фронта	за фронтом
6,0	61,0	33,0	8,0	46,0	46,0

Туманы теплых фронтов составляют 21,7 % случаев и наблюдаются в основном в холодный период года с ноября по апрель, приходящимся на конец зимы начало весны (февраль-37,5 %, март-45,5 %).

Туманы холодных фронтов более редки и составляют всего 15,6 % случаев. Наблюдаются в период с октября по апрель, с максимумом случаев приходящимся на осенний период (октябрь и ноябрь по 33,3 %).

Анализ фронтальных туманов (из табл.3.9) показывает, что туманы возникают как перед фронтом, хотя и редко – 6-8 %, так и в момент его прохождения.

Туманы теплого фронта в 61 % случаев возникают при прохождении фронта через пункт, а туманы холодного фронта только в 46 %, и в 46 % случаев они возникают за фронтом.

¹⁵ Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

Это объясняется тем, что фронтальные туманы являются результатом снижения облаков до земной поверхности в период прохождения фронта. А большое количество туманов за холодным фронтом связано с тем, что холодный фронт, пройдя район Минеральных Вод, под воздействием орографии местности резко замедляет свою скорость движения, а облачные массы, вследствие поступления свежих порций воздуха, уплотняются и опускаются до земли.

Заключение

Аэропорт Минеральные Воды расположен на юго-западной окраине одноименного города, к югу от железной дороги Ростов-Баку в долине реки Кумы, на высоте 320 м над уровнем моря.

Долина реки вытянута с запада на восток, ограничивается рядом возвышенностей на севере, параллельно реке Куме, протекающей на расстоянии

5 км от аэропорта, тянется гряда Левокумских холмов с превышением над аэродромом на 120-150 м, максимальное превышение имеет г. Бурундук - 177 м. Эти холмы являются юго-восточными отрогами Ставропольского плато.

Большое влияние на региональные особенности погоды оказывает относительно невысокое Ставропольское плато, возвышающееся к северо-западу от Минеральных Вод и постепенно понижающееся к востоку, переходя в Прикаспийскую низменность. В этом случае воздушная масса смещающаяся с востока, испытывает дополнительное адиабатическое охлаждение за счет вынужденного подъема, которое приводит к влагонасыщению приземного слоя воздуха, и в конечном итоге, к увеличению повторяемости сложной погоды при восточном ветре.

Таким образом, город Минеральные Воды расположен в природном желобе, начинающемся в 50-60 км западнее, постепенно понижающемся и расширяющемся к востоку. Такая особенность рельефа способствует формированию особых, чисто местных погодных условий.

Большое влияние на формирование микропогоды оказывает рельеф местности в районе аэропорта. АМСГ расположена в правой равнинной части долины р.Кумы в 1,5 км от нее. Между р.Кумой и метеостанцией проходит железная дорога и расположен крупный железнодорожный узел станции Минеральных Вод. Далее к востоку, за восточной окраиной города в долине р.Кумы имеется небольшой лесной массив. К югу от авиаметстанции в 4-5 км возвышается г.Змейка с высотой 996 м над уровнем моря, отрог которой

высотой 150-200 м над уровнем аэродрома вытянут далеко к западу. В районе аэродрома местность без заметной всхолмленности с редкими лесополосами, ориентированными с севера на юг или с востока на запад.

Район Минеральных Вод расположен в зоне умеренно-континентального климата с жарким летом и умеренно теплой зимой, редкие зимние холода с наличием неустойчивого снежного покрова.

Выводы:

1. Средняя годовая температура по данным АМСГ Минеральные Воды 9,4 °С. Температура самого холодного месяца января составляет -3,8 °С, самого теплого месяца июля +22,7 °С. Экстремальные значения температуры в отдельные годы могут достигать -36 ° и +42 °С.

2. Среднее годовое количество осадков 452 мм. В теплый период года выпадает около 80 % годовой нормы осадков. Среднегодовая относительная влажность составляет 78 %, причем зимой она более 90%, летом 76-70 %. В период летних суховеев относительная влажность в дневные часы может понижаться до 15-20 %.

Наибольшее количество пасмурных дней по общей облачности наблюдается в холодное время года 75-80 %, минимум летом – 40 %. Причем в зимний период в большинстве случаев пасмурная погода отмечается при низкой облачности.

3. Среднемесячная скорость ветра составляет 3 м/с и распределяется в течение года равномерно. Экстремальные значения скорости ветра могут достигать 25-30 м/с при западном направлении и не превышает 15-17 м/с при восточном направлении. Повторяемость ветра по направлениям по сезонам и среднегодовое

Для выполнения работы был использован материал ежечасных наблюдений из дневника погоды АВ-6, из которых были выбраны все случаи за период с 2006 по 2010 года, всего было рассмотрено 313 таких случаев из более чем 21200 наблюдений. При расчете повторяемости за 100 % принималось общее число случаев туманов за пятилетний период.

Из анализа полученных результатов видно, что наиболее часто туманы наблюдаются в осенне-зимний период в декабре (22,3 %) и январе (20,8 %). Основным, наиболее часто встречающимся типом туманов, являются - адвективные (102 случая или 32,6 %), вернее это адиабатические туманы, связанные с орографическим подъемом, представляющие собой адвекцию теплого воздуха с Каспийского моря на выхолаженную поверхность Северного Кавказа, усиленную эффектом адиабатического охлаждения, связанного с орографией прилегающей местности к району Минеральных Вод. Разность высот Каспийского моря и Минеральных Вод достигает 320 м. Такое выхолаживание хотя и меньше теоретического, но по-видимому, может достигать 2-2,5 °С. Радиационные туманы (83 случаев или 26,5 %), занимают второе место по повторяемости за исследуемый период.

Фронтальные туманы всех типов фронтов (83 случаев или 26,5 %), из этой группы выделяются туманы, связанные с орографической окклюзией и стационарными холодными фронтами, залегающими вдоль северных склонов Кавказского хребта (16,6 %). Адвективно-радиационных туманов в районе Минеральных Вод отмечалось 45 случаев или 14,4 %.

Радиационно – адвективные туманы, как и адвективные туманы, могут образовываться в любое время суток, но наиболее благоприятным является период с 21 до 06 часов.

Фронтальные туманы всех типов фронтов возникают в течении всех суток, но наиболее благоприятным временем образования этих туманов является период с 00 до 09 часов утра. Это распределение подтверждает то, что образование фронтальных туманов связано не столько с предфронтальным падением давления увлажнением подфронтального воздуха выпадающими осадками, а в основном они образуются в период суток, когда радиационный баланс на подстилающей поверхности отрицателен, т.е. в образовании этих туманов играет роль процесс радиационного охлаждения.

Продолжительность туманов в районе Минеральных Вод в среднем небольшая до 6 часов и составляет 66,3 % всех случаев туманов. Наиболее

устойчивыми являются адвективно-радиационные туманы, сохраняющиеся в 42,6 % случаев до 12 часов.

Расчеты статистической обработки имеющегося архивного материала позволили сделать следующие выводы:

- преобладающим видом туманов, наблюдающихся в районе Минеральных Вод, являются внутримассовые туманы - 72% случаев, из них на адвективные и адвективно-радиационные приходится 67% . Достаточно большое число случаев приходится и на фронтальные туманы - 28%, из которых 64% случаев приходится на туманы, связанные с орографическими фронтами;
- образование внутримассовых туманов в районе Минеральных Вод в основном связано с адвекцией воздушных масс, приносимых восточным потоком по периферии Сибирского антициклона при наличии слоя инверсии или изотермии в приземном слое от земли до 600м.
- в годовом ходе метеорологических элементов и явлений туманы наблюдаются с сентября по май месяц с максимумом числа дней с туманами, приходящимся на декабрь-72%. январь-65%;
- в суточном ходе наиболее вероятным временем возникновения тумана является период с 03 до 09 часов - 46%. В дневные часы вероятность туманов мала - 4% и приходится в основном на фронтальные туманы;
- наиболее вероятная продолжительность тумана 6-12 часов - 91%, но в практической работе, адвективные туманы в дневные часы переходят в низкую облачность, а вечером вновь облачность переходит в туман;
- наиболее вероятной температурой, при которой образуется туман, является температура от 5°С до -3°С;
- при отрицательных температурах туманы образуются при значительном удалении от 100% относительной влажности, так при температуре от -15° до -20° туман образуется при относительной влажности 83-88%.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что задачи, поставленные в работе, решены, и цель достигнута.

Список использованной литературы

1. Астапенко П.Д., Баранов А.М., Шварев И.М. Авиационная метеорология. - М.: Транспорт, 1985. - 262 с.
2. Баранов А.М. Облака и безопасность полетов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1983. - 232 с.
3. Баранов А.М., Солонин С.В. Авиационная метеорология. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 384 с.
4. Богаткин О.Г., Еникеева В.Д. Анализ и прогноз погоды для авиации. - Л.: Гидрометеоиздат, 1992. - 272 с.
5. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. - Л.: Гидрометеоиздат, 1991. - 616 с.
6. Гаврилов В.А. Видимость в атмосфере. - Л.: Гидрометеоиздат, 1966. - 324с.
7. Дубровина Л.С. Облака и осадки по данным самолетного зондирования. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. - 216 с.
8. Ермакова А.И. Метеорологическое обеспечение международных полетов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987. - 152 с.
9. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатическая обработка метеорологической информации. - Л.: Гидрометеоиздат, 1978. - 296 с.
10. Котик М.Г., Филиппов В.В. Полет на предельных режимах. - М.: Воениздат, 1980. - 384 с.
11. Логвинов К.Т. Динамическая метеорология. - Л.: Гидрометеоиздат, 1981. - 148 с.
12. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. - Л.: Гидрометеоиздат, 1984. - 752 с.
13. Материалы многолетних наблюдений на АМСГ Минеральные Воды.
14. Маховер З.М., Пеньков А.П. Методические рекомендации для АМСГ (АМЦ) по выявлению местных климатических особенностей аэродромов. - М.: Гидрометеоиздат, 1981. - 28 с.

15. Метеорологическое обеспечение полетов воздушных судов гражданской авиации. - Л.: ОЛАГА, 1980. - 80 с.
16. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации России (НМО ГА-95). - М.: Росгидромет, 1995. - 160 с.
17. Наставление по производству полетов гражданской авиации России (НПП ГА). - М., 1985. - 136 с.
18. Особенности метеорологического обеспечения полетов на международных трассах / ЛГМИ. - Л., 1989. - 71 с.
19. Правило эксплуатации метеорологического оборудования на аэродромах 2000. - 150 с.
20. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 304 с.