

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2020-4-63-77>

УДК 551.509.54

Режим ограниченной видимости на аэродромах европейской России

Н.П. Шакина, Е.Н. Скриптунова, А.А. Завьялова

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации, г. Москва, Россия
chakina@mecom.ru*

Представлены характеристики режима ограниченной видимости на 42 аэродромах Европейской территории России, рассчитанные по данным аэродромных наблюдений, сообщаемых в телеграммах в коде METAR с временной дискретностью 30 мин (реже 1 ч). Распределения повторяемостей горизонтальной дальности видимости ≤ 300 м и ≤ 800 м рассчитаны за период 2001–2019 гг. Представлены таблицы годового хода повторяемости указанных градаций видимости (по месяцам) и распределения повторяемости при различных явлениях погоды. Описаны распределения повторяемостей в зависимости от высоты нижней границы облаков, относительной влажности, скорости и направления ветра у земли. Представлены также данные о продолжительности непрерывного существования ограниченной видимости, показывающие, что такие эпизоды, как правило, являются кратковременными (в 65–85 % случаев видимость ≤ 300 м наблюдается менее 2 ч). Представленные результаты оценок количественных соответствий между наличием либо отсутствием ухудшенной видимости и другими характеристиками погоды, отмеченными на тех же аэродромах, указывают на определенные перспективы разработки, по крайней мере для некоторых аэродромов, статистических методов прогноза этого достаточно редкого и важного для авиации явления на основе продукции численных моделей атмосферы.

Ключевые слова: видимость, аэродромные наблюдения, годовой ход ограниченной видимости, относительная влажность, высота нижней границы облаков, явления погоды

Low visibility regime at aerodromes in European Russia

N.P. Shakina, E.N. Skriptunova, A.A. Zavialova

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation,
Moscow, Russia
chakina@mecom.ru*

The characteristics are presented for the visibility regime at 42 aerodromes in European Russia calculated from the data of aerodrome observations reported in METAR telegrams with 30 minute (more rarely, 1 hour) time intervals. The occurrence frequency distributions of horizontal visibility ≤ 300 m and ≤ 800 m are calculated and analyzed over the period of 2001–2019. The tables are presented and discussed for the annual cycles of the occurrence frequency, as well as for its distributions under different weather phenomena. The occurrence frequency distributions depending on cloud base height, relative humidity, speed and direction of surface wind are presented. The results are also

presented for the duration of low visibility episodes: it is demonstrated that such episodes are short, as a rule (for example, the visibility ≤ 300 m is continually observed for not more than 2 hours in 65-85 % of cases). The results of quantification of the correspondence between the occurrence or absence of low visibility and other weather characteristics observed at the same aerodromes demonstrate certain perspectives for developing (at least for several aerodromes) statistical methods to forecast this rather rare phenomenon basing on outputs of numerical atmosphere models.

Keywords: visibility, aerodrome observations, annual cycle of low visibility, relative humidity, cloud base height, weather phenomena

Метеорологические условия взлета и посадки воздушных судов (ВС) зависят в первую очередь от таких характеристик погоды, как горизонтальная видимость и высота нижней границы облачности. Именно этими двумя характеристиками и их комбинациями определяются "минимумы погоды" для пилотов и аэродромов [1]. Метеорологическая дальность видимости (МДВ), измеряемая с временным разрешением 30 мин (круглосуточно на аэродромах с интенсивным воздушным движением) или 1 ч (круглосуточно или в период полетов на остальных аэродромах), и ее режимные (климатические) характеристики за истекшие 5 лет включаются в аэроклиматические описания аэродромов и сообщаются в телеграммах в коде METAR.

Систематические исследования режима МДВ над Россией и ее регионами, насколько известно авторам, в последнее время не проводились, – прежде всего из-за отсутствия необходимых баз данных. Опубликованная недавно статья [2] впервые представила анализ условий ограниченной видимости на 41 аэродроме азиатской части России и ближнего зарубежья за 2001–2016 гг. Это исследование выполнено на материале базы данных аэродромных наблюдений, созданной в отделе авиационной метеорологии Гидрометцентра России. Указанная база данных, пополняющаяся в квазиоперативном режиме содержанием телеграмм METAR, включает также наблюдения на аэродромах европейской части России и ближнего зарубежья. На основе этой базы данных были в последнее время рассчитаны режимные характеристики низкой облачности и разработаны методы ее краткосрочного прогноза на аэродромах России [3, 4].

В настоящей статье представлены характеристики режима ограниченной видимости на аэродромах европейской части России и ближнего зарубежья, рассчитанные на основе упомянутой выше базы данных за период 2001–2019 гг., причем анализ материала аналогичен проведенному в [2] на данных за меньший период времени.

Условия ограниченной видимости, представляющие наибольший практический интерес, т. е. условия, непосредственно влияющие на взлет и посадку ВС, – это прежде всего условия $\text{МДВ} \leq 300$ м, а также $\text{МДВ} \leq 800$ м и значения $\text{МДВ} \leq 2000$ м, включаемые в телеграммы. Наиболее неблагоприятные низкие значения МДВ, такие как $\text{МДВ} \leq 50$ м,

наблюдаются весьма редко, так что даже 19-летние ряды данных, включающие более 300 000 телеграмм METAR, не позволяют рассчитать с необходимой статистической надежностью повторяемость таких значений (в особенности по необходимым подвыборкам – месяцам или градациям других измеряемых метеорологических величин). Поэтому в рамках данной статьи мы ограничимся рассмотрением режимных характеристик МДВ ≤ 300 м и МДВ ≤ 800 м.

Годовой ход повторяемостей указанных градаций ограниченной видимости представлен в табл. 1 и 2. На большинстве аэродромов (24 из 42) европейской части России и ближнего зарубежья повторяемость МДВ ≤ 300 м в среднем за год не превышает 1 % с максимумами 3,0 % в Нальчике и 2,9 % в Ставрополе. Помимо этих аэродромов, повторяемость ≥ 2 % получена также в Ростове-на-Дону, Волгограде, Днепропетровске, Саратове, Одессе и Кишиневе: все эти аэродромы расположены на юге области рассмотрения. Минимальные повторяемости МДВ ≤ 300 м наблюдаются на северных аэродромах (Ханты-Мансийск – 0,2 %, Мурманск – 0,3 %), но также в Риге, Анапе, Сочи и Шереметьево.

В годовом ходе повторяемость этой градации видимости минимальна летом, максимальна зимой и осенью, а на ряде аэродромов максимум (вторичный или основной) обнаруживается и в марте-апреле. Наибольшие среднемесячные повторяемости достигаются в декабре в Волгограде (8,7 %), Нальчике (8,0 %), Ставрополе (7,6 %), Саратове (6,9 %), Днепропетровске (6,7 %), Ростове-на-Дону (6,0 %) – все эти аэродромы также расположены в южной части области. В январе среднемесячные повторяемости 6 % и более получены также в Нальчике, Волгограде, Днепропетровске, Одессе, Кишиневе. С другой стороны, на ряде аэродромов в течение всего года среднемесячные повторяемости не достигают и 2 % (Мурманск, Архангельск, Сыктывкар, Ханты-Мансийск, Таллинн, Санкт-Петербург, Рига, все три московских аэродрома, Нижний Новгород, Казань, Ульяновск, Уфа, Киев, Анапа).

В средней полосе годовой ход повторяемости этой градации видимости выражен слабо, но отмечается несколько повышенная повторяемость в марте и осенью (сюда относятся три московских аэродрома – Внуково, Домодедово и Шереметьево, а также некоторые другие, в частности Казань и Уфа). Южные аэродромы (Ставрополь, Симферополь, Нальчик, Ростов-на-Дону, Краснодар, Минеральные Воды) характеризуются сильно увеличенной повторяемостью МДВ ≤ 300 м в холодный период года, тогда как летом эта градация видимости практически не наблюдается. К этой группе примыкает и Воронеж, хотя амплитуда годового хода здесь меньше, чем на остальных перечисленных выше южных аэродромах. В Нижнем Новгороде, напротив, имеется хорошо выраженный максимум повторяемости МДВ ≤ 300 м в сентябре при почти полном отсутствии этой градации зимой.

Таблица 1. Годовой ход повторяемости (%) горизонтальной дальности видимости ≤ 300 м по данным METAR за период 2001–2019 гг.

Table 1. Annual cycle of visibility ≤ 300 m occurrence frequency (%) after the 2001-2019 METAR data

Аэродромы	Месяцы													Общее колич. случаев
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср.	
Мурманск	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.1	0.7	0.9	0.6	0.5	0.3	0.3	313921427
Архангельск	0.5	0.2	0.6	0.5	0.3	0.1	0.2	0.5	0.7	0.5	0.4	1.1	0.5	261447261
Салехард	0.6	0.7	0.9	0.9	0.9	0.3	0.1	0.7	2.1	3.3	1.2	0.9	1.0	256264182
Сыктывкар	0.3	0.3	0.4	0.8	0.2	0.2	0.4	1.4	1.2	0.6	0.2	0.2	0.5	267440180
Ханты-Мансийск	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.0	0.2	0.5	0.4	0.1	0.1	0.2	274586187
Таллинн	0.6	0.5	0.8	0.6	0.5	0.3	0.2	0.4	1.0	0.7	0.6	0.6	0.6	304425218
С.-Петербург	0.4	0.6	0.5	0.4	0.2	0.2	0.3	0.6	1.3	0.7	0.5	0.4	0.5	328144240
Рига	0.1	0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.1	0.0	0.2	327835241
Вильнюс	2.0	2.1	2.3	1.1	1.0	0.6	0.9	1.4	2.1	2.5	4.4	2.0	1.9	321101321
Минск	1.0	1.5	1.4	0.8	0.5	0.3	0.5	0.3	1.0	1.8	3.0	1.5	1.1	327747240
Нижний Новгород	0.1	0.1	0.5	0.7	0.6	0.9	0.7	1.6	3.0	1.4	0.2	0.3	0.8	314745227
Шереметьево	0.3	0.2	0.5	0.5	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.7	0.2	0.3	327922240
Внуково	0.4	0.7	1.0	0.6	0.2	0.2	0.3	0.6	0.7	0.6	1.2	0.3	0.6	329027241
Казань	1.5	1.0	1.5	1.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.6	1.3	1.7	1.3	0.9	319562232
Домодедово	0.6	0.6	1.1	0.7	0.4	0.3	0.7	0.9	1.3	1.0	1.2	0.5	0.8	329740242
Ульяновск	0.4	0.3	0.8	0.6	0.1	0.0	0.0	0.1	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4	284074207
Нижнекамск	0.6	0.4	1.2	1.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.9	1.3	2.5	1.9	0.9	312023224
Уфа	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1	0.2	0.3	0.2	0.9	0.8	0.6	1.0	0.5	327451240
Самара	1.3	0.9	1.8	0.8	0.0	0.0	0.2	0.1	0.5	1.2	2.0	1.6	0.9	327766240
Брест	1.2	1.9	1.4	0.6	0.3	0.2	0.3	0.5	1.6	3.4	3.2	1.4	1.3	11952589
Гомель	1.6	1.9	1.6	0.4	0.4	0.3	0.4	0.6	1.3	1.9	3.7	2.1	1.4	239028171
Киев	1.0	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	1.4	1.8	0.5	0.6	324083236
Львов	1.4	1.6	0.9	0.4	0.5	0.3	0.4	0.3	0.9	1.9	2.3	1.9	1.1	323909236
Кривой Рог	4.9	4.7	1.3	0.4	0.3	0.1	0.1	0.0	0.2	2.3	2.7	5.7	1.9	322301235
Кишинев	6.1	5.1	1.3	0.4	0.6	0.2	0.1	0.2	0.4	1.7	4.0	4.8	2.1	272330214
Одесса	6.4	4.6	3.1	2.2	1.1	0.2	0.2	0.3	0.9	2.2	3.6	4.5	2.4	317778231
Симферополь	5.0	3.3	2.2	1.3	1.3	0.2	0.1	0.1	0.4	2.1	3.3	3.2	1.9	326332238
Воронеж	0.6	1.8	1.2	0.7	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.8	2.1	2.3	0.9	262689175
Саратов	4.6	4.8	3.9	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	2.1	6.1	6.9	2.5	325287241
Харьков	2.2	4.0	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3	1.6	2.7	3.6	1.4	322403822
Днепропетровск	6.6	5.6	1.7	0.6	0.4	0.1	0.1	0.1	0.3	3.2	2.8	6.7	2.3	320507233
Волгоград	6.7	6.4	2.3	0.3	0.3	0.0	0.1	0.0	0.2	1.4	6.0	8.7	2.7	325402237
Запорожье	5.4	4.2	1.9	0.6	0.5	0.1	0.0	0.1	0.3	2.8	2.3	5.2	1.9	274879198
Ростов-н/Д.	5.0	4.9	1.5	0.4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	1.7	4.1	6.0	2.0	325853239
Астрахань	1.6	1.7	0.8	0.4	0.2	0.0	0.0	0.2	1.0	2.0	2.7	2.0	1.1	321785234
Краснодар	2.7	1.5	0.8	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1	0.6	2.4	3.6	3.3	1.3	324476236
Ставрополь	5.8	5.4	3.7	0.6	0.2	0.1	0.0	0.1	0.6	3.4	7.0	7.6	2.9	310891223
Анапа	0.3	0.5	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.3	0.5	0.2	268388183
Мин. Воды	2.5	2.9	1.3	0.4	0.3	0.1	0.1	0.0	0.2	1.9	4.3	3.8	1.5	328931241
Сочи	0.6	0.7	0.3	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.3	0.7	0.6	0.3	323730236
Нальчик	9.5	6.9	3.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	6.1	8.0	3.0	179420112
Махачкала	1.2	1.5	3.1	2.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.0	0.9	201995116

Таблица 2. Годовой ход повторяемости (%) горизонтальной дальности видимости ≤ 800 м по данным METAR за период 2001-2019 гг.**Table 2.** Annual cycle of visibility ≤ 800 m occurrence frequency (%) after the 2001-2019 METAR data

Аэродромы	Месяцы													Общее колич. случаев
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср.	
Мурманск	1.0	0.4	0.9	0.6	0.3	0.0	0.3	1.2	1.4	1.4	1.3	1.1	0.8	313921427
Архангельск	1.3	0.8	1.4	1.2	0.7	0.2	0.5	0.9	1.4	1.7	1.6	2.4	1.2	261447261
Салехард	2.5	1.9	2.4	1.9	1.6	0.5	0.1	1.2	3.4	5.2	3.0	2.2	2.2	256264182
Сыктывкар	1.2	0.7	1.0	1.5	0.4	0.3	0.8	2.3	2.2	1.7	0.9	1.1	1.2	267440180
Ханты-Мансийск	0.5	0.5	0.7	1.0	0.5	0.2	0.1	0.5	1.1	1.5	1.1	0.8	0.7	274586187
Таллинн	2.1	2.0	1.9	1.3	0.8	0.4	0.4	0.7	1.6	1.3	2.0	1.9	1.4	304425218
С.-Петербург	1.2	1.5	1.2	0.9	0.5	0.5	0.5	0.9	2.2	1.3	1.7	1.6	1.2	328144240
Рига	1.0	1.0	1.2	1.3	0.6	0.4	0.4	0.8	1.5	1.8	2.0	1.1	1.1	327835241
Вильнюс	4.8	4.5	4.0	1.9	1.4	1.0	1.3	2.2	3.3	4.2	8.0	5.2	3.5	321101321
Минск	3.5	4.7	3.4	1.5	1.1	0.6	1.1	1.0	2.3	4.0	7.9	5.2	3.0	327747240
Нижний Новгород	1.0	0.8	1.4	1.6	1.3	1.8	2.2	3.8	4.8	2.3	1.0	1.1	1.9	314745227
Шереметьево	1.0	1.2	1.3	0.8	0.2	0.1	0.3	0.9	0.7	0.7	1.9	0.9	0.8	327922240
Внуково	1.5	2.2	2.2	1.0	0.3	0.4	0.5	1.3	1.3	1.2	3.3	1.7	1.4	329027241
Казань	3.0	2.1	2.8	1.7	0.1	0.2	0.2	0.2	1.0	1.9	3.4	2.8	1.6	319562232
Домодедово	1.6	2.0	2.1	1.2	0.7	0.6	1.3	2.1	2.4	1.9	2.8	1.8	1.7	329740242
Ульяновск	1.7	1.4	2.2	1.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.7	0.7	1.5	1.7	1.0	284074207
Нижнекамск	2.5	1.6	2.7	1.8	0.4	0.3	0.2	0.6	1.3	2.5	4.9	4.2	2.0	312023224
Уфа	2.0	2.0	2.1	1.1	0.2	0.3	0.4	0.4	1.3	1.2	2.0	2.9	1.3	327451240
Самара	3.8	2.6	3.8	1.5	0.1	0.1	0.3	0.2	0.7	1.9	3.9	3.6	1.9	327766240
Брест	3.0	3.6	2.2	0.9	0.6	0.4	0.6	0.7	2.1	4.5	5.9	2.8	2.3	11952589
Гомель	3.9	4.4	2.6	0.6	0.6	0.5	0.8	1.0	1.9	3.0	6.5	4.5	2.5	239028171
Киев	3.8	3.9	1.8	0.7	0.5	0.3	0.3	0.3	0.8	3.4	5.4	3.7	2.1	324083236
Львов	4.1	3.4	2.1	0.9	0.9	0.6	0.8	0.7	1.8	3.1	4.9	3.8	2.4	323909236
Кривой Рог	8.9	7.3	2.5	0.8	0.5	0.2	0.2	0.1	0.4	3.6	5.3	8.8	3.2	322301235
Кишинев	8.9	7.1	2.1	0.6	0.7	0.3	0.1	0.3	0.5	2.4	5.9	6.6	3.0	272330214
Одесса	9.5	7.3	4.5	3.1	1.6	0.4	0.4	0.4	1.3	3.3	5.6	6.9	3.7	317778231
Симферополь	8.2	6.1	3.4	1.8	1.6	0.3	0.2	0.2	0.6	3.0	5.4	5.7	3.0	326332238
Воронеж	3.0	4.8	3.4	1.2	0.4	0.2	0.3	0.3	0.8	1.9	4.9	5.3	2.3	262689175
Саратов	8.2	7.6	6.3	1.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	2.9	8.6	9.9	3.8	325287241
Харьков	5.1	6.7	2.1	0.8	0.4	0.3	0.3	0.2	0.6	2.6	4.9	6.4	2.5	322403822
Днепропетровск	0.9	8.2	3.0	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0.7	4.8	5.2	10.1	3.7	320507233
Волгоград	1.5	10.8	4.5	0.6	0.4	0.1	0.1	0.1	0.4	2.1	9.2	14.4	4.5	325402237
Запорожье	9.6	6.4	3.0	1.0	0.6	0.2	0.1	0.1	0.5	4.1	4.6	8.2	3.2	274879198
Ростов-н/Д.	8.7	7.7	2.9	0.6	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	2.6	6.0	9.0	3.2	325853239
Астрахань	3.8	3.1	1.5	0.7	0.3	0.1	0.0	0.3	1.3	2.7	4.0	4.0	1.8	321785234
Краснодар	4.2	2.6	1.4	0.7	0.4	0.3	0.2	0.1	0.9	3.2	5.0	4.9	2.0	324476236
Ставрополь	9.7	8.6	5.6	1.1	0.5	0.1	0.1	0.1	1.0	4.7	10.2	11.0	4.4	310891223
Анапа	1.3	1.2	0.6	0.3	0.5	0.1	0.1	0.0	0.1	0.9	0.8	1.3	0.6	268388183
Мин. Воды	5.3	5.5	2.5	0.8	0.5	0.2	0.1	0.0	0.4	3.2	6.8	7.1	2.7	328931241
Сочи	1.2	1.5	0.7	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.6	1.2	1.1	0.6	323730236
Нальчик	5.0	11.0	6.1	1.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.6	2.4	10.4	12.7	4.9	179420112
Махачкала	2.6	2.3	4.8	3.4	0.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	1.2	1.8	1.5	201995116

Повторяемость МДВ ≤ 800 м значительно выше, чем МДВ ≤ 300 м и в среднем за год на большинстве аэродромов (24 из 42) превышает 2 % (табл. 2), причем на севере, в центральной и восточной частях области, она заметно ниже, чем на юге и западе. Максимальная среднегодовая повторяемость (4,9, 4,5 и 4,4 %) наблюдается в Нальчике, Запорожье и Ставрополе соответственно, минимальная (< 1 %) – на тех же аэродромах, где выше была отмечена минимальная повторяемость МДВ ≤ 300 м (Мурманск, Ханты-Мансийск, Шереметьево, Анапа, Сочи). В годовом ходе и в этом случае видим высокие повторяемости преимущественно в ноябре–январе, иногда в феврале (исключение составляет Нижний Новгород с максимумом 4,8 % в марте). Максимальные среднемесячные повторяемости отмечены в декабре в Нальчике – 12,7 %, Ставрополе – 11,0 %, Волгограде – 14,4 %, Днепропетровске – 10,1 %; в январе в Ставрополе – 9,7 %, Запорожье – 9,6 %, Одессе – 9,5 %.

Как видно, в целом характер распределения повторяемости этой градации видимости аналогичен описанному выше для МДВ ≤ 300 м, т. е. имеет место существенное возрастание повторяемостей к югу и западу с севера и востока области и ее центральной части при сходном годовом ходе. Этот вывод иллюстрируется рис. 1, на котором по оси ординат отложено число аэродромов с повторяемостью видимости, превосходящей среднегодовую в каждом из месяцев.

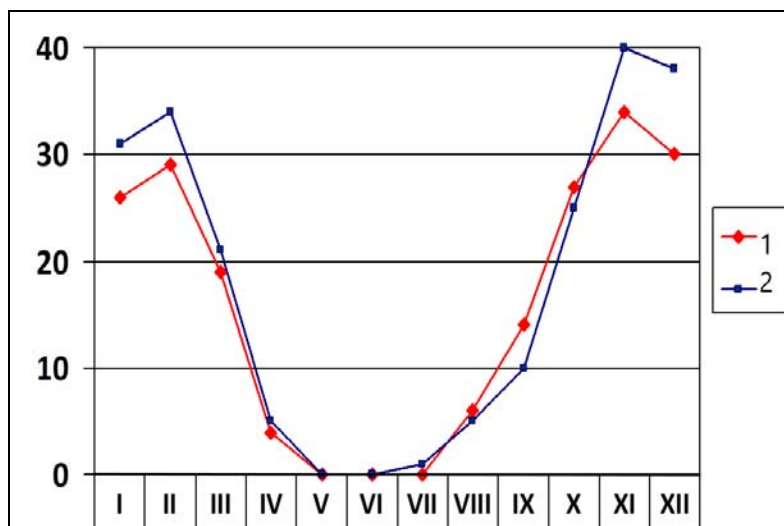


Рис. 1. Количество аэродромов, на которых среднемесячные повторяемости МДВ ≤ 300 м (1) и МДВ ≤ 800 м (2) превышают среднегодовые значения.

Fig. 1. Number of aerodromes at which month-mean occurrence frequencies of visibility ≤ 300 m (1) and ≤ 800 m (2) exceed the annual mean values.

Кривые для обеих градаций видимости указывают на согласованно высокие повторяемости в осенне-зимний период почти на всех аэродромах, тогда как в мае–июле повторяемость $MДВ \leq 300$ м ниже среднегодовой на всех аэродромах, а в мае–июне то же относится к повторяемости $MДВ \leq 800$ м.

Сравнивая рис. 1 с соответствующим рисунком в [4] можно отметить, что в европейской части России более резко выражен годовой ход повторяемости ухудшенной видимости – как в отношении минимума в летний сезон, так и в отношении осенне-зимнего максимума. Это объясняется, очевидно, тем, что на европейской территории, меньшей по размеру, чем азиатская, физико-географические и циркуляционные условия более однородны, чем на азиатской территории с ее чрезвычайно сложным рельефом.

Ухудшение видимости связано, главным образом, с наличием в воздухе продуктов конденсации влаги [5], и прежде всего с туманом, который, как известно, и определяется как $MДВ \leq 1000$ м. Поэтому и повторяемость $MДВ \leq 800$ м можно считать близкой к повторяемости тумана. Кроме последнего, ухудшенная видимость бывает обусловлена и другими явлениями погоды, такими как осадки, пыльные бури, метели. Распределение случаев $MДВ \leq 300$ м и $MДВ \leq 800$ м по группам явлений погоды по коду КН-01 дано в табл. 3 и 4 соответственно. Из таблиц видно, что видимость не более 300 м чаще всего ассоциируется с туманами (группа 40–49) – от 9,5 % в Сочи и 11,6 % в Риге до 73,3 % в Саратове, 69,8 % в Кишиневе и более 60 % в Одессе, Симферополе, Днепропетровске, Волгограде, Ростове-на-Дону, Краснодаре. На втором месте среди погодных явлений, обуславливающих видимость ≤ 300 м, находится морось (группа 50–59), повторяемость этой градации видимости достигает 61,4 % в Ставрополе (больше, чем при туманах), 45,5 % в Саратове, 32,0 % в Кишиневе и 31,3 % в Волгограде. Снегопады (группа 70–79) обуславливают сравнительно мало случаев $MДВ \leq 300$ м (максимум 8,4 % в Нальчике и 4,9 % в Ставрополе, на большинстве же аэродромов – менее 1 % повторяемости). Ливневые осадки (группа 80–89) вносят еще менее заметный вклад. Напротив, поземки и низовые метели (группа 30–39) обуславливают до 10,8 % случаев $MДВ \leq 300$ м в Одессе и более 3 % в Волгограде и Ростове-на-Дону.

Аналогичные зависимости от явлений погоды обнаруживаются и при анализе повторяемости $MДВ \leq 800$ м, с той разницей, что при туманах она достигает 70–80 % почти на всех аэродромах (кроме Сочи – 23 %), а в Минеральных Водах, Волгограде, Саратове, Симферополе, Кишиневе, Бресте, Нижнекамске, Вильнюсе, Салехарде – превышает 90 %. При мороси повторяемость этой градации также увеличена – до 75,8 % в Ставрополе и 57,8 % в Саратове. В то же время на северных аэродромах (кроме Салехарда, где при мороси повторяемость составляет 42,5 %), а также в Санкт-Петербурге, Риге, Нижнем Новгороде, на всех московских аэродромах, в Ульяновске и Львове повторяемость при мороси не достигает 10 %.

Таблица 3. Повторяемость (%) видимости ≤ 300 м при разных явлениях погоды по коду КН-01 по данным METAR за 2001-2019 гг.**Table 3.** Occurrence frequency (%) of visibility ≤ 300 m under different weather phenomena (KN-01 code) after the 2001-2019 METAR data

Аэродромы	Явления по коду КН-01										Колич. случаев с видим. ≤ 300 м	Общее колич. случаев
	10-12	13-19	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	Сред.		
Мурманск	0.1	0.0	0.3	43.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	1.3	1066	82274
Архангельск	0.3	0.0	0.4	42.0	0.9	0.1	0.0	0.1	0.3	1.7	1223	73999
Салехард	0.9	0.0	1.2	57.6	27.4	2.9	0.5	0.1	1.0	3.2	2552	80240
Сыктывкар	0.0	0.0	0.2	45.8	1.9	0.4	0.0	0.1	0.0	1.7	1358	79430
Ханты-Мансийск	0.2	0.0	0.0	27.9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	409	59681
Таллинн	0.0	0.0	0.0	42.8	0.8	0.1	0.2	0.2	0.0	2.4	1737	72679
С.-Петербург	0.2	0.0	0.2	46.6	1.0	0.0	0.1	0.1	0.4	1.8	1639	88792
Рига	0.1	0.0	0.0	11.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	513	74335
Вильнюс	0.0	0.1	0.0	55.2	5.8	0.6	0.2	0.0	0.0	4.7	5983	126118
Минск	0.0	0.0	0.0	27.5	2.1	0.8	0.1	0.1	0.4	4.0	3689	92536
Нижний Новгород	0.0	0.1	0.0	44.9	2.3	0.1	0.1	0.1	0.0	2.5	2637	103940
Шереметьево	0.0	0.0	0.0	41.7	1.2	0.1	0.0	0.1	0.4	1.0	967	99518
Внуково	0.1	0.1	0.2	42.9	1.6	0.2	0.1	0.1	0.0	1.9	1841	98998
Казань	0.1	0.1	0.0	57.5	18.6	1.2	0.6	0.1	0.2	3.5	2740	77491
Домодедово	0.0	0.2	0.0	44.6	2.8	0.3	0.1	0.1	0.1	2.5	2398	95359
Ульяновск	0.4	0.0	0.1	49.3	3.1	0.4	0.3	0.0	0.0	1.7	1007	57648
Нижнекамск	1.4	0.1	0.0	58.1	9.8	1.5	0.9	0.3	0.0	3.2	2794	87597
Уфа	0.0	0.1	2.9	53.2	5.0	0.4	0.3	0.1	1.1	2.1	1768	83311
Самара	0.0	0.0	0.1	52.4	11.4	1.3	0.6	0.7	0.1	3.2	2874	88532
Брест	0.0	1.0	2.7	60.2	6.0	0.2	0.5	0.1	0.0	4.7	1556	33357
Гомель	1.4	0.0	0.1	53.9	8.5	2.2	0.4	0.3	0.3	5.2	3143	60031
Киев	0.0	0.1	0.0	27.8	1.7	0.2	0.1	0.1	0.0	2.5	1892	76037
Львов	0.0	0.0	0.6	45.9	3.7	0.8	0.2	0.2	0.4	3.9	3468	87816
Кривой Рог	0.0	0.1	0.6	54.7	16.3	2.1	0.8	0.2	0.0	9.9	6007	60556
Кишинев	0.0	0.0	3.7	69.8	32.0	4.0	0.5	1.2	0.2	7.6	5761	75505
Одесса	0.0	0.0	10.8	63.6	25.5	1.3	0.1	0.7	0.7	9.1	7665	83829
Симферополь	0.0	0.1	2.4	61.2	14.9	2.2	0.9	1.1	0.0	7.8	6110	78658
Воронеж	0.0	0.0	0.1	39.8	5.7	1.1	0.3	0.1	0.0	3.1	2264	73190
Саратов	0.0	0.0	1.4	73.3	45.5	11.8	2.7	0.3	0.0	12.1	7988	65950
Харьков	0.0	0.0	1.0	54.7	14.9	1.9	0.4	0.5	0.4	6.0	3354	56558
Днепропетровск	0.0	0.1	0.2	61.3	14.7	6.9	1.7	0.7	0.6	9.7	7492	77263
Волгоград	0.3	0.0	3.2	62.6	31.3	5.8	1.2	0.6	0.0	13.9	8709	62803
Запорожье	0.0	0.1	1.2	59.4	17.6	4.3	0.7	1.1	0.6	9.1	5301	58234
Ростов-на-Дону	0.1	0.0	3.7	65.6	28.7	3.4	0.9	1.1	0.0	9.9	6506	70057
Астрахань	0.1	0.0	0.0	52.9	3.7	0.0	0.1	0.0	0.0	10.0	3320	33341
Краснодар	0.1	0.1	0.0	63.7	9.5	0.4	0.2	0.4	0.5	7.5	4315	57295
Ставрополь	0.7	0.1	1.3	53.0	61.4	6.9	4.9	1.0	0.3	14.4	8847	61339
Анапа	0.0	0.0	0.5	35.0	6.9	0.1	1.5	0.2	0.0	1.7	633	36359
Мин. Воды	0.0	0.0	0.0	54.1	5.7	0.1	0.1	0.1	0.0	6.1	4831	78781
Сочи	0.7	0.1	0.0	9.5	0.1	0.0	0.0	0.3	1.0	0.4	192	43722
Нальчик	0.1	0.0	0.0	51.9	20.2	5.2	8.4	0.2	0.0	12.8	5250	40959
Махачкала	0.0	0.0	0.0	57.1	2.4	0.3	0.7	0.0	0.0	4.8	1778	36805

Таблица 4. Повторяемость (%) видимости ≤ 800 м при разных явлениях погоды по коду КН-01 по данным METAR за 2001-2019 гг.**Table 4.** Occurrence frequency (%) of visibility ≤ 800 m under different weather phenomena (KN-01 code) after the 2001-2019 METAR date

Аэродромы	Явления по коду КН-01										Колич. случаев с видим. ≤800 м	Общее колич. случаев
	10-12	13-19	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	Сред.		
Мурманск	0.2	0.0	2,6	78,8	0,3	0,3	1,0	1,0	0,0	3,1	2563	82274
Архангельск	0,8	0,0	7,2	78,9	5,9	0,4	0,9	1,1	1,0	4,1	3024	73999
Салехард	1,9	0,0	4,5	90,1	42,5	7,5	2,0	1,0	1,0	6,6	4986	80240
Сыктывкар	0,1	0,0	1,8	83,5	7,1	1,2	1,2	1,1	0,9	4,0	3139	79430
Ханты-Мансийск	0,7	0,2	0,0	87,5	3,6	0,2	1,4	1,0	2,2	3,1	1828	59681
Таллинн	0,1	0,0	0,1	84,2	4,5	0,3	2,3	1,7	1,3	5,7	4179	72679
С.-Петербург	0,7	0,0	4,0	81,5	4,5	0,2	1,8	1,3	1,2	4,1	3637	88792
Рига	1,3	0,0	3,0	72,2	2,6	0,2	0,7	0,4	0,9	4,8	3576	74335
Вильнюс	0,1	0,1	0,5	93,0	17,1	2,4	2,3	1,0	0,4	8,9	11182	126118
Минск	0,1	0,1	0,8	66,8	14,2	2,4	1,6	1,4	2,0	10,6	7506	92536
Нижний Новгород	0,1	0,2	3,7	84,4	6,0	0,5	1,4	2,5	0,5	5,7	5873	103940
Шереметьево	0,0	0,2	2,0	82,3	3,6	0,3	0,4	2,2	0,8	2,6	2582	99518
Внуково	0,1	0,2	7,8	84,1	6,7	0,7	0,9	1,7	0,5	4,4	4403	98998
Казань	0,4	0,1	0,1	85,2	30,2	3,9	3,0	0,8	0,7	6,7	5158	77491
Домодедово	0,1	0,3	1,0	81,9	8,5	0,8	1,5	1,6	0,9	5,4	5188	95359
Ульяновск	0,8	0,0	0,9	87,1	9,9	1,9	4,1	0,7	0,8	4,7	2737	57648
Нижнекамск	2,1	0,1	0,2	92,6	20,3	2,7	4,6	2,5	0,4	6,9	6039	87597
Уфа	0,1	0,2	8,3	79,7	7,9	1,7	4,2	1,7	1,4	5,2	4337	83311
Самара	0,1	0,1	1,1	81,5	23,8	4,5	4,5	5,5	1,0	6,9	6144	88532
Брест	0,2	1,0	14,2	93,2	21,4	2,8	3,9	0,4	1,7	7,9	2634	33357
Гомель	2,3	0,0	0,7	88,7	20,2	5,5	2,6	1,4	0,8	9,7	5806	60031
Киев	0,1	0,3	1,5	86,4	15,0	2,6	0,8	1,9	1,6	8,8	6694	76037
Львов	0,1	0,2	15,1	83,2	9,9	2,5	3,2	1,9	3,1	8,2	7277	87816
Кривой Рог	0,1	0,3	2,5	86,8	31,6	6,9	5,9	1,1	0,7	17,0	10277	60556
Кишинев	0,1	0,0	19,3	94,2	42,6	7,7	1,8	3,4	1,1	10,9	8264	75505
Одесса	0,0	0,1	30,7	88,9	40,4	3,2	3,6	4,8	3,8	13,7	11520	83829
Симферополь	0,0	0,2	22,3	90,8	25,3	5,0	4,5	4,7	2,4	12,6	9876	78658
Воронеж	0,3	0,0	1,1	82,2	14,2	3,5	5,3	1,3	0,6	7,9	5810	73190
Саратов	0,1	0,0	7,0	95,4	57,8	18,6	9,1	1,0	0,0	18,5	12207	65950
Харьков	0,1	0,1	5,9	89,2	28,8	5,5	3,2	2,8	1,0	10,9	8123	56558
Днепропетровск	0,0	0,2	8,3	86,5	27,5	12,6	9,5	3,5	3,5	15,4	11899	77263
Волгоград	0,5	0,1	13,9	92,9	52,8	12,1	6,1	3,3	0,6	23,1	14479	62803
Запорожье	0,0	0,1	5,4	86,9	35,0	9,5	5,4	5,4	2,2	15,0	8719	58234
Ростов-на-Дону	0,2	0,0	7,6	89,7	40,1	7,6	5,3	3,7	0,6	14,8	10335	70057
Астрахань	0,3	0,1	1,9	86,1	11,6	0,0	1,9	0,5	0,0	17,1	5706	33341
Краснодар	0,2	0,3	0,0	87,9	13,5	1,6	2,3	2,2	1,9	11,2	6429	57295
Ставрополь	1,3	0,2	8,6	78,1	75,8	10,5	12,6	3,8	0,3	21,9	13461	61339
Анапа	0,1	0,0	11,2	73,9	12,9	0,3	7,4	1,0	0,8	4,3	1549	36359
Мин. Воды	0,0	0,0	0,2	90,5	13,7	0,9	0,9	0,7	0,5	11,2	8857	78781
Сочи	1,1	0,3	-	23,0	0,7	0,2	0,0	1,0	3,4	1,3	572	43722
Нальчик	0,4	0,2	33,3	82,5	35,9	8,1	15,7	0,9	0,5	21,1	8645	40959
Махачкала	0,0	0,0	0,0	87,4	6,5	0,9	6,3	0,0	0,0	8,0	2954	36805

Отметим также повышенную повторяемость этой градации при обложных осадках (группа 60–69) – до 18,6 % в Саратове и более 10 % в Днепропетровске, Волгограде и Ставрополе, при низкой (менее 1 %) повторяемости на московских аэродромах и в Мурманске, Архангельске, Ханты-Мансийске, Санкт-Петербурге, Риге, Таллинне, Нижнем Новгороде. Влияние снегопадов на видимость этой градации более значительно, чем на МДВ ≤ 300 м, так что ее повторяемость достигает 15,7 % в Нальчике и 12,6 % в Ставрополе, но в основном остается в пределах до 5–6 %.

Представляется естественным ожидать наличия связи между повторяемостью ухудшенной видимости и наличием низкой облачности. Такая связь действительно прослеживается по нашим данным (таблицы не приводятся). Повторяемость МДВ ≤ 300 м в интервале ВНГО ≤ 90 м очень высока (десятки процентов) с максимальными значениями в Саратове (43,8 %), Краснодаре (42,0 %) и Ставрополе (41,9 %). При большей ВНГО эта повторяемость уменьшается до нуля и только в интервале $1500 \leq \text{ВНГО} \leq 10000$ м, т. е. при отсутствии низкой облачности, увеличивается до нескольких процентов (с максимумом в Ставрополе, равным 9,7 %, рис. 2). При анализе этих результатов следует, впрочем, иметь в виду, что наиболее низкие (≤ 90 м) значения ВНГО нередко означают вертикальную видимость (в случаях, когда неба не видно из-за снегопада и невозможно определить балл облачности). При большей ВНГО видимость ≤ 300 м наблюдается крайне редко. Следует иметь в виду также, что и ВНГО ≤ 90 м – явление весьма редкое и с трудом поддающееся прогнозированию, тогда как, например, отсутствие низкой облачности (ВНГО > 1500 м) наблюдается часто. В целом, полезных связей между ВНГО и МДВ установить не удастся.

Более содержательным представляется распределение повторяемостей ухудшенной видимости по градациям относительной влажности RH (таблицы не приводятся). Именно для МДВ ≤ 300 м на всех аэродромах отмечается нулевая или очень низкая (0,0–0,2 % везде, кроме 0,6 % в Салехарде и 0,4 % в Кишиневе) повторяемость при всех значениях относительной влажности ниже 90 %, тогда как в интервале 90–100 % эта повторяемость оказывается в 5–9 раз выше среднегодовой.

Фактически подавляющее большинство случаев ухудшенной видимости наблюдается в этом интервале относительной влажности, а на 14 аэродромах, в том числе Шереметьеве, Риге, Минске, Киеве, Симферополе, Ставрополе, Минеральных Водах, Нальчике, эта градация видимости наблюдается только при относительной влажности 90 % и выше. Этот результат указывает на то, что ухудшение видимости в данных условиях целиком определяется полем влажности и наличием продуктов ее конденсации.

Для МДВ ≤ 800 м ситуация аналогична, с той разницей, что несколько больше случаев наличия обнаруживается при $80 \leq \text{RH} < 90$ % – в Уфе до 10 %. Как и для МДВ ≤ 300 м, подавляющее большинство случаев

наличия МДВ ≤ 800 м наблюдается при $RH \geq 90\%$. а при $RH < 80\%$ и $RH < 90\%$, соответственно, на 10 и 4 аэродромах такая видимость не наблюдалась ни разу.

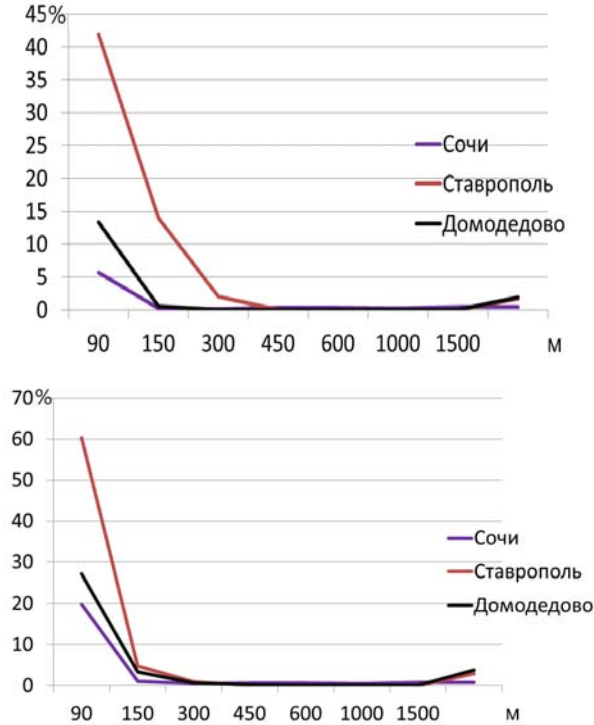


Рис. 2. Повторяемость (%) МДВ ≤ 300 м (вверху) и МДВ ≤ 800 м (внизу) в зависимости от высоты нижней границы облаков (м) на аэродромах Сочи, Ставрополь и Домодедово.

Fig. 2. Occurrence frequency (%) of visibility ≤ 300 m (upper panel) and ≤ 800 m (lower panel) as dependent on the cloud base height (m) in Sochi, Stavropol and Domodedovo.

Относительная влажность сравнительно успешно прогнозируется современными численными моделями, что открывает определенные возможности прогнозирования ухудшенной видимости указанных градаций хотя бы на некоторых аэродромах. Однако даже при $RH \geq 90\%$ все же повторяемость наличия видимости как ≤ 300 м, так и ≤ 800 м остается невысокой, хотя и намного выше среднегодовой. Так, повторяемость МДВ ≤ 300 м при $RH \geq 90\%$ максимальна в Саратове (11,8%), Нальчике и Ставрополе (11,3%), а на большинстве аэродромов по-прежнему представляет собой редкое явление. В несколько меньшей степени это относится и к МДВ ≤ 800 м: наибольшие повторяемости при $RH \geq 90\%$

в Волгограде, Нальчике и Саратове – более 17 %, а еще на 10 аэродромах в южной части области превышают 10 %, тогда как в северной и центральной частях области эта повторяемость порядка нескольких процентов (2,6–2,7 % в Архангельске, Ханты-Мансийске, Риге, а также в Шереметьеве). Самая же низкая повторяемость отмечена в Сочи (1,6 %).

В определенной степени наличие или отсутствие ухудшенной видимости зависит и от скорости ветра. Чаще всего наличие пониженных значений МДВ ассоциируется со штилями или со слабыми ветрами переменных направлений, однако на некоторых аэродромах оно наблюдается и при умеренных и сильных ветрах. На рис. 3 приведены примеры того и другого типов распределения повторяемости для нескольких аэродромов.

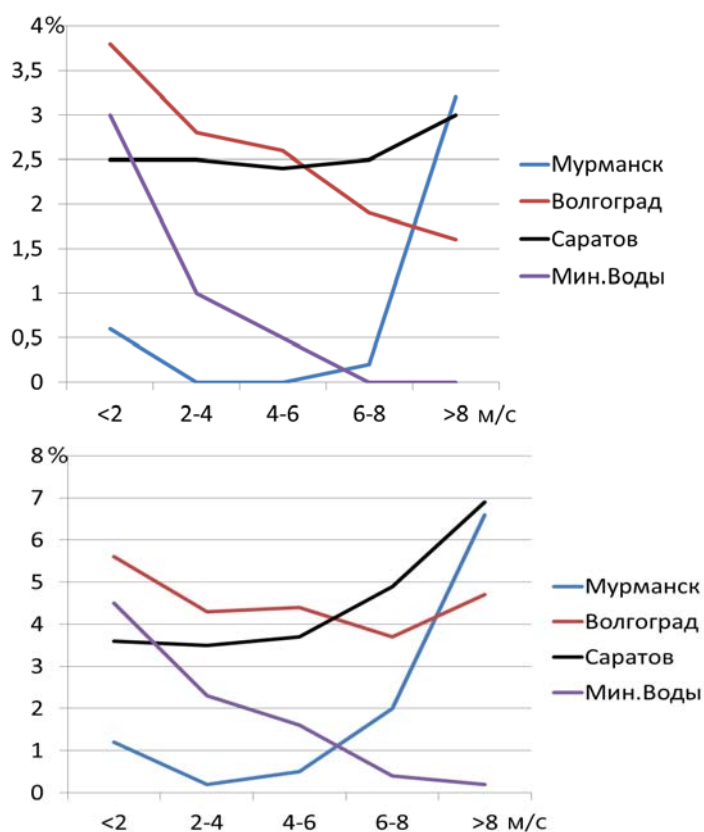


Рис. 3. Повторяемость (%) МДВ ≤ 300 м (вверху) и МДВ ≤ 800 м (внизу) в зависимости от скорости ветра у земли (м/с) на аэродромах Мурманск, Волгоград, Саратов и Минеральные Воды.

Fig. 3. Occurrence frequency (%) of visibility ≤ 300 m (upper panel) and ≤ 800 m (lower panel) as dependent on the surface wind speed (m/s) in Murmansk, Volgograd, Saratov, and Mineralnye Vody.

Из рисунка видно, что при скоростях ветра > 8 м/с повторяемость МДВ ≤ 800 м увеличивается сильнее, чем МДВ ≤ 300 м. Это, однако, относится не ко всем аэродромам: так, в Минеральных Водах обе градации видимости чаще наблюдаются при слабых ветрах, и это также вполне типичный случай, особенно в южной части области (Краснодар, Ставрополь, Ростов-на-Дону, Нальчик, Махачкала, а также аэродромы Украины, Белоруссии, Молдавии). Имеются и такие аэродромы, на которых зависимость между повторяемостью ухудшенной видимости и скоростью ветра вообще не прослеживается (на рисунке такому достаточно редкому типу соответствует кривая для Саратова и МДВ ≤ 300 м. Сюда же можно отнести еще Сочи, Ханты-Мансийск и Уфу).

Влияние направления ветра на повторяемость условий ухудшенной видимости определяется как циркуляционными условиями, так и особенностями местного рельефа. Увеличение повторяемости ухудшенной видимости нередко наблюдается при определенных направлениях ветра, которые обеспечивают адвекцию влажного либо запыленного воздуха. В ряде случаев повторяемость ухудшенной видимости при таких ветрах выше, чем при штилях или слабых ветрах переменных направлений. Чаще всего это наблюдается при ветрах южной и восточной четвертей, причем, как правило, проявляется в повторяемости обеих градаций – как МДВ ≤ 300 м, так и МДВ ≤ 800 м. Так, в Вильнюсе повторяемости этих градаций максимальны при южных ветрах (5,0 и 8,3 % соответственно), тогда как их повторяемость при штилях составляет 4,5 и 7,5 % соответственно. В Кишиневе максимальные повторяемости обеих градаций видимости наблюдаются при восточных ветрах (6,7 и 9,0 % для МДВ ≤ 300 м и МДВ ≤ 800 м соответственно), что также выше, чем при штилях. В Волгограде максимальные повторяемости (7,8 и 11,6 %) обнаруживаются при юго-восточных ветрах для МДВ ≤ 300 м и МДВ ≤ 800 м соответственно; та же ситуация в Ростове-на-Дону (4,8 и 6,5 % соответственно).

Анализ обнаруживает на некоторых аэродромах возрастание повторяемости определенных градаций видимости при конкретных направлениях ветра, но при этом она остается ниже, чем при штилях или слабых ветрах переменных направлений. Такие условия характерны для Минска (повторяемость МДВ ≤ 800 м составляет 5,2 % при юго-восточных ветрах и 6,3 % при штилях), Одессы (5,7 % повторяемости МДВ ≤ 800 м при южных ветрах и 11,5 % при штилях) и Нальчика (5,2 % для МДВ ≤ 300 м и 7,9% для МДВ ≤ 800 м при северо-восточных ветрах, но при штилях 6,4 и 9,3 % соответственно).

Как это было отмечено и в [2], ухудшение видимости чаще бывает кратковременным. Приблизительно в половине случаев эпизоды МДВ ≤ 300 м продолжаются не более часа, а в 60–85 % случаев – не более 2 ч (в Сочи – в 97,4 % случаев). Эпизоды продолжительностью более 12 ч достаточно редки: в Саратове они составляют 5,5 % случаев, в Волгограде

и Днепропетровске – 3,7 % случаев. На большинстве же аэродромов их повторяемость – от долей процента до 2–4 %, а в Сочи, Анапе, а также Мурманске, Сыктывкаре, Ханты-Мансийске, Санкт-Петербурге, Риге, Внуково эпизодов указанной продолжительности вообще не наблюдается. Вместе с тем нередки эпизоды МДВ ≤ 300 м продолжительностью 3–6 ч: на 26 аэродромах из 42 их повторяемость превышает 10 %, а минимальна она в Сочи (1,0 %).

Продолжительность непрерывного существования МДВ ≤ 800 м в целом больше, чем МДВ ≤ 300 м, хотя и не на всех аэродромах. Почти везде более чем в половине случаев эпизоды наличия видимости МДВ ≤ 800 м продолжаются не более 1 ч и в 70–80 % случаев не более 2 ч. В частности, эпизоды продолжительностью 3–6 ч, как выше отмечено и для МДВ ≤ 300 м, на 26 аэродромах наблюдаются более чем в 10 % случаев. Несколько более часты эпизоды продолжительностью 6–12 ч – более чем в 10 % случаев на четырех аэродромах (в Нальчике, Махачкале, Минеральных Водах и Волгограде). В целом наиболее кратковременные периоды ухудшения видимости характерны для Сочи, наиболее продолжительные – для Нальчика, Волгограда, Саратова, Минеральных Вод.

Представленные выше распределения повторяемостей ухудшенной видимости, полученные впервые по 42 крупным аэродромам европейской России на основе достаточно длинных рядов данных аэродромных наблюдений с высоким временным разрешением содержат количественные оценки связей между наличием или отсутствием ухудшенной видимости и другими характеристиками погоды, измеренными на тех же аэродромах. Полученные результаты пополняют наши знания об условиях метеорологической дальности видимости на рассмотренных аэродромах и указывают на определенные перспективы разработки, по крайней мере для некоторых аэродромов, статистических методов прогноза ухудшенной видимости на основе выходной продукции численных моделей атмосферы.

Список литературы

1. Шакина Н.П., Иванова А.Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации: Научно-методическое пособие. М.: Триада лтд, 2016. 312 с.
2. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н. Режимные характеристики условий ограниченной видимости на аэродромах азиатской части России и ближнего зарубежья // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2018. № 4 (370). С. 18-35.
3. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Иванова А.Р., Ветрова Е.И. Возможности прогнозирования высоты нижней границы облаков нижнего яруса на аэродромах европейской части бывшего СССР по данным численных моделей // Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 148. С. 5-30.
4. Ветрова Е.И., Скриптунова Е.Н., Шакина Н.П. Режим низкой облачности и ее прогноз на аэродромах европейской территории бывшего СССР // Метеорология и гидрология. 2013. № 1. С. 12 -31.
5. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы: Издание второе. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 751 с.

6. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Ветрова Е.И., Иванова А.Р., Желнин А.А. Повторяемость низкой облачности на европейской территории бывшего СССР по данным наблюдений на аэродромах // Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 348. С. 90-114.

7. Шакина Н.П., Хоменко И.А., Иванова А.Р., Скриптунова Е.Н. Образование и прогнозирование замерзающих осадков: обзор литературы и некоторые новые результаты // Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 348. С. 115-141.

References

1. *Shakina N.P., Ivanova A.R.* Prognozirovanie meteorologicheskikh usloviy dlya aviatsii. Moscow, Triada LTD publ., 2016, 312 p. [in Russ.].

2. *Shakina N.P., Skriptunova E.N.* Mean characteristics of limited visibility conditions at the aerodromes in the Asian part of Russia and in the neighboring countries. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy* [Hydrometeorological Research and Forecasting], 2018, vol. 370, no. 4, pp. 18-35. [in Russ.].

3. *Shakina N.P., Skriptunova E.N., Ivanova A.R., Vetrova E.I.* Occurrence frequency of low clouds in the former European USSR from the aerodrome observation data. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy* [Hydrometeorological Research and Forecasting], 2012, vol. 347, pp. 41-55. [in Russ.].

4. *Vetrova E. I., Skriptunova E. N., Shakina N. P.* Low clouds and their forecast at the airports of the European part of the former USSR. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2013, vol. 38, no. 1, pp. 6-19, DOI: 10.3103/S1068373913010020.

5. Matveev L.T. Kurs obshchey meteorologii. Fizika atmosfery: Izdanie vtoroe. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1984, 751 p. [in Russ.].

6. *Shakina N.P., Skriptunova E.N., Vetrova E.I., Ivanova A.R., Zhelnin A.A.* Occurrence frequency of low clouds in the former European USSR from the aerodrome observation data. *Trudy Gidromettsentra Rossii* [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia], 2012, vol. 348, pp. 90-114. [in Russ.].

7. *Shakina N.P., Khomenko I.A., Ivanova A.R., Skriptunova E.N.* Origination and forecasting of freezing precipitation: review and some new results. *Trudy Gidromettsentra Rossii* [Proceedings of the Hydrometcentre of Russia], 2012, vol. 348, pp. 115-141. [in Russ.].

*Поступила 07.10.2020; одобрена после рецензирования 04.12.2020;
принята в печать 11.12.2020.*

*Submitted 07.10.2020; approved after reviewing 04.12.2020;
accepted for publication 11.12.2020.*