



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

Кафедра метеорологии, экологии и природопользования

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

На тему «Анализ дальности видимости и прогноз туманов на АМСГ - I Минеральные Воды»»

Исполнитель Вакаренцева Анна Викторовна

Руководитель к.г.н., доцент Иошпа Александр Рувимович

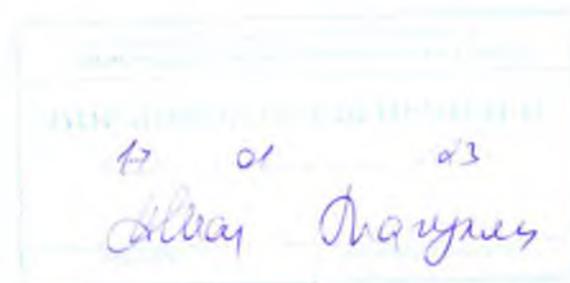
«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

«24» января 2023 г.



Туапсе
2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Общая характеристика синоптических условий и методов наблюдений за видимостью и туманом на АМСГ-I Минеральные Воды	5
1.1 Синоптические процессы, обуславливающие сложные условия на АМСГ-1 Минеральные воды	5
1.2 Методы наблюдений за видимостью на АМСГ-I Минеральные Воды..	11
2 Анализ характеристик наблюдений за метеорологической дальностью видимости и туманами на АМСГ-I Минеральные Воды	17
2.1 Анализ характеристик метеорологической дальности видимости и тумана на АМСГ-I Минеральные Воды	17
2.2 Анализ условий погоды различной степени сложности, ухудшающие видимость.....	26
3 Анализ методов прогноза тумана на АМСГ-I Минеральные Воды	38
3.1 Характеристика выпускаемых прогнозов погоды, формат, сроки выпуска и период действия прогнозов	38
3.2 Анализ методов прогноза тумана на АМСГ-I Минеральные Воды и их оправдываемость.....	45
Заключение	56
Список использованной литературы.....	58

Введение

Туман – скопление в воздухе очень мелких капель воды, образующихся в результате охлаждения влажного воздуха, которое приводит к уменьшению горизонтальной видимости менее 1000 м [29, с. 298].

Несмотря на кажущуюся простоту явления, на его формирование влияет множество факторов. Это и разность температур между воздухом и «подстилающей» поверхностью, и насыщенность конденсатом, и движение ветра. Туманы могут наблюдаться в любое время года.

При одинаковых синоптических и метеорологических условиях в одних районах туман может наблюдаться, а в других отсутствовать. В Минеральных Водах чаще всего наблюдаются туманы охлаждения (радиационные и адвективные) и реже туманы испарения (фронтальные туманы). Туманы являются ограничителями видимости, затрудняют работу авиации, особенно, когда полет совершается на малых и предельно малых высотах, а также на взлете и посадке. В целях обеспечения безопасности и регулярности полетов в сложных метеорологических условиях устанавливаются предельные значения видимости, при которых разрешается выполнять полеты подготовленному командиру воздушного судна (КВС), эксплуатировать воздушное судно и использовать аэродром для взлета и посадки воздушных судов.

Следовательно, работа является актуальной, так как рассматривает и особенности наблюдения за видимостью, которая является составной частью климата и прогноз тумана, информация о котором является безопасным критерием взлета и посадки воздушных судов.

Объектом изучения работы является АМСГ-1 Минеральные воды.

Предметом изучения является наблюдение за видимостью и прогноз туманов на АМСГ-1 Минеральные воды.

Цель работы: выявление особенностей наблюдения за видимостью и прогнозирование туманов на АМСГ-1 Минеральные воды.

Для реализации поставленной цели решаются следующие задачи:

- дать общую характеристику синоптическим условиям и методам наблюдений за видимостью и туманом на АМСГ-I Минеральные Воды;
- выявить особенности и провести анализ характеристик наблюдений за метеорологической дальностью видимости и туманами на АМСГ-I Минеральные Воды;
- охарактеризовать и провести анализ методов прогноза тумана, применяемых на АМСГ-I Минеральные воды.

1 Общая характеристика синоптических условий и методов наблюдений за видимостью и туманом на АМСГ-I Минеральные Воды

1.1 Синоптические процессы, обуславливающие сложные условия на АМСГ-1 Минеральные воды

Условия погоды в Минеральных Водах в основном определяются синоптической ситуацией и орографией местности. Синоптическая ситуация в районе аэропорта Минеральные Воды сильно меняется от сезона к сезону. Соответственно меняется и тип погоды.

В холодный период года деятельность авиации значительно усложняется большим количеством дней с низкой облачностью и ограниченной видимостью, когда над Северным Кавказом устанавливается юго-западная периферия азиатского антициклона, и преобладает восточный ветер, а с ним адвективные туманы и низкая облачность. С высотой ветер поворачивает вправо, из-за силы трения, и становится юго-восточным, в результате чего на некоторой высоте в приземном слое осуществляется адвекция тепла, и формируются задерживающие инверсионные слои. При такой ситуации холодный воздух из Сибири, проходя над Каспийским морем, нагревается и увлажняется. Дальнейшее его перемещение вверх по склону над холодной подстилающей поверхностью приводит к адвективно-адиабатическому охлаждению приземного слоя воздуха, к состоянию насыщения приземного слоя воздуха и образованию низкой облачности, дымок, тумана и морозящих осадков в любое время суток. При отрицательных температурах у земли замерзающая морось образует гололед. Если при этой синоптической ситуации существует стационарный фронт по предгорьям Северного Кавказа, то наблюдаются наихудшие условия погоды: низкая облачность, туманы, сильный ветер, замерзающие осадки, снегопады, метели. Фронтальная облачность часто сливается с туманом, что значительно осложняет посадку и взлет воздушного судна [7]. Такая синоптическая ситуация может продолжаться несколько суток. Часто низкая облачность переходит в туман, а затем возвращается к прежнему

состоянию, причем данный процесс может неоднократно повторяться.

Помимо адвективных туманов в Минеральных Водах часто наблюдаются радиационные туманы. Они образуются в антициклональном поле, сформировавшемся после прохождения активного холодного фронта, когда после выпадения дождя, в ночные часы наступает прояснение, и, как следствие, происходит радиационное охлаждение до состояния насыщения приземного слоя воздуха [13, с. 212]. Условия для радиационного тумана в районе Минеральных Вод создаются в гребнях, антициклонах, отрогах, барических седловинах и малоградиентных полях любого знака.

В теплый период в Минеральных Водах пора активной грозовой деятельности (гроза, град, шквал). Это связано с интенсивным прогревом воздуха над сушей. Близость гор также способствует усилению конвекции. Фронтальные грозы отмечаются на активных холодных фронтах, проходящих район Минеральные Воды во вторую половину дня в период своего максимального обострения, на теплых фронтах – в ночные часы, а на фронтах окклюзии грозы наблюдаются в любое время суток. Чем больше контраст температур у земли в зоне фронта, тем активнее грозовая деятельность. Во всех случаях прохождения атмосферных фронтов над Северным Кавказом у земли и во всей толще тропосферы должно наблюдаться циклоническое поле (циклон, ложбина, их тыловая или передняя часть), т.е. барическое поле, способствующее восходящим движениям). Внутримассовые грозы формируются в термических и барических депрессиях (малоградиентных полях любого знака) у поверхности земли и на высотах, при значительном прогреве приземного слоя воздуха. Другими условиями формирования фронтальных и внутримассовых кучево-дождевых облаков являются значительная влажность и неустойчивость воздуха, как в приземном слое, так и на высотах, и адвекция или очаг холода в средней тропосфере [3]. При всех этих условиях в районе Минеральных Вод следует ожидать активные грозы, град, сильные ливни, и резкое усиление ветра больше 20м/с (шквалы).

Выпадение осадков осложняет деятельность авиации в аэропорту

Минеральные Воды (ухудшается видимость, наблюдается понижение облачности, ухудшается сцепление на ИВПП). Осадки в Минеральных Водах выпадают при прохождении атмосферных фронтов. Сложный рельеф в районе Минеральных Вод оказывает большое влияние нахождение атмосферных фронтов. При переваливании через горы фронты подвергаются деформации, задерживаются горными хребтами. При смещении холодного фронта с запада, северо-запада и севера холодный воздух обтекает Главный Кавказский хребет с его западной стороны, при смещении холодного фронта с северо-востока обтекание происходит с обеих сторон хребта, а при смещении холодного фронта с востока – только со стороны Каспийского моря. В результате образуется орографическая окклюзия, которая может сохраняться на хребте несколько дней, обуславливая пасмурную погоду с продолжительными осадками в Минеральных Водах. При смещении холодных фронтов с севера, когда поток на высотах направлен перпендикулярно хребту, осадки в предгорных районах часто возникают задолго до достижения фронтом Минеральных Вод из-за вынужденного вытеснения теплого воздуха по склонам хребта, «зажатого» между горами и поверхностью холодного фронта. При подходе холодного фронта непосредственно к хребту осадки усиливаются. Большое влияние нахождение холодных фронтов и фронтов окклюзии, и, следовательно, распределение осадков в предгорьях оказывает Ставропольское плато. При западных и северо-западных вторжениях в восточных районах плато происходит процесс местного фронтолиза (размывания фронта) за счет вынужденных нисходящих движений воздуха, ввиду чего в Минеральных Водах количество выпадающих осадков уменьшается. В дальнейшем холодный воздух как бы обрушивается на восточные районы плато и скорость ветра в районе Минеральных Вод усиливается до штормовых.

Нахождение теплого фронта с юга, юго-запада через центральные территории Северного Кавказа значительное влияние оказывает Главный Кавказский хребет. Район Минеральных Вод при этом находится с подветренной стороны, где фёновое нагревание теплого воздуха из-за

нисходящих потоков приводит к разрушению нижней части фронтальной поверхности, и осадки на фронте прекращаются, и почти совсем исчезает фронтальная облачность. В Минеральных Водах в этом случае наблюдается хорошая погода. Восстанавливается теплый фронт на расстоянии 50-100 км севернее Минеральных Вод и продвигается дальше на север. Если на севере существует мощный усиливающийся антициклон, то фронт меняет знак, и в дальнейшем будет смещаться на юг уже как холодный. При смещении с запада теплый фронт проходит Минеральные Воды без деформации.

Особенностью циклонической деятельности на Северном Кавказе является частный орографический циклогенез по предгорьям Северного Кавказа вследствие усиления расходимости изогипс абсолютной и относительной топографии, вызванной возмущающим влиянием Главного Кавказского хребта на воздушный поток в средней тропосфере. Частные циклоны могут образовываться в передней части ложбины перед основным холодным фронтом. Хотя эти частные циклоны – неглубокие барические образования, имеют небольшой горизонтальный размер и существуют менее суток, они оказывают значительное влияние на погодные условия района Минеральных Вод. Если такой циклон образовался над Краснодарским краем, то в районе Минеральных Вод сначала усиливается восточный ветер, затем при его прохождении отмечается резкая смена направления ветра на западный. В зоне циклона отмечается в теплый период года грозовая деятельность, а в холодный – обложные осадки (дождь, снегопад) [1]. Если частный циклон сформировался восточнее Минеральных Вод, то в районе аэропорта может наблюдаться усиление северо-западного ветра до 20-25 м/с за 3-6 часов до прохождения основного фронта. Осадки выпадают в тыловой части частного циклона и часто их трудно разграничить от осадков, выпадающих на основном холодном фронте. Возникают эти циклоны в любое время года, но чаще в холодную половину года с октября по март.

Ветровой режим в Минеральных Водах практически не оказывает негативного влияния на взлет и посадку воздушных судов.

В летние месяцы при взлете и посадке воздушных судов нужно учитывать высокие температуры приземного воздуха, наблюдаемые в послеполуденные часы во второй половине июля и в августе, когда максимальная температура воздуха у земли выше +30 градусов. Такие условия создаются при наличии термической депрессии над Малой Азией, устойчивого высотного гребня среднеазиатского антициклона, когда осуществляется интенсивный вынос сухого и жаркого континентального воздуха из Средней Азии на территорию Северного Кавказа.

В Минеральных Водах чаще всего наблюдаются туманы охлаждения (радиационные и адвективные) и реже туманы испарения (фронтальные туманы). Для образования тумана необходимым условием является задерживающий слой в приземном слое (инверсия, изотермия). Как правило, под инверсионным задерживающим слоем происходит накопление влаги, образование дымки, а затем и тумана [2]. В природе различные физические процессы действуют одновременно, и поэтому практически все туманы, регистрируемые в Минеральных Водах, образуются по нескольким причинам.

В холодный период, как правило, преобладают адвективные туманы. При восточных ветрах на центральные и восточные районы Северного Кавказа происходит адвекция теплого и влажного воздуха с Каспийского моря. При взаимодействии с холодной поверхностью приземный слой воздуха охлаждается, приближаясь к состоянию насыщения. Однако адвективные туманы редко наблюдаются в чистом виде. Дополнительное охлаждение в среднем на 2.0-2.5 градуса воздух получает за счет вынужденного подъема на высоту 320 м при движении от Каспийского моря до Минеральных Вод по склону вверх (адиабатический фактор). Кроме того, обычно в ночные часы охлаждение приземного слоя воздуха усиливается при прояснении или наличии незначительной облачности (радиационный фактор). Такой тип туманов образуется, когда над Северным Кавказом распространяется юго-западная периферия сибирского или казахстанского антициклона, и в районе Минеральных Вод устанавливаются ветры восточного направления. С высотой

восточный поток поворачивал на юго-восточный, южный или юго-западный из-за силы трения в приземном слое. В результате чего на высотах поступает более теплый воздух, и формируется приподнятая инверсия, в этом подинверсионном слое сначала образуется дымка или низкая облачность, а затем туман.

Условия для образования адвективных туманов в районе Минеральных вод следующие: при восточном ветре (60-120 град):

- скорость ветра: в среднем 2-5 м/с, а иногда достигает 9-12 м /с;
- наличие над Казахстаном или Западной Сибирью устойчивого высокого антициклона, гребень или юго-западная периферия которого захватывает Северный Кавказ;
- температура приземного слоя от -5 до +2 со сдвигом в середине зимы в сторону отрицательных температур и в переходные периоды - в сторону положительных;
- инверсионные, изотермические или иного вида задерживающие слои, нижняя граница которых не превышает высоты 500 м над подстилающей поверхностью;
- дефицит точки росы в приземном слое не должен превышать 1°С;
- туманы образуются как при малооблачной погоде, так и при полной облачности нижнего яруса (облачность снижается до земли).

В зимнее время часто низкая облачность переходит в туман и, наоборот, туман сменяется низкой облачностью.

Для прогноза туманов необходимо использовать погоду станций с кольцевой карты, при этом:

- если при восточном ветре туманы наблюдаются в Моздоке, Прохладном, Георгиевске, то эта зона, как правило, распространяется и на район Минеральные Воды.
- если зона туманов охватывает район от Минеральных Вод до Невинномысска, то даже при западном ветре эта зона туманов распространяется на район Минеральные Воды.

Значительную опасность для авиации представляют местные туманы,

возникающие в пойме реки Кумы или в районе железнодорожного узла. Эти туманы, чаще всего имеющие небольшую вертикальную мощность и занимающие малую площадь, могут внезапно сместиться на ВПП.

1.2 Методы наблюдений за видимостью на АМСГ-I Минеральные Воды

На АМСГ-I Минеральные Воды наблюдения за видимостью производятся инструментально по датчикам видимости LT31 [5] и идентификатору погоды FD, установленных вдоль ВПП, при этом обеспечивается автоматическая регистрация показаний (рисунок 1.1).

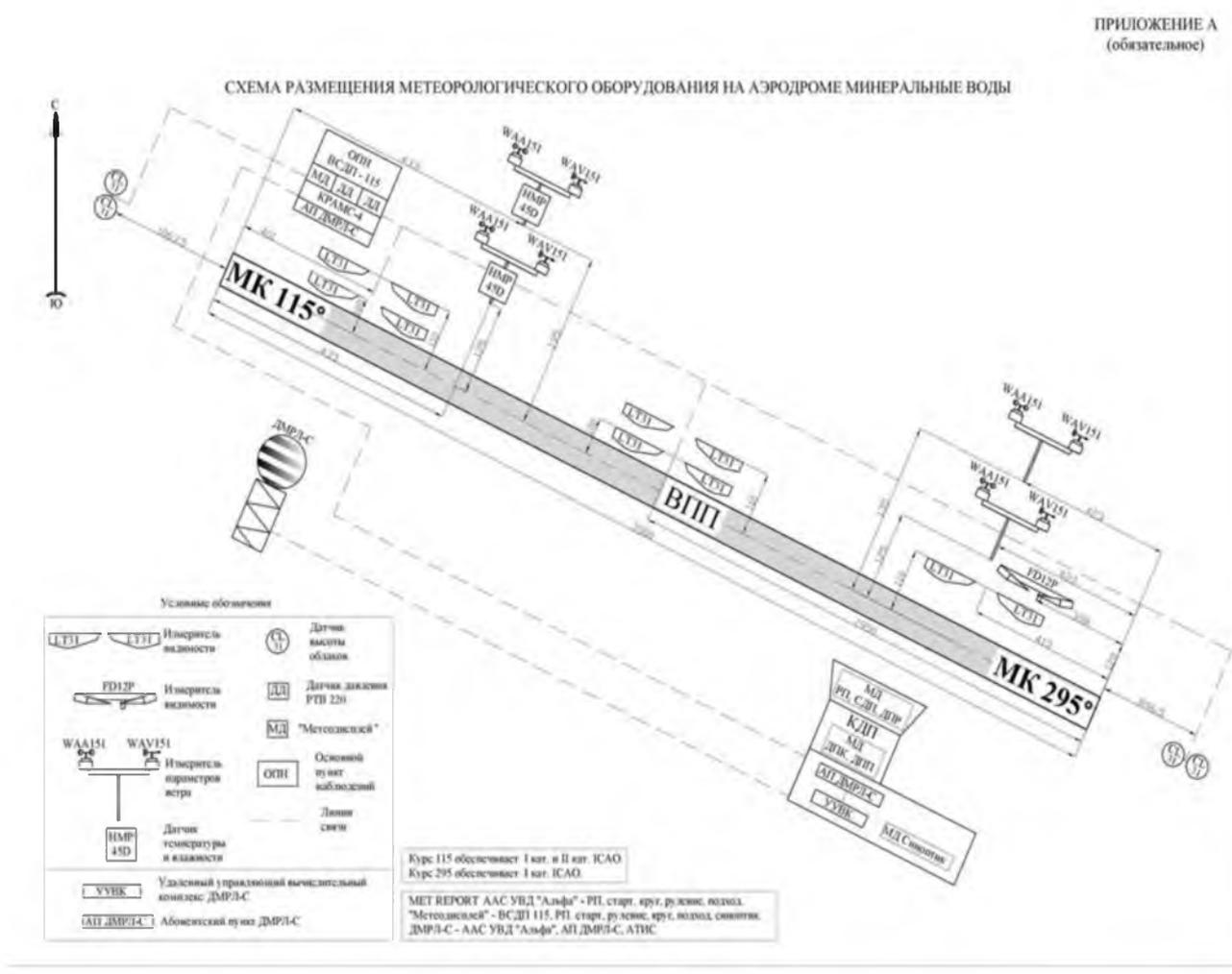


Рисунок 1.1 – Схема размещения метеорологического оборудования на АМСГ-I Минеральные Воды

Датчик MOR LT31 измеряет коэффициент пропускания однобазовым

двухконечным трансмиссометром на измерительной базе длиной 30 м и коэффициент рассеяния прибором прямого рассеяния (рисунок 1.2). [28]



Рисунок 1.2 – Датчики LT31 [6]

Измеритель видимости FD12/FD12P основан на принципе прямого рассеяния. Конструктивно он состоит из передатчика и приемника, устанавливаемых на штанге так, чтобы угол рассеяния составлял 33° (они устанавливаются под углом $16,5^\circ$ к горизонтальной плоскости) на высоте 2-3 м над поверхностью земли. Измерительные сигналы могут приниматься любым компьютером (рисунок 1.3). [9]



Рисунок 1.3 – Измеритель видимости FD12

При отсутствии инструментальных наблюдений за видимостью используются подобранные дневные ориентиры видимости (рисунок 1.4) на удалении более 2000 метров, при этом обеспечивается регистрация ручного ввода наблюдений в КРАМС-4 [8].

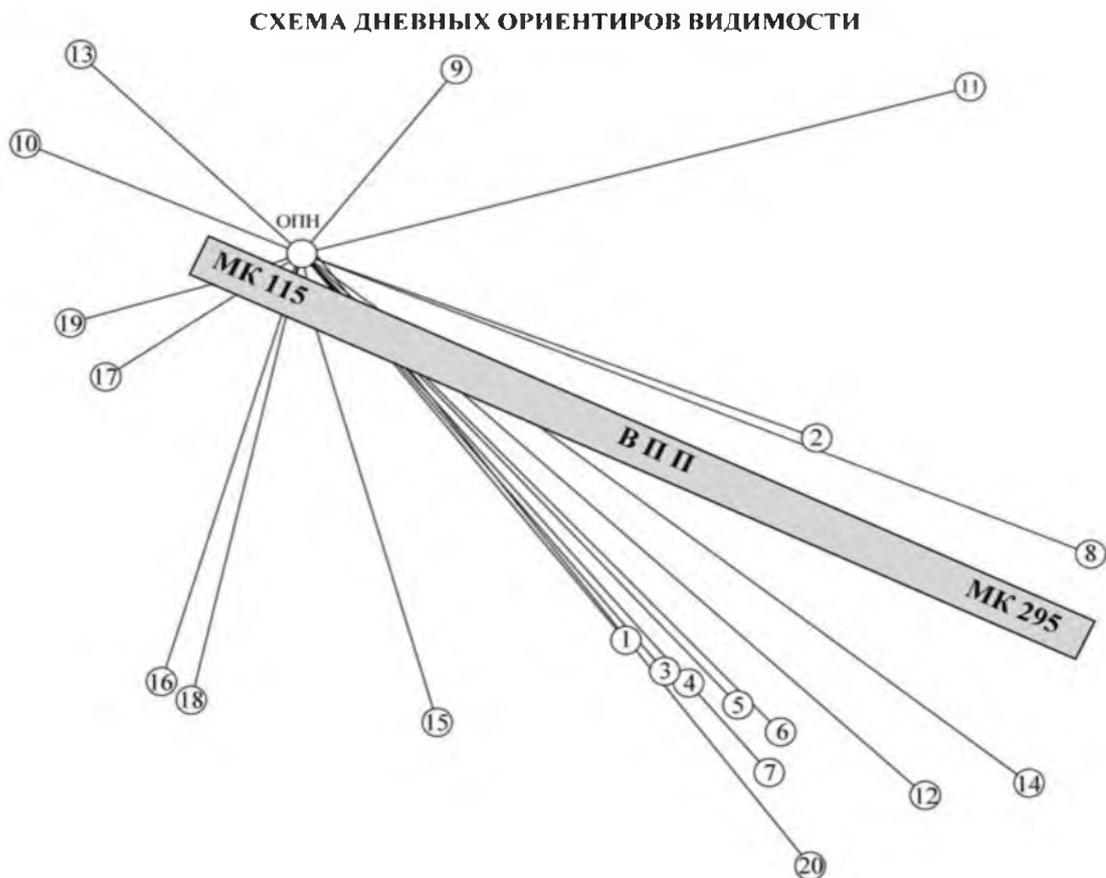


Рисунок 1.4 – Схема дневных ориентиров видимости с ОПН115 для АМСГ-I
Минеральные Воды

Перечень дневных ориентиров видимости с ОПН115 для АМСГ-I Минеральные Воды представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Перечень дневных ориентиров видимости с ОПН115 для АМСГ-I
Минеральные Воды

№	Наименование объекта	Азимут, град	Расстояние, м
1	Осветительная мачта на пер. №3 (день)	142	2100
2	Здание основной АСС (день)	118	2200
3	Осветительная мачта на пер. №4 (день)	141	2300
4	Осветительная мачта на пер. №5 (день)	140	2400
5	Осветительная мачта на пер. №6 (день)	138	2600

Продолжение таблицы 1.1

6	Осветительная мачта на пер. №7 (левая) (день)	137	2800
7	Антенна КДП (день)	140	2900
8	Ангар завода 411 (день)	116	3400
9	Локатор УВД (день)	38	3500
10	Водонапорная башня (день)	293	4200
11	Комбикормовый завод (день)	75	4700
12	Типография (день)	133	5600
13	г. Кинжал (день)	314	5700
14	Купол церкви (день)	128	6000
15	г. Змейка (день)	164	7900
16	г. Развалка (день)	197	9500
17	г. Бык (день)	236	10200
18	г. Бештау (день)	193	15700
19	г. Верблюдка (день)	254	15000
20	Лысогорские холмы (день)	143	19200

Период осреднения наблюдений за видимостью на КРАМС-4 составляет:

- 1 минуту для местных сводок;
- 10 минут для сводок METAR, SPECI.

Наблюдения за видимостью, предназначенные для составления сводок METAR и SPECI, распространяемые за пределы аэродрома репрезентативны для аэродрома. В сводках METAR и SPECI указывается значение преобладающей видимости [10].

Если видимость неодинакова, и минимальная видимость отличается от преобладающей видимости и составляет:

- менее 1500 м;
- менее 50% значения преобладающей видимости и менее 5000 м.

В сводках дополнительно указывается зарегистрированная минимальная видимость и её общее направление в румбах относительно КТА (МК115-NW, середина ВПП-NE, МК295-SE).

В местных сводках, предназначенных для распространения на аэродроме и передаваемых на мониторы АИС «МетеоДисплей» и на мониторы рабочих мест диспетчеров УВД, отображается три значения видимости: рабочий курс,

середина ВПП, противоположный курс.

В сводках погоды видимость указывается:

- менее 800 м - в величинах кратных 50 м;
- 800 м или более, но менее 5000 м - в величинах кратных 100 м;
- 5000 м или более, но менее 10 км - в величинах кратных 1000 м;
- 10 км или более указывается как 10000.

Сведения о дальности видимости на ВПП следует сообщать, когда видимость или дальность видимости на ВПП составляет менее 2000м [19]. В сводках METAR, SPECI указывается дальность видимости репрезентативная для зоны приземления (с рабочего курса).

На АМСГ-I Минеральные Воды установлена светосигнальная система IDM, сила света системы огней приближения ОВИ. При ухудшении видимости до 2 км и менее диспетчер СДП сообщает технику-метеорологу о включении ССО, указывая группу (кнопку) яркости ОВИ, или сообщает об отказах светосигнальной системы. Техник-метеоролог вручную вводит данные в КРАМС-4 (III ступени яркости соответствует 4 кнопка, IV ступени – 5 кнопка, V ступени – 6 кнопка) [22]. При выключенном ССО для расчета RVR в местных сводках и сводках METAR/SPECI используется сила света огней, которую сообщил диспетчер УВД.

Нижним пределом оценки дальности видимости на ВПП следует считать 50 м, верхним пределом – 2000 м. В сводках METAR и SPECI при видимости ниже или выше этих пределов указывается «R12/M0050NFZFG» или «R12/P2000U BR».

Видимость, измеренная по приборам при ее значениях 2000 м и менее, пересчитывается КРАМС-4 автоматически в дальность видимости на ВПП (RVR) по соответствующему типу огней ВПП светосигнальной системы ОВИ, по таблицам, приведенным в «Руководстве по определению дальности видимости на ВПП (RVR)» (РД 52.21.680-2006) Приложение А [19].

В сводках METAR, SPECI указывается величина дальности видимости на ВПП, репрезентативная для зоны приземления. Интервалы сообщений

видимости на ВПП:

- при менее 400 м кратные 25 м;
- при 400-800 м кратные 50 м;
- более 800 м кратные 100 м.

Для оценки дальности видимости на ВПП в сводки METAR, SPECI включается информация об изменениях дальности видимости на ВПП в течение 10-минутного периода, предшествующего сроку наблюдения. Если в течение 10-минутного периода наблюдается отчетливая тенденция к изменению значений дальности видимости на ВПП таким образом, что в течение первых 5 минут среднее значение отличается на 100 м и более от среднего значения за вторые 5 минут периода, то это изменение указывается с помощью «i», при этом:

«i» = U – для увеличения значений дальности видимости на ВПП;

«i» = D – для уменьшения величин дальности видимости на ВПП;

«i» = N – в случае отсутствия четко выраженной тенденции [11].

В случае, когда невозможно определить тенденцию, то «i» опускается.

Пример: «METAR... 0300 0150SE R12/0500U FG», «METAR ... 0100 R30/0200DFZFG» [10].

2 Анализ характеристик наблюдений за метеорологической дальностью видимости и туманами на АМСГ-ІМинеральные Воды

2.1 Анализ характеристик метеорологической дальности видимости и тумана на АМСГ-І Минеральные Воды

Значение видимости на аэродроме является одним из критериев, обуславливающих минимумы для взлета и посадки воздушного судна.

Чаще всего ухудшение метеорологической дальности видимости (VIS) менее 1000 происходит из-за тумана – 1661 случай (таблица 2.1). Ухудшение видимости в тумане имеет четкую сезонную зависимость: большинство случаев приходится на холодный период с октября по март – 1551 случай (93.4%), чаще всего в декабре – 403 случая (24.3%), реже – в августе – 2 случая (0.1%).

Ухудшение метеорологической дальности видимости (VIS) в снеге наблюдается в зимние месяцы, чаще всего в январе (ухудшение видимости менее 1000м – 17 случаев, менее 800м – 8.8 случаев, менее 400м – 2.9 случаев).

Таблица 2.1 – Повторяемость, %, горизонтальной видимости при туманах

Месяц	Видимость, м								Число случаев
	<200	<400	<800	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	
Январь	15,0	54,7	90,6	100,0					234
Февраль	31,3	65,8	90,4	100,0					313
Март	35,6	64,4	89,7	100,0					146
Апрель	29,8	66,0	89,4	100,0					47
Май	45,8	70,8	91,7	100,0					24
Июнь		50,0	100,0	100,0					4
Июль	46,2	76,9	100,0	100,0					13
Август			100,0	100,0					2
Сентябрь	35,0	50,0	85,0	100,0					20
Октябрь	41,4	70,4	88,9	100,0					162
Ноябрь	33,8	65,5	92,5	100,0					293
Декабрь	29,5	66,0	92,3	100,0					403
Год	30,6	64,4	91,1	100,0					1661

Ухудшение видимости в ливне очень редкое явление в Минеральных Водах (менее 1000 м – 3,5 случаев в год, менее 800 м – менее 3,5 случаев в год, 400 м – практически не наблюдалось) (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Повторяемость, %, горизонтальной видимости при дожде (ливне)

Месяц	Видимость, м								Число случаев
	<200	<400	<800	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	
Январь						5,3	9,6	24,5	94
Февраль					2,1	2,7	5,5	19,9	146
Март					0,3	0,8	4,5	16,9	379
Апрель						0,6	2,9	8,1	344
Май			0,2	0,2	0,7	0,7	2,2	8,7	460
Июнь				0,3	0,3	0,3	2,8	10,5	400
Июль					0,4	0,4	2,1	6,7	240
Август						1,0	1,0	2,0	203
Сентябрь					0,9	1,7	4,3	13,3	347
Октябрь				0,2	0,2	0,4	4,1	15,0	461
Ноябрь			0,4	0,4	1,2	1,2	7,7	25,8	248
Декабрь					0,6	2,2	8,4	21,8	179

Средняя годовая повторяемость случаев с видимостью на аэродроме Минеральные Воды (VIS) <3000м составляет 6.4%; (VIS) <1000м составляет 3.0%; с видимостью <800м – 2.7%; с видимостью <600м – 2.4%; с видимостью <400м – 1,9%; с видимостью <200м – 0,9%.(общее количество случаев 57005) (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Повторяемость, %, случаев наблюдения видимости ниже указанных значений (в метрах) в определенные сроки наблюдений

Время (ВСВ, ч)	Видимость, м									Число случаев
	<200	<400	<600	<800	<1000	<1500	<3000	<5000	<8000	
00	1,8	3,7	4,5	5,0	5,3	5,9	10,0	16,8	28,5	2376
01	1,9	4,0	4,8	5,4	6,1	7,0	10,7	17,7	29,1	2374
02	2,1	4,3	5,1	5,6	6,5	7,4	11,6	18,4	30,3	2375
03	2,0	4,4	5,5	6,1	6,7	7,7	11,4	17,5	30,4	2374
04	1,9	4,0	5,2	5,6	6,3	7,5	11,3	17,4	28,6	2375
05	1,5	3,2	4,0	4,4	4,9	6,2	10,1	16,8	26,5	2374
06	0,8	2,1	2,8	3,3	3,7	4,5	8,5	14,0	22,8	2375
07	0,2	1,0	1,7	1,9	2,3	2,7	5,7	9,6	18,2	2375
08		0,3	0,7	0,9	1,1	1,8	3,6	6,6	13,8	2374
09	0	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	2,2	4,9	10,4	2376
10		0	0,2	0,4	0,5	0,6	1,8	3,7	8,8	2374
11		0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	1,6	3,4	8,1	2375
12	0	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	2,1	4,0	8,1	2375

Продолжение таблицы 2.3

13		0,1	0,2	0,3	0,4	0,7	2,2	4,5	8,9	2376
14		0,4	0,5	0,5	0,6	1,0	2,6	6,1	11,0	2374
15	0,1	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	3,8	7,9	13,7	2376
16	0,3	0,9	1,3	1,4	1,7	2,2	4,5	9,1	15,5	2375
17	0,5	1,2	1,7	1,9	2,1	2,9	5,4	9,6	17,3	2376
18	0,8	1,7	2,1	2,4	2,4	2,8	5,7	10,4	19,0	2376
19	1,3	2,1	2,4	2,5	2,8	3,4	6,4	11,4	20,5	2376
20	1,4	2,1	2,8	2,9	3,4	4,1	6,7	11,7	22,2	2376
21	1,4	2,7	3,1	3,5	3,7	4,5	7,5	13,5	23,5	2376
22	1,6	3,0	3,7	4,0	4,2	5,2	9,0	15,0	25,8	2376
23	1,9	3,5	4,2	4,7	5,1	5,8	9,0	15,3	26,3	2376
Среднее	0,9	1,9	2,4	2,7	3,0	3,6	6,4	11,1	19,5	57005

Чаще всего видимость <1000 м наблюдалась при дефиците точки росы 0-1° (99.4%) в 18994 случаях (таблица 2.4) и скоростях ветра 0-5 м/с.

Таблица 2.4 – Повторяемость, %, горизонтальной видимости <1000 м при определенных значениях температуры воздуха и дефицита точки росы

Температура воздуха, °С	Дефицит точки росы, °С				Итого
	0 - 1	2 - 3	4 - 5	> 5	
от -25 до -20	0,1	0,1			0,2
от -20 до -15	0,6	0,1			0,7
от -15 до -10	2,0				2,0
от -10 до -5	11,0	0			11,0
от -5 до 0	30,1	0,1			30,2
от 0 до 5	37,1	0			37,1
от 5 до 10	12,8	0			12,8
от 10 до 15	4,8	0			4,8
от 15 до 20	1,0	0,1	0		1,1
от 20 до 25	0	0	0	0	0,1
от 25 до 30				0	0
Итого	99,4	0,5	0	0	100,0

Зависимость ухудшения горизонтальной дальности видимости от скорости ветра представлено в таблице 2.5. При слабом ветре (0-5м/с)

ухудшение видимости 3000м и менее наблюдается в 84.9% случаев, а ухудшение видимости менее 200м – в 99.4% случаев.

Таблица 2.5 – Повторяемость, %, градаций горизонтальной видимости при определенных скоростях и направлениях ветра

Направление ветра	Видимость					
	<200	200-400	400-800	800-1000	1000-1500	1500-3000
Скорость ветра 0-5 м/с						
Штиль	21,9	9,4	6,5	5,4	4,7	5,2
Переменный						
С	1,4	1,8	1,2	1,3	2,3	2,8
СВ	1,7	2,6	3,5	4,4	5,0	5,2
В	12,6	33,1	36,7	36,7	33,9	29,1
ЮВ	6,3	7,8	10,3	8,8	6,6	4,2
Ю	2,7	2,9	2,4	1,7	0,9	1,1
ЮЗ	6,1	4,5	3,4	2,0	2,2	2,2
З	37,6	25,6	18,3	18,0	16,5	19,0
СЗ	9,1	5,6	4,4	4,7	5,8	6,4
Итого, %	99,4	93,2	86,8	83,1	77,9	75,3
Скорость ветра 6-10 м/с						
С					0,1	0
СВ		0,1	0,1	0,3	0,1	0,1
В	0,1	5,7	10,7	11,8	14,1	15,3
ЮВ		0,1	0,3	0,2	0,1	0,3
Ю		0	0,1		0,2	0,1
ЮЗ			0	0,1	0,1	0,2
З	0	0,4	0,6	2,2	4,7	4,6
СЗ		0	0,1	0,2	0,3	0,5
Итого, %	0,2	6,3	11,9	14,9	19,8	21,2
Скорость ветра 11-15 м/с						
С						0
СВ						
В		0	0,1	0,7	0,8	1,2
ЮВ			0,3	0,3	0,1	0,1
Ю						0
ЮЗ			0		0,1	0
З	0,1	0,1	0,3	0,4	0,7	1,2
СЗ		0	0	0	0,1	0,1
Итого, %	0,1	0,2	0,8	1,5	1,8	2,7
Скорость ветра >15 м/с						
С						
СВ						
В						0,1
ЮВ	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0
Ю						
ЮЗ		0				0
З	0,2	0,2	0,4	0,1	0,4	0,6
СЗ	0		0,1	0,1	0,1	0,1
Итого, %	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,8
Число случаев	5070	6324	5576	2024	4878	9761

Также заметно выделяются направления ветра, при которых видимость ухудшается чаще всего – это восточное направление ветра и западное

направление ветра. Причем, при скоростях ветра 0-5м/с видимость <200м в большинстве случаев (37.6%) отмечалась при западном направлении ветра; видимость 200-400м в 33.1% случаях наблюдалась при восточном ветре; видимость 400-800м в 36.7% случаях – при восточном ветре и видимость 800-1000м в 36.7% случаях – при восточном ветре.

При скоростях ветра 6-10м/с ухудшение видимости <200м практически не наблюдалась (0.2%); ухудшение видимости 200-400м отмечалось при восточном ветре в 6.3 % случаев; 400-800м – в 11.9% случаев; и 800-1000м – в 14.9% случаев.

При скоростях ветра 11-15м/с ухудшение видимости <1000м было крайне редко – менее 1.5% случаев, в основном при восточном ветре.

При скорости ветра более 15 м/с ухудшение видимости наблюдалось в ливнях при выходе грозных кучево-дождевых облаков.

Изменения видимости имеют естественный суточный ход. На рисунках 2.1–2.3 представлены суточный и годовой ход повторяемости различных пределов дальности горизонтальной видимости. В годовом ходе видимости <200м, <400м, <600м, <800м, <1000м, <1500м, <3000м, <5000м, <8000м имеют максимальную повторяемость в период с ноября по март, чаще всего наблюдаются в декабре, минимальную – в июле и августе.

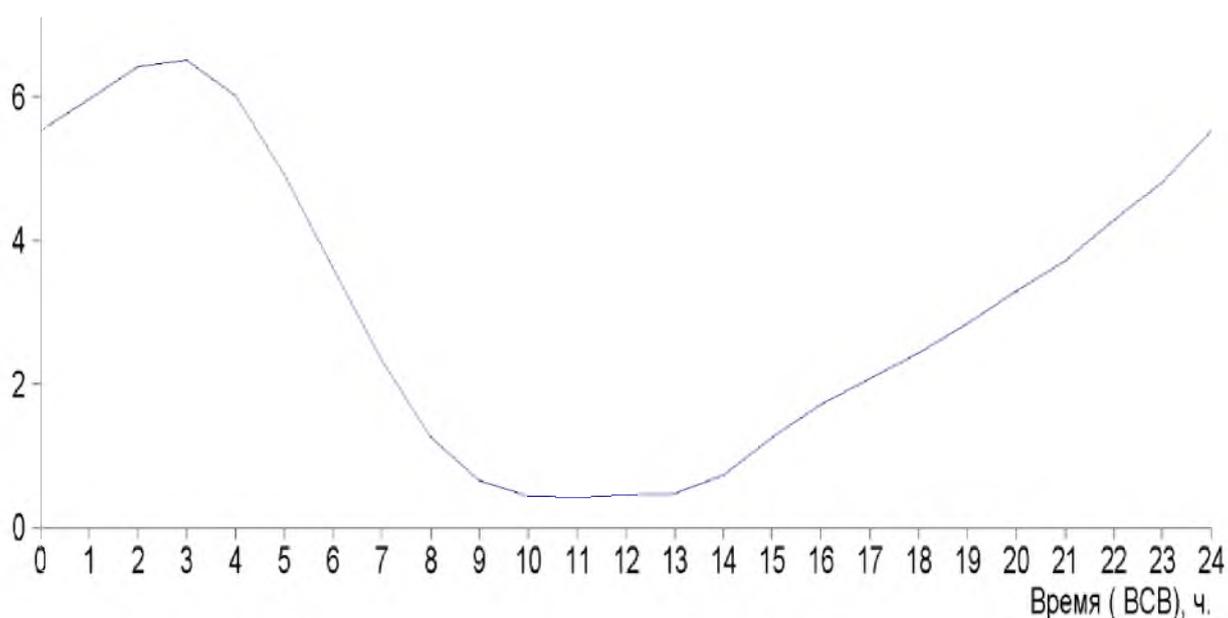


Рисунок 2.1 – Суточно-годовой ход повторяемости, %, видимости <1000 м

В суточно-годовом ходе повторяемость различных пределов дальности горизонтальной видимости в холодный период (с ноября по январь) имеет два максимума в 2 часа (12%), в 22-23 часа (10%) и один минимум в 10-12 часов (3%); в теплый период (с мая по август) ограниченная видимость отмечается редко, но можно выделить один максимум (менее 1%) в 3 часа.

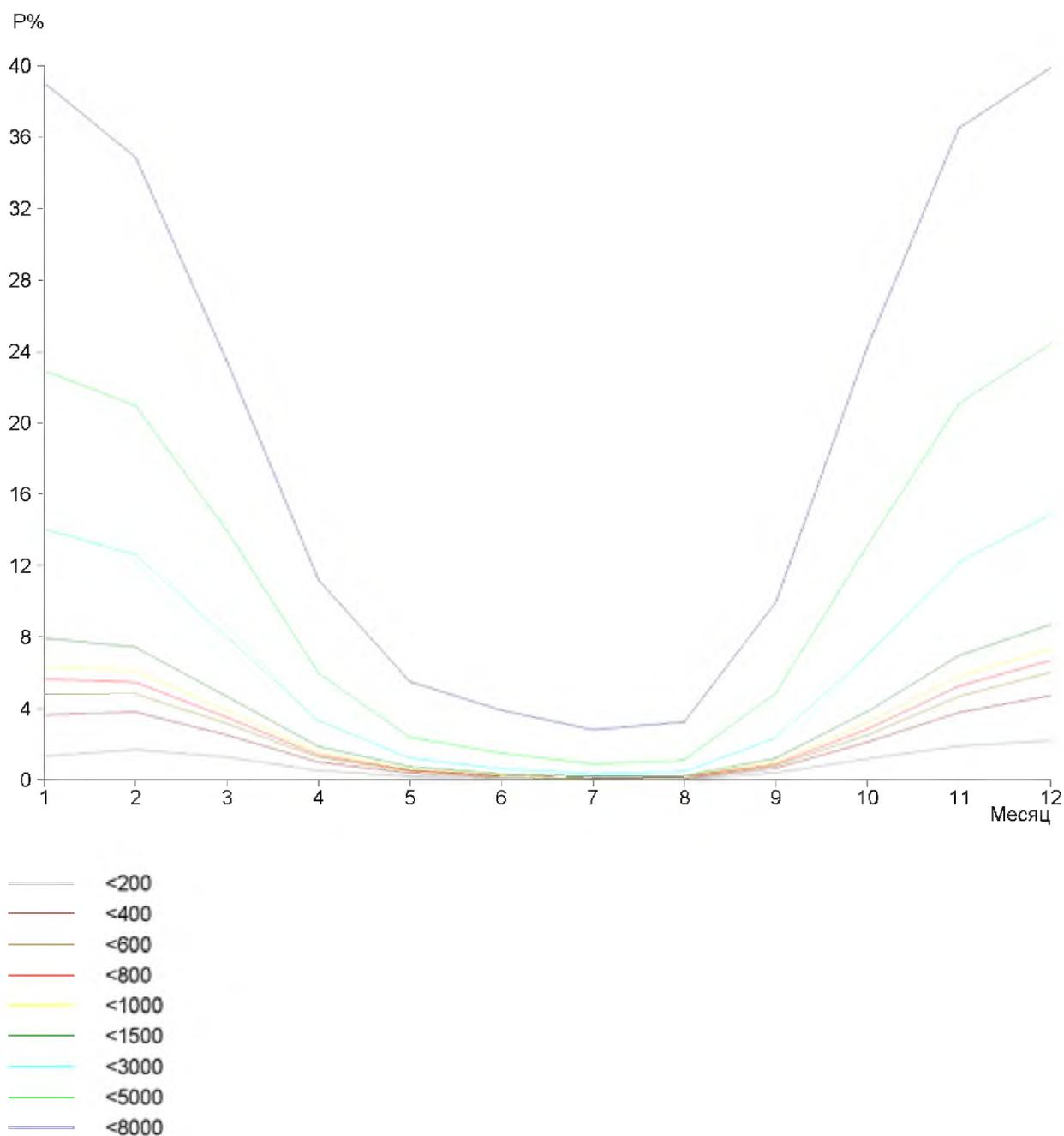


Рисунок 2.2 – Годовой ход повторяемости, различных пределов дальности горизонтальной видимости

В апреле и сентябре (переходный период) ограниченная видимость имеет

максимум в 3 часа и минимум с 8 по 16 часов. В марте и октябре повторяемость различных пределов дальности горизонтальной видимости имеет максимум в 3-4 часа (10%) и минимум с 9 по 15 часов (рисунок 2.3).

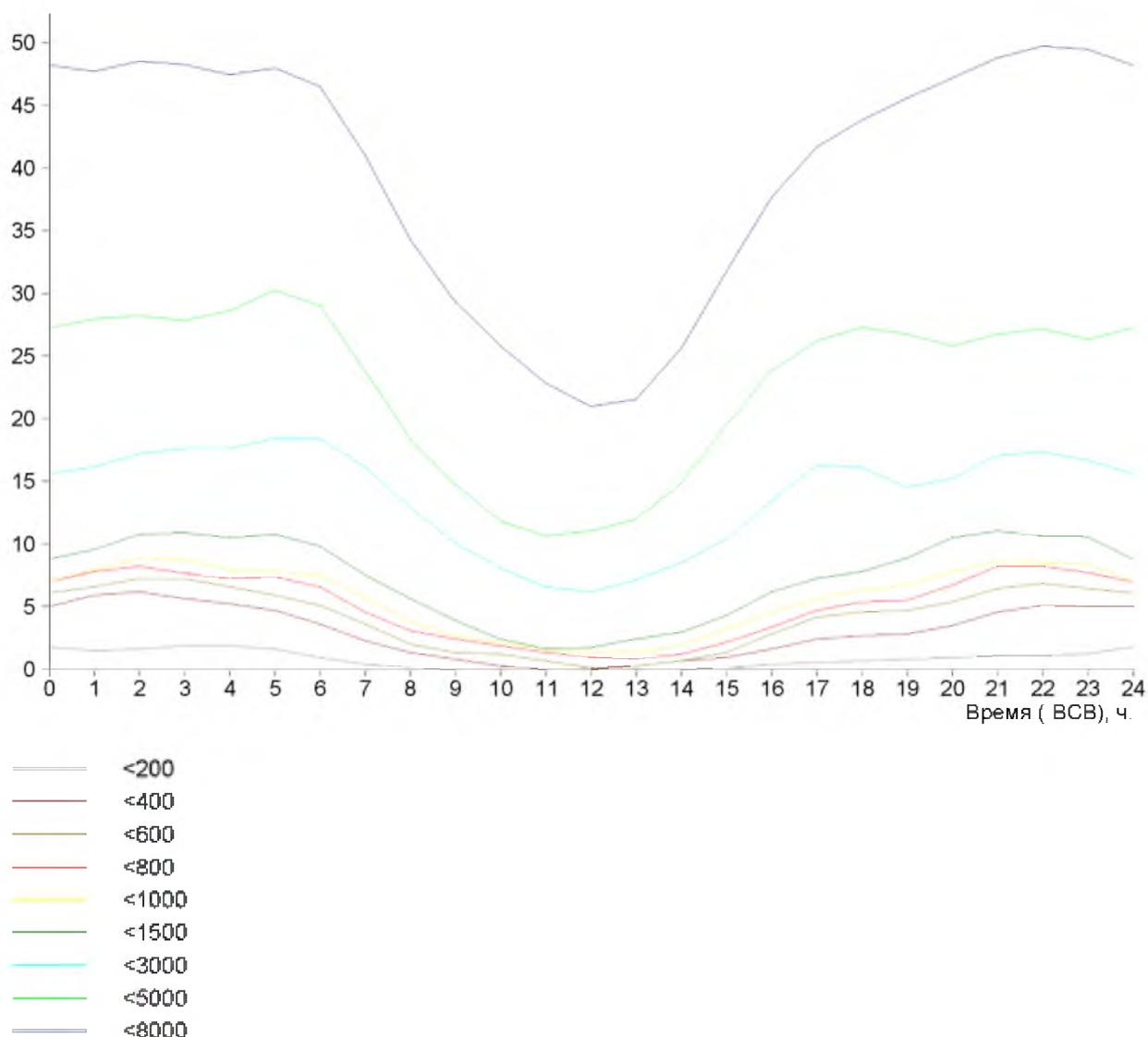


Рисунок 2.3 – Суточный ход повторяемости, различных пределов дальности горизонтальной видимости

В зависимости от температуры, максимальная повторяемость видимости менее 1000м приходится на диапазоны от 0° до +5° – 37,1% и от 0° до -5° – 30.2%. В большинстве случаев (99.4%) видимость менее 1000м отмечается в туманах при дефиците точки росы от 0 до 1 градуса, и менее 0.1% – при дефиците точки росы 4 градуса и более в осадках.

Туманы в Минеральных Водах могут наблюдаться в течение всего года.

В среднем в год было отмечено 64.4 дня с туманами. Чаще всего в декабре – 11.1 дня, реже в августе – 0.4 дня. Ухудшение видимости в тумане может быть причиной нарушения регулярности полетов в аэропорту Минеральные Воды (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Среднее число дней с явлениями погоды

Явления погоды	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Туман	8,0	8,7	7,3	2,7	3,4	1,0	0,7	0,4	2,3	9,0	9,7	11,1	64,4
Дымка и мгла	19,7	19,0	16,6	9,3	9,3	5,6	5,4	5,0	11,0	23,0	25,1	21,3	170,3
Метель	0,3		0,1										0,4
Гололед	4,7	3,7	0,6							0,6	1,7	4,0	15,3
Гроза			0,4	2,0	8,7	10,3	6,1	7,7	3,1				38,4
Град					0,3	0,3		0,1					0,7
Дождь (ливневой дождь)	3,0	4,0	10,0	10,9	15,1	14,4	10,7	10,9	9,9	11,6	6,7	6,0	113,1
Снег (ливневой снег)	8,4	6,0	3,4	0,4						1,0	4,7	7,3	31,3
Морось	6,1	6,7	4,9	1,3	0,3	0,3	0,1	0,1	2,1	6,7	7,1	7,7	43,6

Значительную опасность для авиации представляют местные туманы, возникающие в пойме реки Кумы или в районе железнодорожного узла. Эти туманы, чаще всего имеющие небольшую вертикальную мощность и занимающие малую площадь, могут внезапно сместиться на ВПП.

Очень хорошо выражена связь повторяемости туманов со скоростью и направлением ветра. Туманы в большинстве случаев (47.3%) образуются при восточном ветре. За исследуемый период 93.5% всех туманов наблюдались при скорости ветра 0 - 5 м/с. Из них 29.6% направление ветра было восточное, и в 26.1% случаев наблюдался западный ветер.

При скорости ветра любого направления 6-10 м/с туманы отмечались в 6.5% всех случаев, а при скорости 11-15 м/с отмечались единичные случаи

образования тумана только при восточном ветре.

Наибольшая повторяемость туманов отмечалась в декабре 9.8% и феврале 9.3%, в летние месяцы туманы – редкое явление 0.2 - 0.3%. В холодный период туманы могут образовываться в любое время суток, в теплый период – только в ночные часы. В суточно-годовом ходе повторяемости туманов можно выделить максимум в 3 часа и минимум в 11-12 час.

Непрерывная продолжительность туманов в Минеральных Водах в 94.1% всех случаев была от 0 до 12 часов, в 30.8% всех случаев туманов продолжительность составляла от 1 часа до 3 часов. Максимальная продолжительность туманов наблюдалась в декабре – 33 часа.

Повторяемость, %, непрерывной продолжительности туманов представлена в таблице 2.7. Максимальная продолжительность туманов в декабре.

Таблица 2.7 – Повторяемость, %, непрерывной продолжительности туманов

Месяц	Продолжительность, ч							Среднее число периодов	Средняя продолжительность	Макс. продолжительность
	<=1	1-3	3-6	6-12	12-18	18-24	>24			
Январь	21,2	31,8	18,2	24,2	4,5			9,4	4,8	18,0
Февраль	16,9	23,1	27,7	21,5	10,8			9,3	5,9	18,0
Март	27,3	20,5	25,0	25,0	2,3			6,3	4,4	13,0
Апрель	5,9	52,9	23,5	17,6				2,4	3,9	9,0
Май	45,5	36,4	9,1	9,1				3,1	2,5	8,0
Июнь	33,3	50,0	16,7					0,9	2,2	4,0
Июль		33,3	33,3	33,3				0,4	5,7	9,0
Август		100,0						0,4	2,3	3,0
Сентябрь	40,0	46,7	6,7	6,7				2,1	2,3	7,0
Октябрь	21,0	27,4	37,1	9,7	4,8			8,9	4,0	15,0
Ноябрь	22,7	32,0	13,3	25,3	6,7			10,7	4,9	18,0
Декабрь	16,7	30,2	28,1	15,6	6,3	2,1	1,0	13,7	5,4	33,0
Год	21,5	30,8	23,2	18,6	5,3	0,4	0,2	67,7	4,7	33,0

Повторяемость видимости в тумане менее 800 м – 91.1% всех случаев, менее 400 м - 64.4% всех случаев, менее 200 м - 30.6% всех случаев.

Практически во всех случаях с туманами дефицит точки росы составил менее 1.0 градуса (99.9%).

В большинстве случаев (38.4%) в Минеральных Водах туманы возникали при температуре от 0° до +5°, в 27.2% при температуре от -5 до 0 градусов, в 13.4% при температуре от +5 до +10 градусов, в 11.7% при температуре от -10 до -5 градусов и в 5.4% при температуре от +10 до +15 градусов.

2.2 Анализ условий погоды различной степени сложности, ухудшающие видимость

Сложные условия погоды (ограниченная видимость и/или малая высота облаков) оказывают наиболее существенное влияние на взлет и посадку воздушных судов, что сказывается на регулярности и безопасности полетов. Ухудшение видимости в холодный период года чаще всего происходит за счет дымки и тумана, в теплый период – в основном за счет ливней [15].

Ухудшение видимости и понижение нижней границы облаков в Минеральных Водах чаще наблюдается в туманах и дымках – 19.2% случаев за исследуемый период (таблица 2.1 и таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Повторяемость, %, дымки и мглы

Время (ВСВ, ч)	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
00	35,5	41,8	30,6	11,7	13,4	8,3	7,4	5,1	10,5	39,6	46,2	35,9	23,8
01	32,3	38,8	31,2	15,0	19,5	10,0	8,3	5,1	12,9	40,6	45,2	35,5	24,5
02	36,0	38,8	32,8	18,3	18,4	8,3	7,8	5,5	13,3	41,0	44,3	34,6	24,8
03	36,0	44,1	32,8	21,7	16,2	6,1	6,9	3,7	14,8	39,2	44,3	35,5	24,9
04	35,5	38,2	36,0	18,3	9,2	2,8	2,8	4,1	14,8	35,5	43,8	36,4	23,0
05	34,4	39,4	38,7	13,9	3,8	2,8	2,8	1,4	13,8	35,0	42,9	35,0	21,9
06	31,7	37,1	31,7	8,3	1,1	1,7	1,8	0,9	9,0	28,1	37,6	31,3	18,3
07	25,8	31,2	23,7	6,1	1,1	0,6	0,9	0,5	4,3	21,7	34,8	30,4	15,0
08	19,4	24,1	20,4	2,2	1,1	0,6	0,9	0,9	1,9	16,6	29,0	27,6	12,1
09	16,7	19,4	14,5	1,7	0,5	1,1	0,5	0,5	1,9	9,2	18,6	24,4	9,0
10	16,7	11,2	7,5	1,1		1,1	0,5		1,4	6,9	18,1	23,5	7,4
11	13,4	8,8	7,0	1,1		0,6	0,5		1,0	8,3	16,7	20,3	6,6
12	10,2	7,6	5,9	0,6		1,1	0,5		1,4	6,0	15,7	20,3	5,9
13	14,5	11,2	5,9	0,6		1,1	0,5		1,4	6,5	23,8	21,7	7,4
14	19,9	15,3	5,4	0,6		1,1			1,9	12,4	32,9	26,7	9,8
15	25,8	18,2	5,9	1,1		0,6			2,4	19,4	36,7	28,6	11,7
16	29,0	20,6	9,7	2,8		0,6	0,9		4,8	24,9	38,1	28,1	13,5

Продолжение таблицы 2.8

17	31,2	23,5	14,0	3,9		1,1	1,4	0,5	6,2	27,2	39,0	30,4	15,0
18	32,8	29,4	15,1	3,3	1,6	1,1	1,4	0,9	5,2	27,6	42,4	30,0	16,0
19	34,4	31,8	20,4	3,3	2,7	1,7	1,4	2,8	6,2	30,9	39,5	30,9	17,2
20	34,4	37,1	21,5	5,0	4,3	2,2	1,8	2,8	6,7	33,2	44,8	30,9	18,7
21	35,5	37,1	23,1	6,7	4,8	4,4	3,2	2,3	9,0	37,3	46,2	34,1	20,4
22	37,6	35,3	29,0	8,3	6,5	6,1	3,7	4,6	11,0	36,4	44,8	35,0	21,5
23	37,1	38,2	30,1	10,0	10,2	6,7	5,1	4,6	11,9	36,9	43,3	33,6	22,3
Среднее	28,2	28,3	20,5	6,9	4,8	3,0	2,5	1,9	7,0	25,8	36,2	30,0	16,3

Ухудшение видимости в осадках за данный период отмечалось в 9.7% случаев в год (таблицы 2.2, 2.9, 2.10, 2.11).

Таблица 2.9 – Повторяемость, %, горизонтальной видимости при снеге

Месяц	Видимость, м								Число случаев
	<200	<400	<800	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	
Январь		0,5	1,5	2,9	8,0	13,4	27,4	45,7	588
Февраль					4,1	5,7	13,4	31,1	367
Март	0,7	0,7	2,1	2,9	6,4	12,1	30,7	52,1	140
Апрель			5,3	5,3	5,3	10,5	10,5	10,5	19
Май									
Июнь									
Июль									
Август									
Сентябрь									
Октябрь					14,5	27,3	36,4	61,8	55
Ноябрь				3,2	9,6	18,9	35,7	51,0	249
Декабрь			0,9	1,6	5,6	11,9	31,3	51,1	444
Год	0,1	0,2	0,9	2,0	6,9	12,6	27,0	45,4	1862

Повторяемость, %, горизонтальной видимости при снеге не значительная, так как приходится на период с октября по апрель месяцы и составляет маленький процент, менее 1% при видимости <200, <400, <800 м, не смотря на то что наблюдался 1862 случая. Но только в марте месяце наблюдались все случаи для всех показателей видимости.

Таблица 2.10 – Повторяемость, %, горизонтальной видимости при мороси

Месяц	Видимость, м								Число случаев
	<200	<400	<800	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	
Январь					5,0	11,6	27,1	54,3	258
Февраль					5,4	10,3	30,7	57,5	261
Март					6,8	11,0	25,7	62,8	191

Продолжение таблицы 2.10

Апрель					7,1	14,3	31,0	76,2	42
Май								25,0	12
Июнь					11,1	33,3	44,4	55,6	9
Июль								100,0	1
Август									2
Сентябрь					1,9	1,9	11,5	51,9	52
Октябрь					0,8	2,8	13,7	46,0	248
Ноябрь			0,3	0,3	5,2	11,3	26,2	54,9	344
Декабрь		0,4	0,7	0,7	5,3	10,6	27,8	61,3	284
Год		0,1	0,2	0,2	4,7	9,6	24,9	56,0	1704

Таблица 2.11 – Повторяемость, %, горизонтальной видимости при смешанных осадках

Месяц	Видимость, м								Число случаев
	<200	<400	<800	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	
Январь						4,0	12,0	36,0	25
Февраль					4,5	11,4	20,5	50,0	44
Март					4,3	13,0	26,1	43,5	46
Апрель							16,7	33,3	6
Май									
Июнь									
Июль									
Август									
Сентябрь									
Октябрь								11,1	9
Ноябрь					11,1	11,1	22,2	40,7	27
Декабрь					5,9	8,8	29,4	61,8	34
Год					4,7	9,4	21,5	45,0	191

Среднее годовое число дней с сочетанием метеорологической дальности видимости (VIS) и нижней границы облаков менее 3000х300м составляет 159.9 дней. Максимальное число дней отмечается в ноябре -23.3 дня, минимальное количество дней – в августе 3.0 дня (таблица 2.12).

Среднее годовое число дней с сочетанием метеорологической дальности видимости (VIS) и нижней границы облаков менее 800х60м составляет 70.0

дней. Максимальное число дней отмечается в декабре –12.3 дня, минимальное количество дней – в августе 0.6 дня (таблица 2.12).

Таблица 2.12 – Среднее число дней с различными сочетаниями дальности видимости на ВПП/видимости и/или высоты нижней границы облаков

Условия погоды различной степени сложности	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
RVR< 400 и/или ВНГО < 30	2,6	3,3	3,7	1,6	1,3	0,4	0,6	0,4	0,9	5,0	4,0	5,3	29,0
RVR 400–800 и/или ВНГО 30–60	8,7	8,7	6,7	2,9	2,4	1,1	0,9	0,6	1,9	8,7	10,1	10,7	63,4
RVR 800–1000 и/или ВНГО 60–90	11,9	11,1	9,1	3,0	2,7	1,3	0,7	0,6	3,6	11,0	13,6	14,0	82,6
RVR 1000–1500 и/или ВНГО 90–150	15,4	13,3	12,7	4,6	4,6	2,3	1,6	0,6	5,0	14,7	16,7	18,1	109,6
VIS <800 и/или ВНГО < 60	9,7	9,0	7,6	3,0	3,1	1,1	0,9	0,6	2,1	9,4	11,1	12,3	70,0
VIS 800–1500 и/или ВНГО 60–150	16,1	13,7	13,1	5,3	5,6	3,3	2,1	1,3	5,3	14,9	17,6	19,0	117,3
VIS 1500–3000 и/или ВНГО 150–300	19,3	19,4	17,0	7,7	8,3	5,9	4,9	3,0	9,3	19,3	23,3	22,6	159,9
VIS 3000–8000 и/или ВНГО 300–600	24,0	22,3	21,9	14,7	15,4	12,7	10,9	11,9	16,3	27,3	28,1	26,7	232,1

Среднее годовое число дней с сочетанием дальности видимости на ВПП (RVR) и нижней границы облаков менее 800х60м составляет 63.4 дня, и чаще всего наблюдается в холодный период. Максимальное число дней отмечается в декабре –10.7 дня, минимальное количество дней – в августе 0.6 дня (таблица 2.12). Средняя годовая непрерывная продолжительность составляет 3.7 часа.

Среднее годовое число дней с сочетанием дальности видимости на ВПП (RVR) и нижней границы облаков менее 400х30м составляет 29 дня. Максимальное число дней отмечается в декабре– 5.3 дня, минимальное количество дней – в августе 0.4 дня.

Условия с видимостью RVR<800м и/или с высотой облаков <60м в среднем за год наблюдались в 2508.8 (2.2%) случаев (таблица 2.13). Максимальная непрерывная продолжительность таких условий наблюдается в декабре – 20 часов. Средняя годовая непрерывная продолжительность

составляет 3.7 часов. Минимальная непрерывная продолжительность – в июне 1.7 часа.

Таблица 2.13 – Повторяемость, %, случаев наблюдения дальности видимости на ВПП/видимости(обе величины в метрах) и/или высоты нижней границы (в метрах) самого низкого слоя облачности ВКНи/или OVC ниже указанных значений в определенные сроки наблюдений

Время (ВСВ) , Ч, МИН	RVR / H _s							VIS / H _s				Число случаев
	<50	<150	<200	<350	<550	<800	<1500	<800	<1500	<3000	<8000	
	-	-	-	<30	<60	<60	<90	<60	<150	<300	<600	
0000				0,4	2,5	3,6	8,2	5,3	13,4	22,0	38,5	2376
0030				0,4	3,0	4,0	8,2	5,9	14,2	22,9	39,1	2375
0100				0,5	3,0	3,9	8,4	5,9	14,4	23,2	39,3	2374
0130		0	0	0,4	3,3	4,3	9,4	6,2	14,5	23,3	40,4	2374
0200			0	0,6	3,6	4,5	9,1	6,3	14,7	24,3	40,4	2375
0230			0,1	0,9	3,2	4,3	9,5	6,6	15,2	24,2	41,1	2375
0300			0,2	1,1	3,8	4,9	9,4	6,6	15,0	24,0	41,1	2374
0330		0,1	0,4	1,9	4,1	5,0	9,8	6,3	15,0	24,3	40,5	2375
0400		0	0,6	2,4	4,3	5,5	10,0	6,3	15,2	23,8	39,9	2375
0430		0	0,5	2,7	4,5	5,5	9,3	5,7	14,7	23,8	38,7	2375
0500		0,1	0,5	2,5	4,5	5,1	8,8	5,1	14,0	23,4	37,4	2374
0530		0	0,4	2,1	3,7	4,5	8,0	4,5	13,0	22,2	36,3	2372
0600		0,1	0,2	1,8	2,9	3,6	6,9	3,6	11,7	21,2	34,9	2375
0630			0	1,1	2,4	2,9	5,4	2,9	10,5	19,9	33,7	2375
0700			0	0,6	1,7	2,1	4,5	2,2	9,0	18,6	31,9	2375
0730				0,5	1,0	1,4	3,4	1,4	7,9	17,2	30,4	2375
0800				0,3	0,6	1,0	2,5	1,0	6,7	15,6	28,7	2374
0830				0,2	0,5	0,7	1,9	0,8	5,3	14,4	27,4	2375
0900				0,2	0,3	0,4	1,5	0,4	4,6	13,1	24,9	2376
0930				0,2	0,4	0,5	1,3	0,6	4,0	12,5	23,9	2373
1000				0	0,1	0,4	1,1	0,5	4,0	11,7	22,3	2374
1030					0,1	0,3	1,1	0,3	3,7	11,0	21,5	2375
1100				0	0,1	0,2	0,9	0,3	3,6	10,2	20,8	2375
1130				0,1	0,3	0,4	1,1	0,5	3,3	10,4	19,9	2375
1200				0	0,3	0,4	1,3	0,5	3,4	9,9	19,7	2375
1230					0,3	0,3	1,2	0,3	3,5	9,7	19,1	2376
1300				0	0,3	0,3	1,5	0,3	4,0	10,2	19,6	2376
1330		0	0	0,1	0,4	0,5	1,4	0,5	4,3	10,3	20,0	2375
1400				0,1	0,3	0,5	2,0	0,5	4,9	10,7	20,3	2374
1430					0,4	0,6	2,1	1,0	5,5	12,3	22,3	2375
1500					0,4	0,6	2,8	1,1	5,8	12,1	22,9	2376
1530					0,4	0,8	2,9	1,2	6,1	13,1	23,8	2376
1600					0,5	0,8	3,1	1,5	6,6	13,0	24,4	2375
1630					0,9	1,3	3,6	2,0	6,6	13,3	26,1	2373
1700					0,9	1,2	3,8	2,1	7,1	13,6	26,1	2376
1730				0,1	1,1	1,5	3,8	2,3	7,7	14,2	26,9	2376
1800				0,2	1,3	1,6	4,2	2,4	7,9	14,6	28,0	2376
1830				0,3	1,6	1,8	4,3	2,6	7,8	15,1	28,9	2375
1900			0	0,3	1,8	2,2	4,7	2,8	8,7	15,8	29,7	2376
1930				0,2	1,8	2,1	5,4	3,0	9,3	16,9	30,6	2376
2000				0,3	1,9	2,3	5,4	3,1	9,2	16,6	31,2	2376
2030				0,3	2,0	2,4	5,7	3,4	10,0	17,6	32,4	2376
2100				0,2	2,1	2,9	5,9	4,0	10,5	18,3	33,0	2376
2130				0,3	1,9	2,5	6,3	4,0	10,9	19,3	34,1	2376
2200				0,3	2,2	2,8	6,7	4,1	11,9	20,0	35,0	2376
2230				0,3	2,5	3,0	7,0	4,4	11,7	20,1	35,3	2376
2300				0,2	2,6	3,3	7,7	5,1	12,2	21,0	36,2	2376
2330				0,3	2,5	3,2	7,6	5,2	12,9	21,5	37,8	2375
Итого		0	0,1	0,5	1,8	2,2	5,0	3,0	9,1	17,0	30,3	114004

В 30.1% случаев непрерывная продолжительность не превышает 1 часа, в 32.0% случаев – 1-3 часа, в 21.4% случаев –3-6 часов и в 3% случаев продолжительность составляет 12-24 часа (таблица 2.14).

Таблица 2.14 – Повторяемость, %, непрерывной продолжительности сочетаний видимости на ВПП и/или высоты нижней границы облаков. Видимость на ВПП <800 м и/или высота нижней границы облаков <60 м

Месяц	Продолжительность, ч							Среднее число периодов	Средняя продолжительность	Макс. продолжительность
	<=1	1-3	3-6	6-12	12-18	18-24	>24			
Январь	45,1	23,2	15,9	13,4	2,4			11,7	3,2	16,0
Февраль	24,7	31,2	22,1	18,2	3,9			11,0	4,3	18,0
Март	19,6	33,3	29,4	17,6				7,3	3,8	10,0
Апрель	20,0	50,0	20,0	10,0				2,9	3,2	8,0
Май	41,2	35,3	5,9	17,6				2,4	2,8	8,0
Июнь	57,1	28,6	14,3					1,0	1,7	4,0
Июль	50,0		25,0	25,0				0,6	4,0	8,0
Август	25,0	75,0						0,6	1,8	2,0
Сентябрь	15,4	61,5	15,4	7,7				1,9	2,9	7,0
Октябрь	19,4	40,3	29,0	6,5	4,8			8,9	3,6	15,0
Ноябрь	32,3	33,3	16,1	14,0	4,3			13,3	3,8	14,0
Декабрь	31,5	25,2	26,1	13,5	1,8	1,8		15,9	4,0	20,0
Год	30,1	32,0	21,4	13,5	2,6	0,4		77,3	3,7	20,0

Повторяемость условий ниже минимума I категории ИКАО (<RVR 550x60м) составляет в среднем за год 2052.1 (1.8%) случаев; максимальная непрерывная продолжительность таких условий наблюдается в декабре и составляет 19 часов.

Средняя годовая непрерывная продолжительность составляет 3.2 часа. В 32.5% случаев непрерывная продолжительность не превышает 1 часа, в 33.6% случаев – 1-3 часа, в 22.5% случаев -3-6 часов, и в 1.7% случаев

продолжительность составляет 12-24 часа (таблица 2.15).

Повторяемость условий ниже минимума II категории ИКАО (<RVR 350x60м) составляет в среднем за год 570.0 (0.5%) случаев; максимальная непрерывная продолжительность таких условий наблюдается в декабре и составляет 8 часов.

Таблица 2.15 – Повторяемость, %, непрерывной продолжительности сочетаний видимости на ВПП и/или высоты нижней границы облаков. Видимость на ВПП <550 м и/или высота нижней границы облаков <60 м

Месяц	Продолжительность, ч							Среднее число периодов	Средняя продолжительность	Макс. продолжительность
	<=1	1-3	3-6	6-12	12-18	18-24	>24			
Январь	50,0	24,4	14,1	11,5				11,1	2,7	10,0
Февраль	31,3	31,3	25,3	10,8	1,2			11,9	3,3	17,0
Март	23,1	34,6	32,7	9,6				7,4	3,4	10,0
Апрель	11,1	66,7	16,7	5,6				2,6	3,1	8,0
Май	43,8	37,5	12,5	6,3				2,3	2,5	8,0
Июнь	60,0	20,0	20,0					0,7	1,8	4,0
Июль	50,0		25,0	25,0				0,6	4,0	8,0
Август	25,0	75,0						0,6	1,8	2,0
Сентябрь	9,1	63,6	18,2	9,1				1,6	3,1	7,0
Октябрь	21,3	39,3	32,8	3,3	3,3			8,7	3,4	13,0
Ноябрь	36,1	34,0	16,5	11,3	2,1			13,9	3,2	13,0
Декабрь	30,8	28,8	25,0	11,5	2,9	1,0		14,9	3,7	19,0
Год	32,5	33,6	22,5	9,8	1,5	0,2		76,1	3,2	19,0

Средняя годовая непрерывная продолжительность составляет 2,5 часа. В 35.8% случаев непрерывная продолжительность не превышает 1 часа, в 40.6% случаев – 1-3 часа, в 20.8% случаев -3-6 часов, и продолжительностью свыше 12 часов случаев не отмечалось (таблица 2.16).

Большинство случаев ухудшений метеорологической дальности видимости (VIS) и нижней границы облаков менее 800х60м отмечались при слабом ветре со скоростью 0-5м/с (84.3%), при этом в 38.1% случаев направление ветра было восточное и в 17.7% случаев – западное. При скорости ветра 6-10м/с в 13.6% случаев направление ветра было восточное и в 0.5% случаев – западное.

При ветре 11-15 м/с сложные условия чаще отмечались при восточном направлении ветра; при скорости ветра >15м/с сложные условия отслеживаются при западном ветре, максимальное число случаев в июне – 7 случаев (таблица 2.5).

Таблица 2.16 – Повторяемость, %, непрерывной продолжительности сочетаний видимости на ВПП и/или высоты нижней границы облаков. Видимость на ВПП <350 м и/или высота нижней границы облаков <30 м

Месяц	Продолжительность, ч							Среднее число периодов	Средняя продолжительность	Макс. продолжительность
	<=1	1-3	3-6	6-12	12-18	18-24	>24			
Январь	25,0	50,0	18,8	6,3				2,3	2,8	8,0
Февраль	40,0	32,0	28,0					3,6	2,6	6,0
Март	29,6	44,4	22,2	3,7				3,9	2,6	7,0
Апрель	18,2	54,5	27,3					1,6	2,6	5,0
Май	54,5	36,4	9,1					1,6	1,7	5,0
Июнь	66,7	33,3						0,4	1,7	3,0
Июль	33,3	33,3		33,3				0,4	3,7	7,0
Август	100,0							0,4	1,0	1,0
Сентябрь	57,1	42,9						1,0	1,6	3,0
Октябрь	32,4	43,2	24,3					5,3	2,4	6,0
Ноябрь	34,4	43,8	21,9					4,6	2,4	6,0
Декабрь	35,1	35,1	21,6	8,1				5,3	2,8	8,0
Год	35,8	40,6	20,8	2,8				30,3	2,5	8,0

Чаще всего ухудшение метеорологической дальности видимости (VIS) и нижней границы облаков менее 400х30м отмечались при слабом ветре со скоростью 0-5м/с (95.9%), при этом в 24.0% случаев направление ветра было восточное и в 30.9% случаев – западное.

При скорости ветра 6-10м/с в 3.2% случаев направление ветра было восточное и в 0.3% случаев – западное.

При ветре 11-15 м/с и более сложные условия практически не отмечались (0.4%) (таблица 2.5).

На конденсационные процессы и, как следствие, образование туманов и низкой облачности большое влияние оказывает рельеф местности в районе Минеральных Вод.

При восточных ветрах происходит адвекция теплого влажного воздуха с района Каспийского моря, при взаимодействии с холодной поверхностью, приземный слой воздуха охлаждается, приближаясь к состоянию насыщения.

Дополнительное охлаждение воздух получает за счет вынужденного подъема на высоту 350м при движении от Каспийского моря до Минеральных Вод.

При устойчивых западных потоках воздух, наоборот, при опускании нагревается, удаляясь от состояния насыщения.

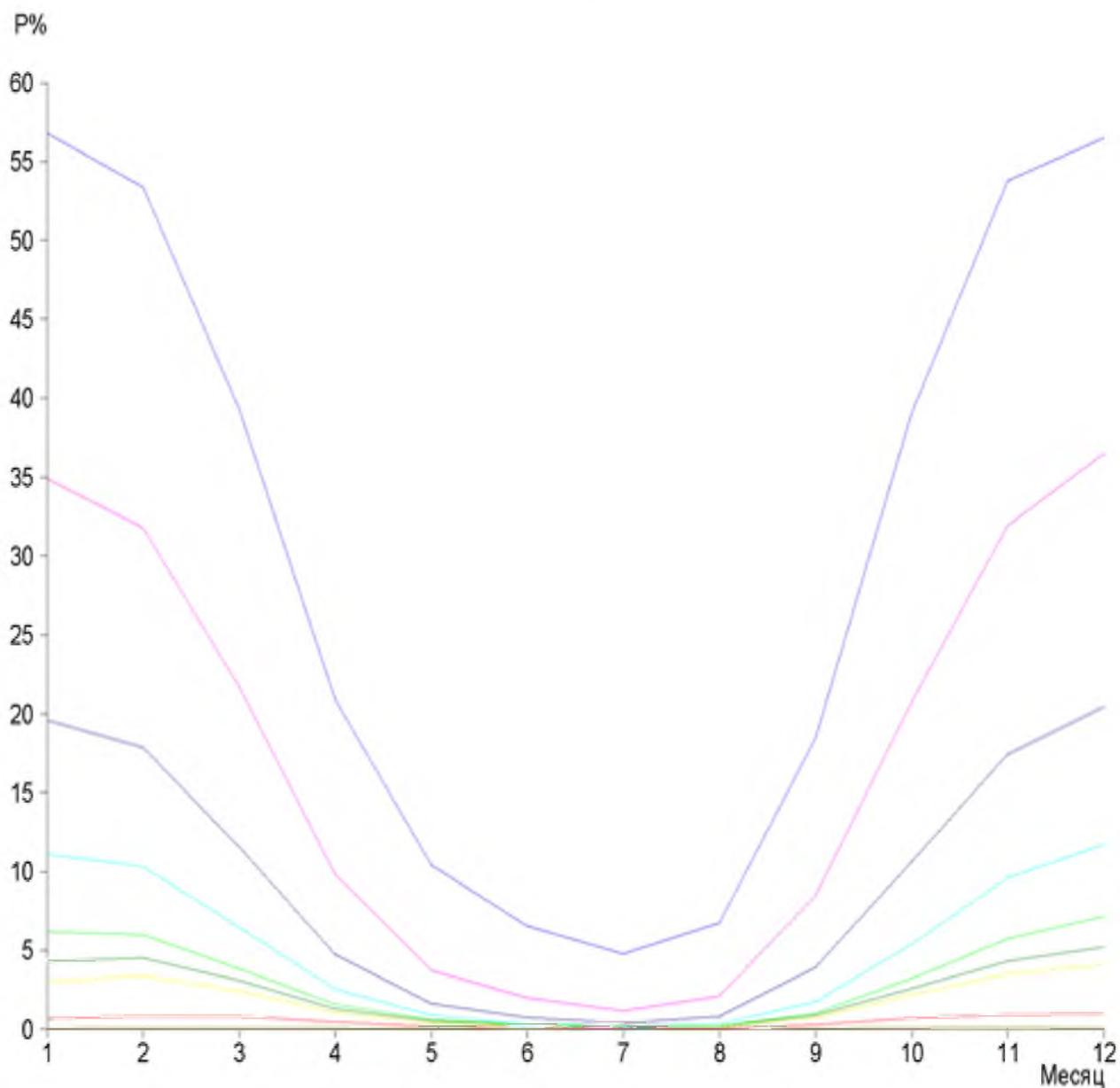
Однако при очень слабом западном ветре 1-3м/с, когда облачность полностью рассеивается, отмечается резкое радиационное выхолаживание приземного слоя воздуха, могут наблюдаться радиационные туманы.

Минимальные значения горизонтальной и вертикальной видимости в Минеральных Водах отмечаются при радиационных туманах, которые чаще всего наблюдаются при западном ветре.

Этим объясняется тот факт, что наиболее сложные (условия ухудшение метеорологической дальности видимости (VIS) и нижней границы облаков менее 400х30м) отмечаются при слабых западных ветрах в радиационных туманах (таблица 2.5).

На рисунках 2.4–2.7 представлены суточный и годовой ход

повторяемости условий погоды различной сложности.



- RVR<50
- RVR<150
- RVR<200
- RVR<350 ВНГО<30
- RVR<550 ВНГО<60
- RVR<800 ВНГО<60
- RVR<1500 ВНГО<90
- VI S<800 ВНГО<60
- VI S<1500 ВНГО<150
- VI S<3000 ВНГО<300
- VI S<8000 ВНГО<600

Рисунок 2.4 – Годовой ход повторяемости, %, условий погоды различной степени сложности

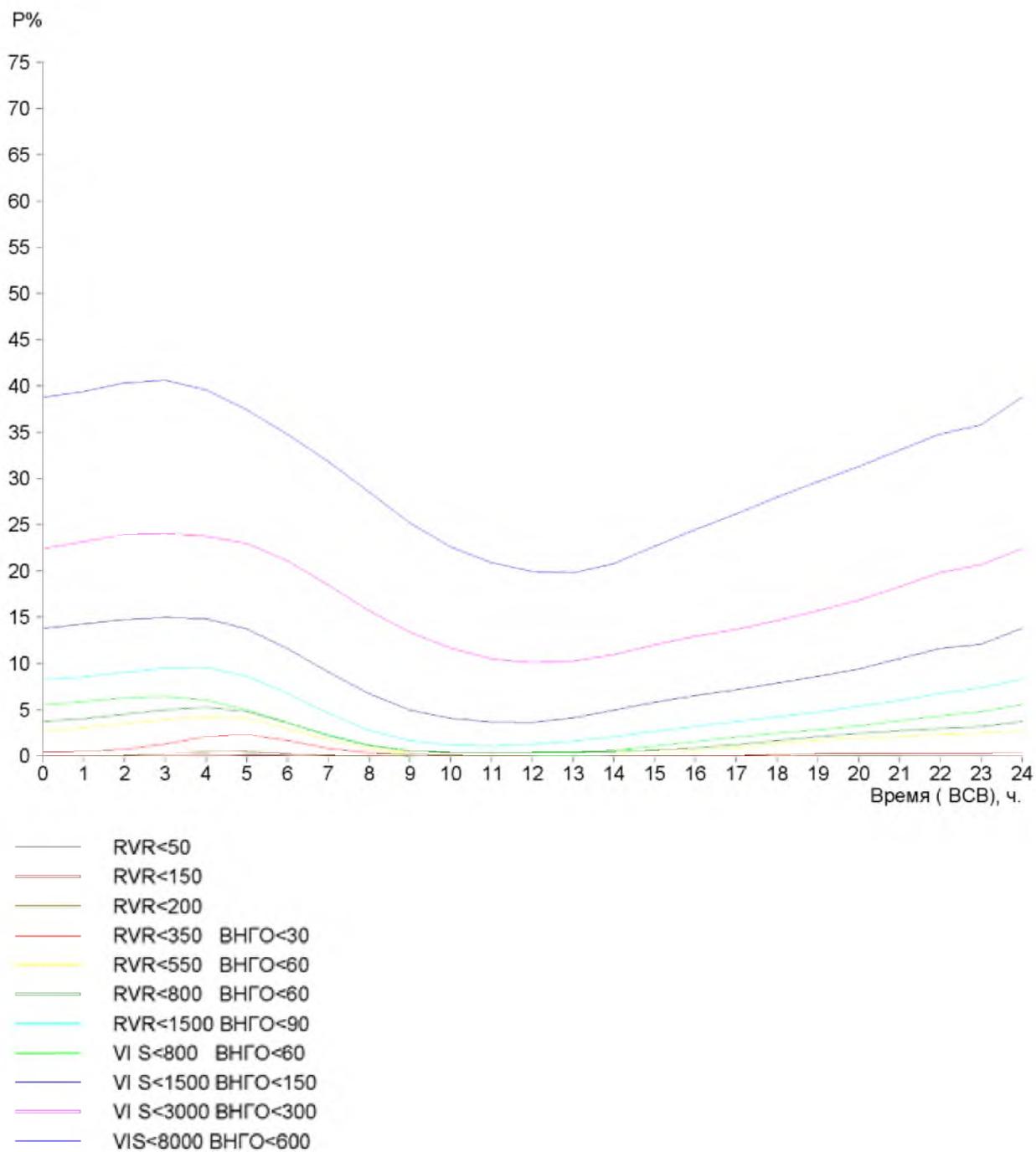


Рисунок 2.5 – Суточный ход повторяемости, %, условий погоды различной степени сложности

Сложные условия погоды (<350х60м, <550х60м, <800х60м) имеют максимальную повторяемость в период с ноября по март, чаще всего наблюдаются в декабре. В суточно-годовом ходе повторяемости условий погоды (<350х60м, <550х60м, <800х60м) максимум приходится на 4-5 часов, минимум на 10-11 часов (рисунки 2.6-2.7). Это связано с суточным ходом

температуры и влажности.

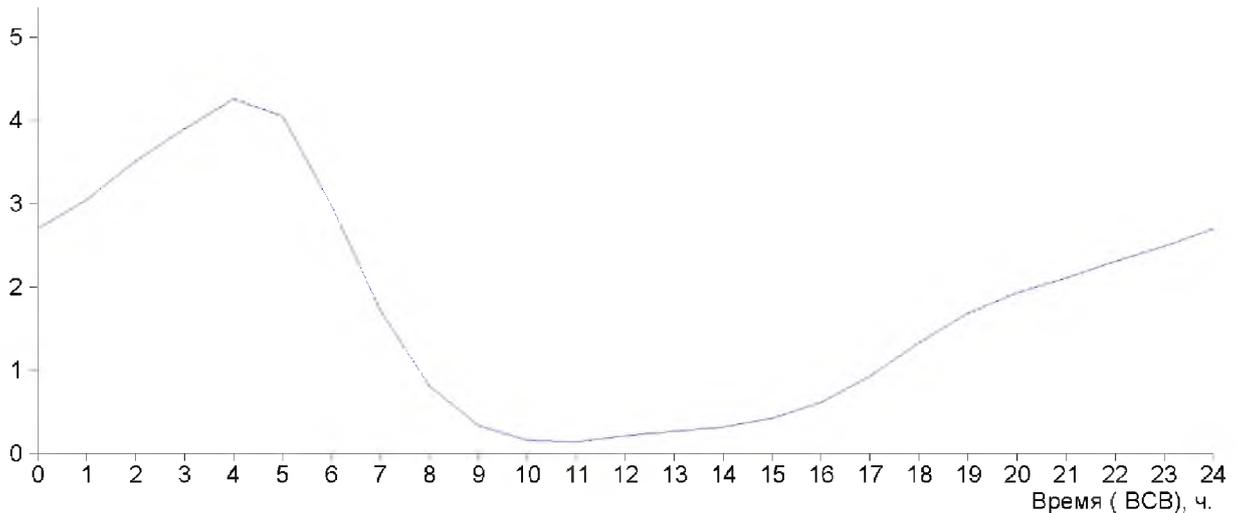


Рисунок 2.6 – Суточно-годовой ход повторяемости, %, сочетания видимости на ВПП <550 м и/или высоты нижней границы облаков <60 м

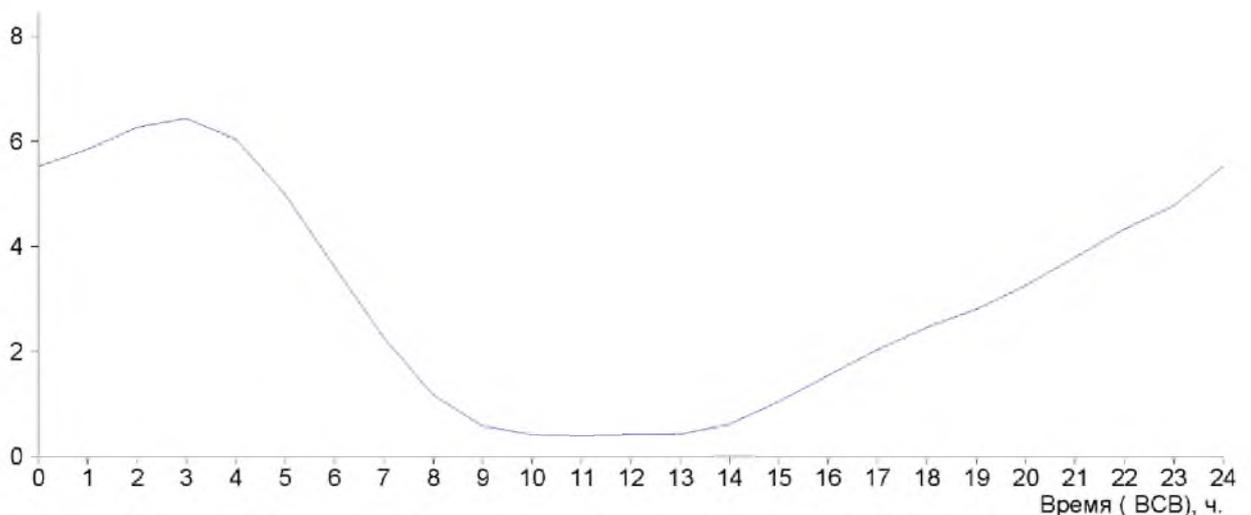


Рисунок 2.7 – Суточно-годовой ход повторяемости, %, сочетания видимости на ВПП <800 м и/или высоты нижней границы облаков <60 м

В утренние часы из-за радиационного выхолаживания приземный слой воздуха охлаждается, приближаясь к состоянию насыщения, влажность при этом имеет максимальные значения, и, как следствие, ухудшается видимость и понижается облачность. В полуденные часы из-за радиационного прогрева приземного слоя воздуха влажность понижается, видимость улучшается, и нижняя граница облаков поднимается.

3 Анализ методов прогноза тумана на АМСГ-I Минеральные Воды

3.1 Характеристика выпускаемых прогнозов погоды, формат, сроки выпуска и период действия прогнозов

Синоптическая группа АМСГ-I Минеральные Воды составляются следующие виды прогнозов по аэродрому Минеральные Воды (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Виды прогнозов по АМСГ-I Минеральные Воды

Вид прогноза	Формат	Сроки выпуска	Период действия
Прогноз по аэродрому Минеральные Воды	TAF	02.00	0303
		05.00	0606
		08.00	0909
		11.00	1212
		14.00	1515
		17.00	1818
		20.00	2121
23.00	0024		
Прогноз для посадки по аэродрому Минеральные Воды	TREND	Круглосуточно каждые 30 минут и при необходимости	2 часа
Прогноз для взлета на аэродроме Минеральные Воды	Открытым текстом	Круглосуточно (по запросу).	3 часа

При подготовке прогнозов синоптики используют и сопоставляют весь имеющийся фактический и прогностический материал. Комплексный подход к анализу разнородной метеорологической информации – один из важнейших методологических принципов ее экспертной оценки и интерпретации [24].

В связи с изменчивостью метеорологических элементов во времени и в пространстве, а также ввиду несовершенства методики прогнозирования и определения некоторых элементов погоды, значение любого указанного в прогнозе элемента рассматривается как наиболее вероятное. Время возникновения какого-либо явления или изменения элемента погоды рассматривается как наиболее вероятное время.[23]

Прогнозы по аэродрому Минеральные Воды составляются в формате кода TAF в соответствии с «Инструктивным материалом по кодам METAR, SPECI, TAF», с 2015 г. каждые 3 часа, начиная с 00 часов ВСВ, на период 24 часа, с

заблаговременностью 1 час до начала действия. При необходимости составляется корректив прогноза по аэродрому – TAFAMD, а при необходимости исправления механической ошибки в прогнозе – TAFCOR. Выпуск нового прогноза означает, что всякий ранее выпущенный прогноз автоматически аннулируется.

Прогноз по аэродрому, в пределах до 8 км от КТА, состоит из краткого сообщения об ожидаемых метеорологических условиях на аэродроме [16]. Длина текста прогноза и количество указанных в нем изменений сводится к минимуму.

Основным средством составления и передачи прогнозов по аэродрому TAF, TAF AMD, TAF COR является АИС «МетеоСенс». Резервным способом передачи прогнозов по аэродрому TAF, TAF AMD, TAF COR является «Web-страница UniMas» Северо-Кавказского филиала ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета».

Порядок следования элементов в прогнозах TAF, TAF AMD, TAFCOR:

- группы идентификации –URMM, время составления прогноза, период действия прогноза;
- приземный ветер относительно истинного меридиана;
- видимость;
- явления погоды;
- облачность;
- температура воздуха (максимальная и минимальная) на период прогноза;
- ожидаемые значительные изменения одного или нескольких из этих элементов в течение периода действия с использованием терминов (групп изменений) TEMPO, BECMG, FM [21].

Аэродром Минеральные Воды – горный аэродром, так как он расположен на местности с пересеченным рельефом и относительными превышениями 500 м и более в радиусе 25 км от КТА. В прогнозах кодом TAF на горном аэродроме термин CAVOK не используется.

Синоптик-прогнозист-1 осуществляет постоянный мониторинг

оправдываемости прогнозов и, по мере необходимости, незамедлительно вносит в прогнозы соответствующие коррективы [18, с. 114]. Скорректированный прогноз TAF обозначается TAF AMD и распространяется на весь оставшийся период действия первоначального прогноза TAF.

Необходимость внесения коррективов в прогнозы, а также включения групп изменений, определяется следующими критериями для видимости:

- в соответствии с прогнозом видимость будет улучшаться и достигнет или превысит, или будет ухудшаться и станет менее одного или нескольких указанных значений: – 150, 350, 600, 800, 1500, 5000 м;
- прогнозируется начало, или прекращение, или изменение интенсивности любого из следующих явлений погоды или их сочетаний: замерзающий туман, пыльная буря, песчаная буря;
- прогнозируется начало или прекращение одного или нескольких (максимум трех) из следующих явлений погоды или сочетаний с ними:
 - пыльный, песчаный или снежный поземок;
 - пыльная, песчаная или снежная низовая метель;
- в соответствии с прогнозом высота нижней границы нижнего слоя облаков BKN или OVC увеличивается и достигает или превышает, или уменьшается и становится менее одного или нескольких из следующих значений: 30, 60, 150, 300, 450 м;
- в соответствии с прогнозом количество облаков в слое ниже 450 м изменяется: от NSC, FEW, SCT до BKN или OVC; от OVC, BKN, SCT до FEW или NSC;
- в соответствии с прогнозом вертикальная видимость улучшается, достигает или превышает, или ухудшается и становится менее одного из следующих значений: 30, 60, 150 м.

В прогнозе TAF указывается преобладающая видимость. Когда прогнозировать преобладающую видимость не представляется возможным, то сообщается минимальная прогнозируемая видимость.

Прогноз для посадки TREND составляется в соответствии с

«Инструктивным материалом по кодам METAR, SPECI, TAF», с 2015 г. и состоит из краткого изложения ожидаемых значительных изменений метеорологических условий на данном аэродроме, прилагаемого к сводке METAR или SPECI. Прогноз для посадки включается в местную сводку погоды (сводку для ATIS) и отображается на АИС «МетеоДисплей» [20].

Прогноз для посадки TREND составляется каждые 30 минут, при необходимости – в любое время и предназначен для местных пользователей и воздушных судов, находящихся в пределах 1 часа полетного времени от аэродрома. Период действия прогноза TREND составляет 2 часа со времени, на которое составлена сводка, являющаяся частью прогноза для посадки.

Основным средством составления и передачи прогнозов для посадки TREND является АИС «МетеоСенс». Резервным способом передачи синоптиком прогнозистом-1 прогнозов для посадки TREND техникам-метеорологам является телефон или ГГС [25].

В прогнозе TREND указываются значительные изменения одного или нескольких следующих элементов: приземного ветра, видимости, явлений погоды и облачности. Включаются только те элементы, которые, как ожидается, будут в значительной степени изменяться. Однако в случае значительных изменений облачности указываются все группы облачности, включая слои или массивы, изменения которых не ожидается [12, с. 34]. В случае значительного изменения видимости также указывается явление, вызвавшее это изменение.

В тех случаях, когда ожидается изменение элементов, для группы используется один из указателей изменения: BECMG или TEMPO.

Когда не ожидается значительных изменений элементов погоды, требующих их указания с использованием BECMG или TEMPO, используется сокращение NOSIG.

Включение метеорологических элементов в прогноз для посадки TREND определяется следующими критериями:

Указываются изменения видимости в тех случаях, когда ожидается, что

видимость будет улучшаться и достигнет или превысит, или будет ухудшаться и станет менее одного или нескольких указанных значений: 150, 350, 600, 800, 1500, 5000 м.

В прогнозах TREND, прилагаемых к сводкам METAR и SPECI, видимость соответствует прогнозируемой преобладающей видимости.

Указываются явления, когда прогнозируются:

- ожидаемое начало или прекращение одного или нескольких (максимум трех) из следующих явлений погоды или их сочетаний: замерзающий туман; пыльный, песчаный или снежный поземок; пыльная, песчаная или снежная низовая метель;
- ожидаемое прекращение особых явлений погоды указывается с помощью сокращения NSW.

Указываются изменения нижней границы облаков в следующих случаях:

- когда ожидается, что высота нижней границы нижнего слоя облаков SCT, BKN или OVC увеличивается и достигает или превышает, или уменьшается и становится менее одного или нескольких из следующих значений: 30, 60, 150, 300, 450 м;
- от NSC, FEW, SCT до BKN или OVC;
- от OVC, BKN до SCT, FEW или NSC;
- вертикальная видимость улучшается, достигает или превышает, или ухудшается и становится менее одного из следующих значений: 30, 60, 150 м.

Сокращение NSC используется в тех случаях, когда по прогнозу отсутствуют облака 2000 метров и ниже, а также кучево-дождевые и мощные кучевые облака [30, с. 216].

Прогнозы для взлета выпускаются по запросу эксплуатанта или членов летного экипажа, и предоставляется в течение трех часов до ожидаемого времени вылета.

Прогноз для взлета относится к определенному периоду времени и содержит информацию об ожидаемых метеорологических условиях в районе

ВПП [17, с. 188]. Прогноз для взлета содержит информацию о направлении и скорости приземного ветра, о температуре, давлении (QNH) и о любых других элементах. Порядок следования элементов, терминология, единицы и шкалы, используемые в прогнозах для взлета такие же, как и в местных сводках по аэродрому.

Дежурный синоптик прогнозист-1 осуществляет постоянный контроль за прогнозами для взлета и, по мере необходимости, своевременно выпускает коррективы к ним в соответствии критериям составления местных специальных сводок.

Для полетов воздушных судов на нижних эшелонах полетов (пространство G) используются зональные прогнозы в формате GAMET, которые выпускаются в соответствии с «Инструктивным материалом по прогнозам погоды в формате GAMET» 2015 г.[23]

Зональные прогнозы в формате GAMET выпускаются метеорологическими органами, ответственными за метеорологическое обеспечение полетов воздушных судов ниже эшелона полета FL100 (FL150 или выше в горных районах). Зональные прогнозы используются в качестве прогнозов по вертодромам и посадочным площадкам.

Прогнозы GAMET по зонам 10, 11а, 11б ДПК Владикавказ (период действия 06-12, 12-18) и по зонам 1, 2а, 2б ДПК Грозный (в период работы ДПК Грозный при выполнении функций МДП) выпускаются синоптиком прогнозистом-2 за 1 час до начала действия прогноза. В тех случаях, когда ожидаются значительные изменения погоды, не предусмотренные ранее выпущенным прогнозом, выпускается корректив GAMET AMD. Основным средством составления и передачи прогнозов GAMET является АИС «МетеоСенс» [26]. Резервным способом передачи прогнозов GAMET является «Web-страница UniMas» Северо-Кавказского филиала ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета».

Прогноз GAMET состоит из заголовка сообщения в формате ВМО и метеорологической части прогноза, состоящей из двух разделов. Выпуск

прогноза GAMET AMD или GAMET COR означает, что ранее выпущенный прогноз для того же района и на тот же период действия аннулируется. Прогнозы GAMET, которые не могут постоянно обновляться, аннулируются.

В зоне ответственности МДП Ставрополь и ВМДП Пятигорск прогнозы в формате GAMET и коррективы к ним выпускает АМСГ-II Ставрополь.

АМСГ-I Минеральные Воды выпускает зональные прогнозы GAMET и коррективы к ним в зоне ответственности ДПК Грозный (в период работы ДПК Грозный при выполнении функций МДП).

Территория метеобеспечения условно разделена на 3 зоны: зона 1 – равнинная, зона 2А – горная с рельефом местности ниже 2000 м над уровнем моря, зона 2В – горная с рельефом местности выше 2000 м над уровнем моря.

Зональный прогноз GAMET по зоне ответственности ДПК Грозный содержит следующую информацию:

- заголовок сообщения в формате BMO (FARS53 URMMYYGGgg или FARS54 URMM YYGGgg);
- первая строка содержит: индекс ICAO органа ОВД, идентификатор прогноза – сокращение GAMET и период действия, индекс ICAO метеорологического органа, выпускающего прогнозы (URRVGAMETVALIDYYG₁G₁g₁g₁/YYG₂G₂g₂g₂URMM –);
- вторая строка содержит индекс и соответствующее наименование FIR, и его части (районов, площадей), а также уровень, ниже которого выпускается данный прогноз (URRVROSTOV-NA-DONUFIR/GROZNY 1 BLWFL100 или URRV ROSTOV-NA-DONU FIR/GROZNY 2A 2B BLW FL150);
- метеорологическую часть, состоящую из раздела I и раздела II.

АМСГ-I Минеральные Воды выпускает зональные прогнозы GAMET и коррективы к ним в зоне ответственности ДПК Владикавказ (в период его работы)

Территория метеобеспечения условно разделена на 3 зоны: зона 10 – равнинная, зона 11А – горная с рельефом местности ниже 2000 м над уровнем

моря, зона 11В – горная с рельефом местности выше 2000 м над уровнем моря.

Зональный прогноз GAMET по зоне ответственности ДПК Владикавказ содержит следующую информацию:

- заголовок сообщения в формате BMO (FARS51 URMMYYGGgg или FARS52 URMM YYGGgg);
- первая строка содержит: индекс ICAO органа ОВД, идентификатор прогноза – сокращение GAMET и период действия, индекс ICAO метеорологического органа, выпускающего прогнозы (URRVGAMETVALIDYYG₁G₁ g₁g₁/YYG₂G₂g₂g₂URMM –);
- вторая строка содержит индекс и соответствующее наименование FIR, и его части (районов, площадей), а также уровень, ниже которого выпускается данный прогноз (URRVROSTOV-NA-DONUFIR/VLADIKAVKAZ 10 BLWFL100 или URRV ROSTOV-NA-DONU FIR/VLADIKAVKAZ 11A 11B BLW FL150);
- метеорологическую часть, состоящую из раздела I и раздела II.

3.2 Анализ методов прогноза тумана на АМСГ-I Минеральные Воды и их оправдываемость

На АМСГ-I Минеральные Воды применяют три метода прогноза тумана, с заблаговременностью – 9 часов:

- прогноз адвективных туманов по методу Петренко;
- прогноз адвективных туманов по методу Гоголевой;
- прогноз радиационных туманов по методу Зверева.

Метод Зверева используется для расчета радиационных туманов при следующих условиях [4]:

- в момент захода Солнца наблюдается влажность $\geq 60\%$,
- прогнозируется малооблачная погода (менее 5 баллов) в течение ночи,
- прогнозируемая скорость ветра не более 3 м/с.

Расчетные формулы:

$$T_{\text{тум}} = T_{\text{d}_{\text{зах}}} - \delta\tau + \delta\tau' \quad (3.1)$$

$$T_{\text{мин}} = T_{\text{зах}} - \Delta T - \Delta T_{\text{мест}} \quad (3.2)$$

где, $\Delta T = \Delta T' \cdot m$ [14, с. 116]

Температуру туманообразования ($T_{\text{тум}}$) рассчитываем по значению температуры точки росы в момент захода Солнца с учетом добавочного охлаждения ($\delta\tau$), определяемого при помощи графика № 1 (рисунок 3.1) и введем ($\delta\tau'$) зависимой от количества облачности и скорости ветра, которую получаем из графика № 2 (рисунок 3.2) [27].

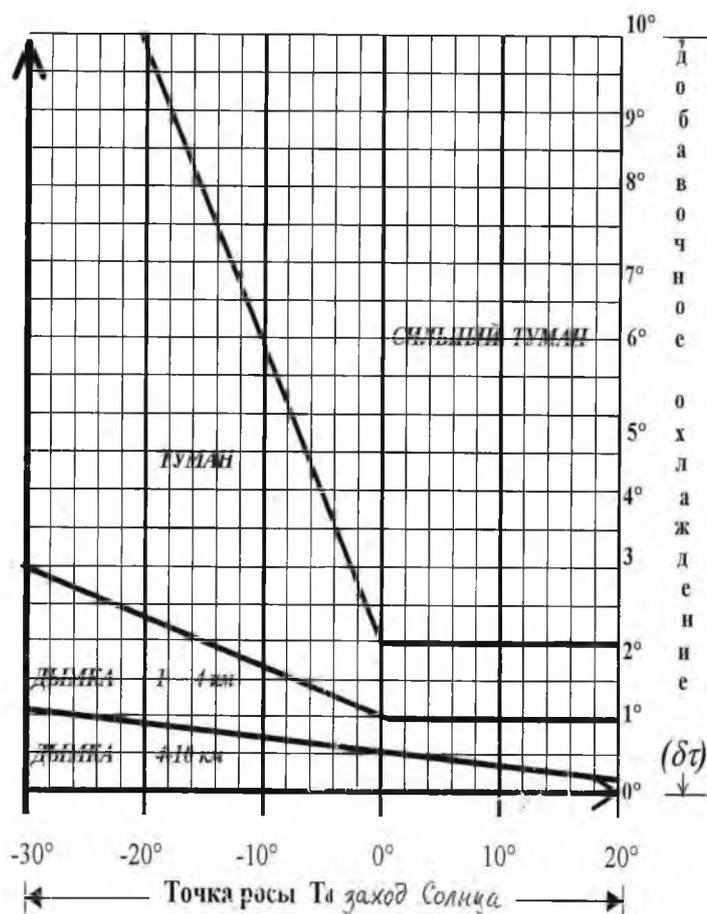


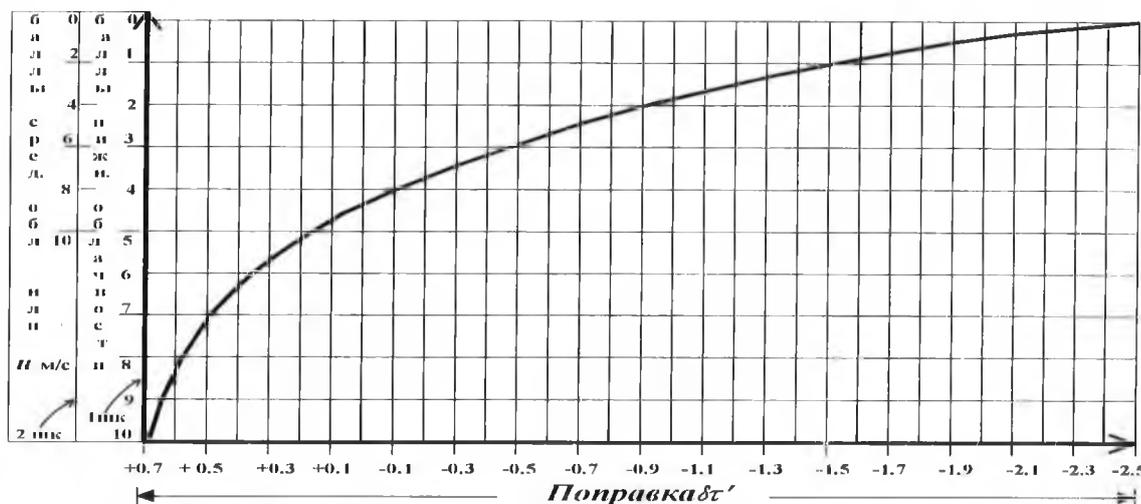
Рисунок 3.1 – График 1

При сплошной облачности нижнего яруса $\delta\tau' = + 0,7$.

При ясной и тихой погоде $\delta\tau' = - 2,5$.

Определяем минимальную температуру воздуха по разности значений

температуры воздуха и температуры точки росы в момент захода солнца ($T-T_d$) и по прогнозируемой скорости ветра на ночь.



При прогнозе облачности нижнего яруса используем 1-ую шкалу. Если на ночь прогнозируется облачность среднего яруса, то используем 2-ую шкалу, причем берем большее значение из величин: скорости ветра или балла средней облачности.

Рисунок 3.2 – График 2. Определение поправки к температуре туманообразования

При помощи графика № 3 определяем предварительное понижение температуры воздуха $\Delta T'$ (рисунок 3.3).

Умножаем полученное значение $\Delta T'$ на коэффициент m , зависящий от количества и яруса облачности (найденный по графику № 3, рисунок 3.3), получим ожидаемое понижение температуры ΔT , находим по таблице № 1 добавочную поправку на местные условия $\Delta T_{\text{мест}}$, для получения минимальной температуры воздуха $T_{\text{мин}}$, из значения температуры в момент захода Солнца $T_{\text{зах}}$ вычитаем значения поправок ΔT и $\Delta T'$ [27].

Сравнивая величины $T_{\text{тум}}$ и $T_{\text{мин}}$, делаем заключение о возможности образования тумана.

Прогноз адвективного тумана и ВНГО методом Гоголевой.

Прогнозируем направление и скорость ветра.

Определяем траекторию воздушной частицы (отрезок пути ΔS) по таблице (рассчитывается автоматически в электронном журнале).

На кольцовке определяем начальную точку переноса.

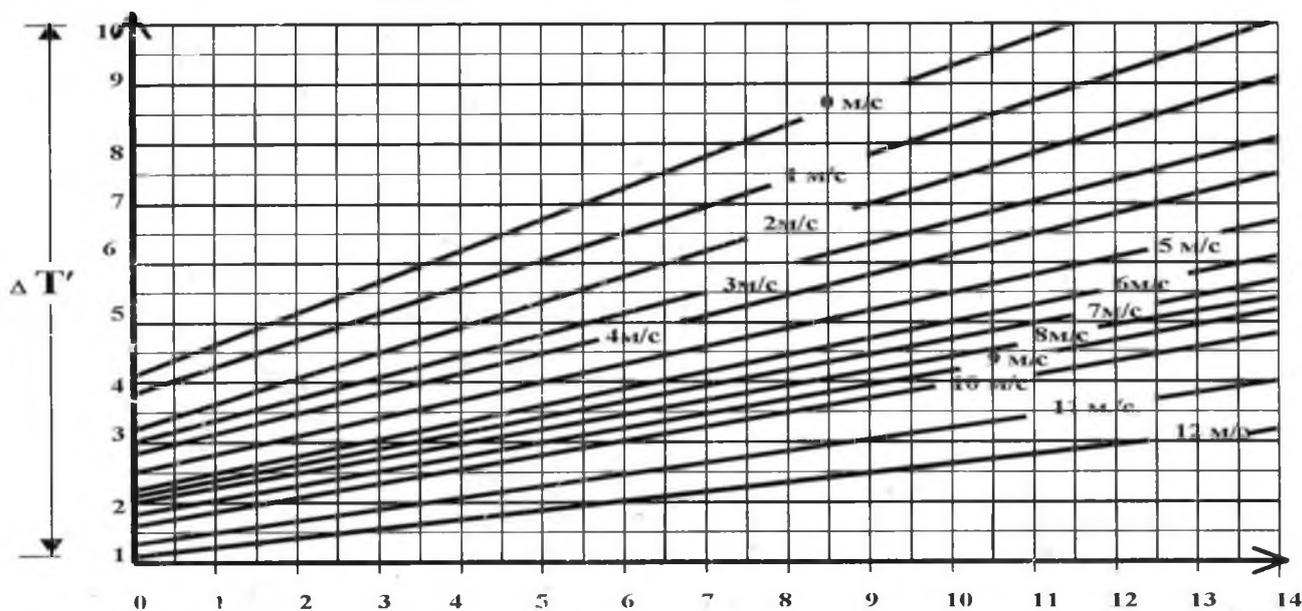


Рисунок 3.3 – График 3. Определение коэффициента, зависящего от количества и яруса облачности – m

В начальной точке переноса на кольцовке берем среднее значение температуры и точки росы по данным 3 – 5 ближайших к этой точке станций (T' и Td'). Если дефицит притекающей воздушной массы более 4 градусов, расчет не производим. Записываем значения температуры и температуры точки росы в Минеральных Водах за срок кольцовки по которой ведется расчет.

По графику по значениям Td' и T определяем прогноз тумана и низкой облачности. Результат записываем в журнал (рассчитывается автоматически в электронном журнале).

Прогноз адвективного тумана и ВНГО методом Петренко.

Прогнозируем направление и скорость ветра.

Определяем траекторию воздушной частицы (отрезок пути ΔS) по таблице 3.2 (рассчитывается автоматически в электронном журнале).

Таблица 3.2 – Траектория воздушной частицы (отрезок пути ΔS), пересчитанная к масштабу кольцовки в 1 см – 34 км

Прогноз скорости ветра в м/с	Скорость ветра в км/ч	Путь в км	Пересчет S к масштабу кольцовки в см
3	11	97	2.9
4	14	130	3.8

Продолжение таблицы 3.2

5	18	162	4.8
6	22	198	5.8
7	25	225	6.6
8	29	261	7.8
9	32	288	8.7
10	36	324	9.5
11	40	360	10.6
12	43	387	11.4
13	47	423	12.4
14	50	450	13.2
15	54	486	14.3
16	58	522	15.3
17	61	549	16.1
18	65	585	17.2
19	68	612	18
20	72	648	19.1
21	76	684	20.1

На кольцовке определяем начальную точку переноса.

В начальной точке переноса на кольцовке берем среднее значение температуры и точки росы по данным 3-5 ближайших к этой точке станций (T' и Td') и определяем дефицит притекающей воздушной массы: (рассчитывается автоматически в электронном журнале)

$$\Delta T' = T' - Td' \quad (3.3)$$

Если дефицит притекающей воздушной массы более 4 градусов, расчет не производим.

Записываем значения температуры и температуры точки росы в Минеральных Водах за срок кольцовки, по которой ведется расчет.

Определяем горизонтальный градиент температуры в градусах на 100 км (таблица 3.3) (рассчитывается автоматически в электронном журнале).

Определяем разность точек росы в начальном и конечном пунктах

(рассчитывается автоматически в электронном журнале).

Таблица 3.3 – Траектория воздушной частицы (отрезок пути ΔS), пересчитанная к масштабу кольцовки в 1 см – 34км

Прогноз скорости ветра в м/с	Скорость ветра в км/ч	Путь в км	Пересчет S к масштабу кольцовки в см
3	11	97	2.9
4	14	130	3.8
5	18	162	4.8
6	22	198	5.8
7	25	225	6.6
8	29	261	7.8
9	32	288	8.7
10	36	324	9.5
11	40	360	10.6
12	43	387	11.4
13	47	423	12.4
14	50	450	13.2
15	54	486	14.3
16	58	522	15.3
17	61	549	16.1
18	65	585	17.2
19	68	612	18
20	72	648	19.1

Определяем горизонтальный градиент температуры точки росы в градусах на 100 км (рассчитывается автоматически в электронном журнале) [27].

По графику определяем вероятность образования тумана и низкой облачности (рисунок 3.4).

Если попадаем в зону без тумана, в журнал записываем без тумана, без низкой облачности.

Если попадаем в зону тумана, то продолжаем расчет.

По графику определяем будет туман и низкая облачность или низкая облачность без тумана. Результат записываем в журнал.

I – при адвекции тепла (положительные значения $\Delta T/\Delta S$).

II – при адвекции холода (отрицательные значения $\Delta T/\Delta S$).



Рисунок 3.4 – Расчет тумана и низкой облачности по величине горизонтального градиента температуры и скорости ветра

Прогноз тумана и низкой облачности по величине горизонтального градиента температуры воздуха находится по рисунку 3.5 [23].

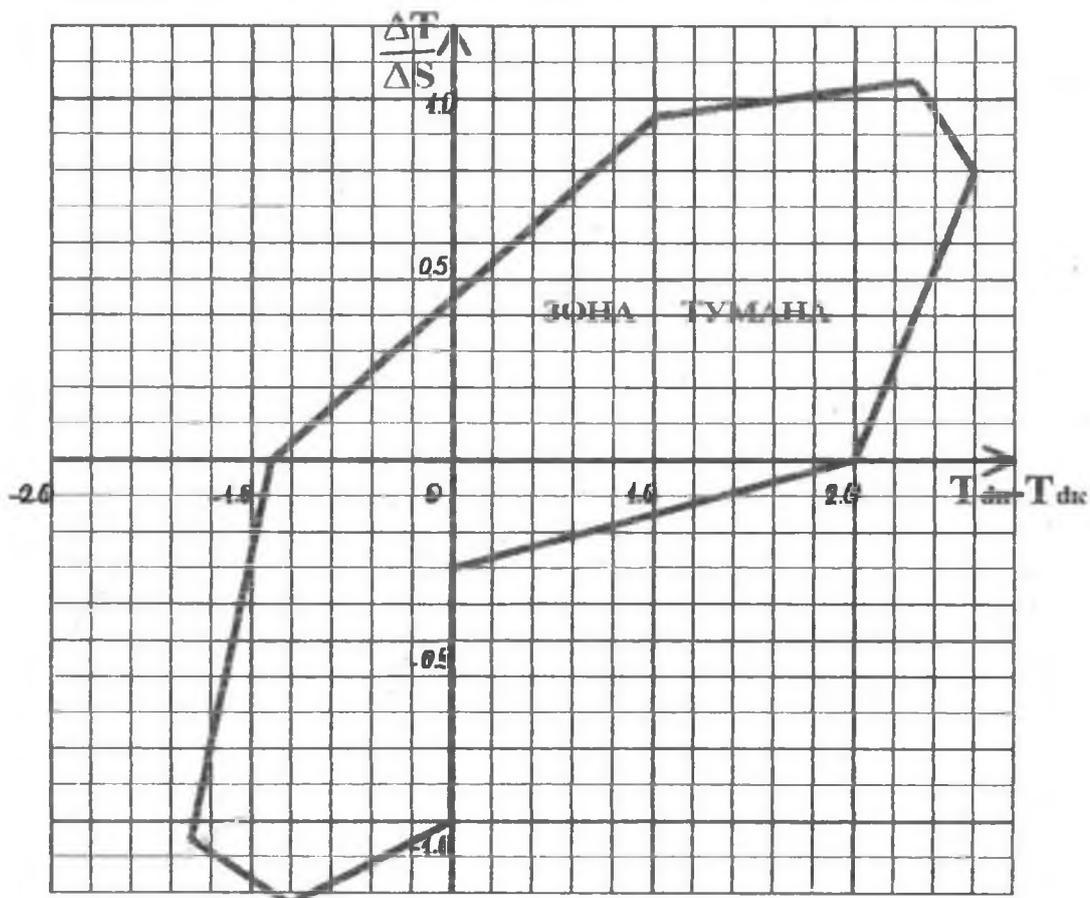


Рисунок 3.5 – Прогноз тумана и низкой облачности по величине горизонтального градиента температуры воздуха

Рассмотрим основные сведения о средней оправдываемости расчетных методов прогноза тумана за период 2017-2021 года в АМСГ-I Минеральные Воды (таблица 3.4-3.8).

Определение адвективных туманов по методу Петренко в 2017 и 2018 годах не проводилось.

Таблица 3.4 – Сведения о средней оправдываемости расчетных методов прогноза тумана за период 2017 год в АМСГ-I Минеральные Воды

Методы прогноза метеозлементов и явлений погоды	Оправдываемость прогноза									Предупрежденность явления, Пя (%) $n1/(n1+(N2-n2))$
	Общая			С явлением			Без явления			
	Число прогнозов, N	Число опр., n	P, %	Число прогнозов, N 1	Число опр., n 1	P 1, %	Число прогнозов, N 2	Число опр., n 2	P 2, %	
Адвективный туман (Петренко)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Адвективный туман (Гоголевой)	481	373	78	172	85	49	309	288	93	80
Радиационный туман (Зверева)	58	47	81	41	30	73	17	17	100	100

Таблица 3.5 – Сведения о средней оправдываемости расчетных методов прогноза тумана за период 2018 год в АМСГ-I Минеральные Воды

Методы прогноза метеозлементов и явлений погоды	Оправдываемость прогноза									Предупрежденность явления, Пя (%) $n1/(n1+(N2-n2))$
	Общая			С явлением			Без явления			
	Число прогнозов, N	Число опр., n	P, %	Число прогнозов, N 1	Число опр., n 1	P 1, %	Число прогнозов, N 2	Число опр., n 2	P 2, %	
Адвективный туман (Петренко)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Адвективный туман (Гоголевой)	561	425	76	234	112	48	327	313	96	89
Радиационный туман (Зверева)	33	32	97	20	19	95	13	13	100	100

Таблица 3.6 – Сведения о средней оправдываемости расчетных методов прогноза тумана за период 2019 годв АМСГ-I Минеральные Воды

Методы прогноза метеозлементов и явлений погоды	Оправдываемость прогноза									Предупрежденность явления, Пя (%) $n1/(n1+(N2-n2))$
	Общая			С явлением			Без явления			
	Число прогнозов, N	Число опр., n	P, %	Число прогнозов, N 1	Число опр., n 1	P 1, %	Число прогнозов, N 2	Число опр., n 2	P 2, %	
Адвективный туман (Петренко)	173	149	86	20	18	90	153	131	86	45
Адвективный туман (Гоголевой)	426	322	76	163	65	40	263	257	98	92
Радиационный туман (Зверева)	32	29	91	19	18	95	13	11	85	90

Результаты исследования показывают, что предупрежденность явления (тумана) по радиационному туману составляет 90% в 2019 году, а в остальные – 100%.

Таблица 3.7 – Сведения о средней оправдываемости расчетных методов прогноза тумана за период 2020 годв АМСГ-I Минеральные

Методы прогноза метеозлементов и явлений погоды	Оправдываемость прогноза									Предупрежденность явления, Пя (%) $n1/(n1+(N2-n2))$
	Общая			С явлением			Без явления			
	Число прогнозов, N	Число опр., n	P, %	Число прогнозов, N 1	Число опр., n 1	P 1, %	Число прогнозов, N 2	Число опр., n 2	P 2, %	
Адвективный туман (Петренко)	261	218	84	52	34	65	209	184	88	58
Адвективный туман (Гоголевой)	301	191	63	120	34	28	181	157	87	59
Радиационный туман (Зверева)	24	19	79	19	14	74	5	5	100	100

Предупрежденность по адвективному туману по методу Петренко составляет 2019 г. – 45%, 2020 г. – 58%, 2021 г. – 63%. А по методу Гоголевой:

2017 г. –80%, 2018 г.–89%, 2019 г. – 92%, 2020 г. – 59%, 2021 г. –56%.

Предупрежденность явления, $Pя$ (%) рассчитывается по формуле.

Таблица 3.8 – Сведения о средней оправдываемости расчетных методов прогноза тумана за период 2021 год в АМСГ-I Минеральные Воды

Методы прогноза метеозлементов и явлений погоды	Оправдываемость прогноза									Предупрежденность явления, $Pя$ (%) $n1/(n1+(N2-n2))$
	Общая			С явлением			Без явления			
	Число прогнозов, N	Число опр., n	P, %	Число прогнозов, N 1	Число опр., n 1	P, %	Число прогнозов, N 2	Число опр., n 2	P, %	
Адвективный туман (Петренко)	276	253	92	39	38	97	237	215	91	63
Адвективный туман (Гоголевой)	276	197	71	87	38	44	189	159	84	56
Радиационный туман (Зверева)	32	30	94	15	13	87	17	17	100	100

Для наглядности оправдываемости прогнозов тумана за период 2010-2021 гг. в АМСГ-I Минеральные Воды составим таблицу 3.9.

Прогноз адвективного тумана по методу Петренко стали проводить только с 2019 года, но только в 2021 году число прогнозов адвективного тумана двумя методами были одно и тоже число, но оправдываемость по методу Петренко выше и составила 92%, что на 21% выше метода Гоголевой. Выше % и в предыдущие два года. Следовательно, можно сделать вывод, что метод Петренко более точный.

Таблица 3.9 – Сведения о средней оправдываемости расчетных методов прогноза тумана за период 2010-2021 годов АМСГ-I Минеральные Воды

год	Адвективный туман, метод Петренко			Адвективный туман, метод Гоголевой			Радиационный туман, метод Зверева		
	Число прогнозов	Оправд.	%	Число прогнозов	Оправд.	%	Число прогнозов	Оправд.	%
2010				89	68	76	44	39	89
2011				54	40	74	45	28	62
2012				70	56	80	43	30	70
2013				69	63	91	53	44	83
2014				68	59	87	44	37	84

Продолжение таблицы 3.9

2015				67	52	78	49	38	80
2016				365	308	84	61	46	75
2017				481	373	78	58	47	81
2018				561	425	76	33	32	97
2019	173	149	86	426	322	76	32	29	91
2020	261	218	84	301	189	63	24	19	79
2021	276	253	92	276	197	71	32	30	94

Оправдываемость адвективного тумана с использованием метода Гоголевой колеблется от 63% до 91%. Оправдываемость радиационного тумана с использованием метода Зверева колеблется от 62% до 97%. Такие данные связаны скорее всего со сложностью возникновения данного явления в АМСГ-1 Минеральные Воды.

Заключение

В результате предпринятых исследований метеорологических условий на АМСГ-І Минеральные Воды можно сделать следующие выводы:

1. Значение видимости на аэродроме является одним из критериев, обуславливающих минимумы для взлета и посадки воздушного судна.
2. Чаще всего ухудшение метеорологической дальности видимости менее 1000м происходит из-за тумана – 1661 случай.
3. В образовании туманов в районе Минеральных Вод большое значение имеет орографический фактор.
4. Чаще всего наблюдаются туманы охлаждения (радиационные и адвективные) и реже туманы испарения (фронтальные туманы).
5. Ухудшение видимости в тумане имеет четкую сезонную зависимость: большинство случаев приходится на холодный период с октября по март – 1551 случай (93.4%), чаще всего в декабре – 403 случая (24.3%), реже – в августе – 2 случая (0.1%).
6. В суточно-годовом ходе повторяемость различных пределов видимости в холодный период имеет два максимума в 2 часа (12%), в 22-23 часа (10%) и один минимум в 10-12 часов (3%); в теплый период ограниченная видимость отмечается редко, но можно выделить один максимум (менее 1%) в 3 часа. В апреле и сентябре (переходный период) ограниченная видимость имеет максимум в 3 часа и минимум с 8 по 16 часов. В марте и октябре имеет максимум в 3-4 часа (10%) и минимум с 9 по 15 часов.
7. В зависимости от температуры максимальная повторяемость видимости менее 1000м приходится на диапазоны от 0° до +5° – 37,1% и от 0° до -5° – 30.2%. В большинстве случаев (99.4%) видимость менее 1000м отмечается в туманах при дефиците точки росы от 0 до 1 градуса, и менее 0.1% – при дефиците точки росы 4 градуса и более в осадках.
8. На АМСГ-І Минеральные Воды применяют три метода прогноза тумана, с заблаговременностью – 9 часов: прогноз адвективных туманов по

методу Петренко; прогноз адвективных туманов по методу Гоголевой; прогноз радиационных туманов по методу Зверева.

9. Результаты исследования показывают, что предупрежденность явления (тумана) по радиационному туману выше, чем по адвективному туману.
10. Прогноз адвективного тумана по методу Петренко стали проводить только с 2019 года, но только в 2021 году число прогнозов было одинаково, оправдываемость по методу Петренко выше и составила 92%, что на 21% выше метода Гоголевой. Выше % и в предыдущие два года. Следовательно, можно сделать вывод, что метод Петренко более точный.
11. Оправдываемость адвективного тумана с использованием метода Гоголевой колеблется от 63% до 91%. Оправдываемость радиационного тумана с использованием метода Зверева колеблется от 62% до 97%. Такие данные связаны скорее всего со сложностью возникновения данного явления в АМСГ-1 Минеральные Воды.

Список использованной литературы

1. Богаткин, О.Г. Информационно-справочная книга авиационного метеоролога. [Электронный ресурс]. URL: <http://doavia.meteocenter.ru/files/books/Bogatkin/sprav1.pdf> (дата обращения: 07.10.2022)
2. Виды туманов. [Электронный ресурс]. URL: <https://meteoinfo.ru/glossary/6262-2012-11-22-10-08-24> (дата обращения: 07.10.2022)
3. Воробьев, В.И. Практикум по синоптической метеорологии. – М.: изд. Мысль, 2011. – 212 с.
4. Воробьев, В.И. Синоптическая метеорология. [Электронный ресурс]. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-214144448.pdf (дата обращения: 07.10.2022)
5. Датчики LT31. [Электронный ресурс]. URL: http://spmeteo.ru/?page_id=923 (дата обращения: 10.11.2022)
6. Датчики LT31. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vaisala.com/ru/products/russian-transmissometer-LT31> (дата обращения: 10.11.2022)
7. Дашко, Н.А. Курс лекций по синоптической метеорологии. [Электронный ресурс]. URL: https://www.studmed.ru/view/dashko-na-kurs-lekciy-po-sinopticheskoy-meteorologii_5c7264983e0.html (дата обращения: 10.11.2022)
8. Дивинский, Л.Й., Кузнецов, А.Д., Солонин, А.С. Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция - КРАМС-4. [Электронный ресурс]. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-417150213.pdf (дата обращения: 14.11.2022)
9. Идентификатор погоды FD. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/15160-13.pdf> (дата обращения: 07.04.2022)
10. ИМ по кодам METAR, SPECI, TAF. [Электронный ресурс]. URL:

- http://metavia2.ru/help/instruction_METAR_SPECI_TAF.pdf (дата обращения: 07.10.2022)
11. Комбинированный метод прогноза дальности видимости и тумана. [Электронный ресурс]. URL: <http://method.meteorf.ru/publ/tr/tr375/07.pdf>. (дата обращения: 16.11.2022)
 12. Лебедев, А.Б. Прогнозирование синоптического положения. – СПб.: изд. ВКА имени А.Ф. Можайского, 2011. – 113 с.
 13. Матвеев, Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата Земли. – Л.: изд. Гидрометеиздат, 1991. – 279 с.
 14. Матвеев, Л.Т. Физика атмосферы. – СПб.: изд. Гидрометеиздат, 2000. – 412 с.
 15. Методы и средства инструментальных наблюдений за метеорологическими элементами на авиационных метеорологических станциях. [Электронный ресурс]. URL: https://ugramet.ru/images/File/MetodKabinet/Publications/metody_i_sredstva_nablyudeniya_na_amsmsg.pdf (дата обращения: 14.11.2022)
 16. Правила эксплуатации метеорологического оборудования аэродромов гражданской авиации. РД.52.04.716-2009 [Электронный ресурс]. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293792/4293792179.pdf> (дата обращения: 21.10.2022)
 17. Приходько, М.Г. Справочник инженера-синоптика. – Л.: изд. Гидрометеиздат, 1986. – 247 с.
 18. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. – Л.: изд. Гидрометеиздат, 1986. – Ч. I. – 448 с.
 19. Руководство по определению дальности видимости на ВПП (RVR). РД 52.21.680 – 2006. [Электронный ресурс]. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/4c7/4293753360.pdf>. (дата обращения: 12.11.2022)
 20. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации. [Электронный ресурс]. URL: <http://szf.aviamettelecom.ru/wp->

- content/uploads/2014/02/Руководство-по-прогнозированию-мет.-условий-для-авиации.pdf(дата обращения: 07.10.2022)
- 21.Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для метеорологического обслуживания авиации. [Электронный ресурс]. URL: http://szf.aviamettelecom.ru/wp-content/uploads/2018/09/wmo_731_ru.pdf (дата обращения: 12.11.2022)
 - 22.Руководство пользователя. Датчик видимости FS11. [Электронный ресурс]. URL: https://propribory.ru/static/upl/27-08-2021/klBpDNDCsmcb-GTe/file_14.pdf. (дата обращения: 14.10.2022)
 - 23.Руководящий документ РД 52.27.724-2009 Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dokipedia.ru/document/5319218>(дата обращения: 07.10.2022)
 - 24.Савичев, А.И. Синоптические методы прогноза погоды. [Электронный ресурс]. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-217135436.pdf (дата обращения: 07.10.2022)
 - 25.Сафонова, Т. В. Авиационная метеорология. [Электронный ресурс]. URL: http://lib.ulstu.ru/venec/disk/2015/Safonova_1.pdf (дата обращения: 07.10.2022)
 - 26.Современные методы прогнозирования погодных условий. [Электронный ресурс]. URL: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/52073/1/conference_tpu-2018-C52_p357-360.pdf (дата обращения: 02.10.2022)
 - 27.Специализированные прогнозы погоды. [Электронный ресурс]. URL: http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-214135902.pdf(дата обращения: 07.10.2022)
 - 28.Толмачева, Н.И. Методы и средства гидрометеорологических измерений. [Электронный ресурс]. URL: <http://szf.aviamettelecom.ru/wp-content/uploads/2014/02/Методы-и-средства-гидрометеорологических-измерений.pdf> (дата обращения: 07.10.2022)
 - 29.Хромов, С.П. Мамонтова, Л.И. Метеорологический словарь. – Л.: изд.

Гидрометеоиздат, 1978. – 398 с.

30. Юдин, М.И. Новые методы и проблемы краткосрочного прогноза погоды.

– Л.: изд. Гидрометеоиздат, 1993. – 269 с.