

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-2-53-68>

УДК 551.582.2:656.71

Динамика эпизодов низкой облачности и ограниченной видимости на аэродромах Российской Федерации в период 2001–2020 гг.

А.Р. Иванова, Е.Н. Скриптунова

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

Кратко представлены результаты опроса пользователей авиационной метеорологической информации о значимости влияния климатических изменений на авиацию. Установлено, что наибольшую озабоченность пилотов, диспетчеров воздушного движения, операторов авиалиний и т.д. вызывают климатические изменения режима низкой облачности и видимости на аэродромах. На основе данных аэродромных наблюдений METAR за 2001–2020 гг. исследуется изменение количества и продолжительности эпизодов с ограниченной видимостью (≤ 350 и ≤ 800 м) и высотой нижней границы облачности ≤ 60 м на 49 международных аэродромах Российской Федерации. Установлено, что примерно на 20 % аэродромов в указанный период отмечалось увеличение количества эпизодов с низкой облачностью, почти столько же аэродромов продемонстрировало улучшение ситуации с ограниченной видимостью. Анализируется изменение средней и максимальной продолжительности подобных эпизодов для каждого аэродрома.

Ключевые слова: авиация, климатические изменения, туман, низкая облачность, видимость, аэродромные наблюдения

Change of episodes with low ceiling and low visibility at aerodromes in the Russian Federation for 2001-2010

A.R. Ivanova, E.N. Skriptunova

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

The results of a survey of aviation stakeholders on the significance of the impact of climate change on aviation are briefly presented. It has been found that pilots, air traffic controllers, airline operators, etc. are most interested in information related to climatic changes in the regime of low ceiling and visibility at aerodromes. Based on METAR data for 2001–2020, the variations in the number and duration of episodes with low visibility (≤ 350 and ≤ 800 m) and low ceiling ≤ 60 m at 49 international aerodromes of the Russian Federation are investigated. It was found that about 20% of the aerodromes during the period under study showed an increase in the number of episodes with low ceiling, almost the same number of aerodromes showed an improvement in the situation with low visibility. The change in the average and maximum duration of such episodes for each aerodrome is analyzed.

Keywords: aviation, climatic change, fog, ceiling, visibility, aerodrome observations

Введение

Грядущие и наблюдаемые изменения климата способны оказать влияние на все аспекты хозяйственной деятельности человека. Многочисленные исследования подтверждают, что изменения циркуляционных и погодных процессов в различных регионах Земли могут существенно отразиться на развитии авиационного транспорта [9, 14]. По результатам климатического моделирования установлено увеличение в будущем частоты появления зон турбулентности [17]. Ожидается изменение повторяемости глубокой конвекции и конвективных явлений погоды в различных регионах земного шара [1, 7, 12, 15]. Изучается динамика выпадения переохлажденных осадков как фактора обледенения воздушных судов [8, 10, 16]. Описывается негативный эффект от прогнозируемого повышения глобальной температуры, который повлияет на коммерческую загрузку воздушных судов [5, 6, 13, 18].

Согласно результатам опроса, который в 2020 году провела Всемирная метеорологическая организация [11], изменение климата весьма беспокоит представителей авиационной отрасли. Были отмечены сферы деятельности, которые наиболее вероятно будут затронуты, и обозначены погодные факторы, чьи изменения могут оказать воздействие на развитие и функционирование авиационного транспорта. Краткие результаты опроса описаны в разделе 1. Раздел 2 посвящен наблюдающимся с начала века изменениям режима низкой облачности и видимости на аэродромах Российской Федерации.

1. Оценка влияния изменений климата авиационными пользователями

В октябре 2020 года ВМО опубликовала результаты опроса респондентов из числа возможных потребителей авиационной метеорологической информации на тему «Влияние изменения и изменчивости климата на авиацию» [11]. На главный вопрос – считают ли пилоты, диспетчеры, операторы аэропортов и авиалиний, представители авиационной промышленности, авиационная администрация и пр. это влияние значимым – положительный ответ дали 93 % опрошенных. 49 % оценили это влияние как существенное («significant»), еще 44 % – как умеренное («moderate»). Таким образом, авиационная отрасль выразила озабоченность по поводу предстоящих климатических изменений. Самым актуальным в этом отношении временным интервалом почти три четверти (74 %) респондентов назвали период от 2 до 20 лет.

Как показал опрос, климатические изменения могут затронуть самые различные аспекты авиационной деятельности. Так, на *аэродромную инфраструктуру* окажут влияние экстремальные значения температуры, приводящие к термическим повреждениям покрытия взлетно-посадочных полос (ВПП); меняющиеся условия потребуют адаптации рабочих температурных диапазонов оборудования. Усиление экстремальных осадков

может привести к просадке грунтов, необходимости улучшения дренирования ВПП, рулежных дорожек и стоянок ВС. Наибольшее влияние на инфраструктуру аэродромов, по мнению респондентов, окажет повышение вероятности затопления летного поля из-за сильных дождей и штормовых нагонов.

Оперативное функционирование аэропорта в условиях изменения климата может столкнуться со следующими проблемами. Из-за изменения ветрового режима возможен переход к более пологим траекториям взлета, что приведет к усилению «акустического» загрязнения (шума двигателей) прилегающих территорий. Весьма вероятным представляется увеличение времени обслуживания ВС в более жарком климате. Главный же негативный результат связан с удлинением взлетных и посадочных дистанций пробега в более теплом климате и с сокращением пропускной способности ВПП из-за более длительного времени ее занятости.

При выполнении задач *управления воздушным движением* в условиях меняющегося климата придется столкнуться с увеличением проблем в управлении пропускной способностью аэропорта из-за увеличения повторяемости гроз. Пропускная способность секторов управления воздушным движением также усложнится из-за изменения температурного и ветрового режима на высотах, частоты возникновения конвективной облачности. Особую тревогу вызывает потенциальное увеличение операций при низкой видимости, связанное с ростом повторяемости туманов.

Влияние изменения климата на *безопасность полетов* может проявляться в возникновении сильных температурных инверсий в приземном слое, усложняющих выполнение операций взлета/посадки. Однако самыми важными следствиями воздействия климатических изменений на безопасность полетов были названы увеличение интенсивности и повторяемости турбулентности, а также увеличение риска столкновения с птицами из-за меняющихся путей их миграции.

Эффективность работы авиакомпаний в меняющемся климате будет снижаться из-за увеличения расхода топлива. Это может быть связано с более частым использованием вспомогательных силовых установок воздушного судна при его развороте, с более длинными траекториями полета при обходе зон грозовой конвекции и турбулентности, с уменьшением крейсерских скоростей. В более теплом климате следует ожидать сокращение загрузки судов, а при возрастании повторяемости экстремальной погоды (интенсивные штормы, сильные снегопады) – частое нарушение рабочих операций.

Один из важнейших вопросов [11], обращенных к представителям авиационной отрасли, касался метеорологических факторов, чьи климатические изменения в целом наиболее важны для функционирования авиации в будущем. Респондентам предлагалось выбрать по крайней мере три пункта из следующего списка:

- температура (приземная и на высотах),

- частота и интенсивность турбулентности,
- частота и интенсивность обледенения на земле и в полете,
- частота и интенсивность конвекции,
- положение и интенсивность струйных течений,
- высота тропопаузы,
- плохая видимость (включая туманы) и низкая облачность,
- уровень мирового океана.

Анализ ответов обнаружил следующие результаты. Подавляющая часть опрошенных (69 %) была озабочена в первую очередь проблемой, связанной с климатическими изменениями плохой видимости и низкой облачности на аэродромах, хотя динамика этих характеристик, как правило, исследуется на более коротких временных масштабах. Далее почти с равным весом расположились характеристики турбулентности (59 %), конвекции (58 %) и температура (58%). Изменение ветрового режима назвали 37 % респондентов, климатические тенденции частоты и интенсивности обледенения – 27 %.

Следует отметить, что две самые многочисленные группы респондентов – диспетчеры и пилоты – обнаружили неодинаковый подход к оценке климатических изменений одних и тех же факторов. Так, если авиадиспетчеры во главу списка значимых факторов поставили конвекцию (81 %), а высота тропопаузы замыкала этот список (7 %), то пилоты отводили обоим факторам равнозначную роль (по 37 %).

В целом, общее мнение авиационного сообщества было таковым: самую большую проблему для авиации, связанную с изменением климата, представляет увеличение эпизодов с ограниченной видимостью (в том числе из-за туманов) и низкой облачностью. По этой причине было принято решение исследовать тенденции количества и продолжительности подобных эпизодов, наблюдаемых на российских аэродромах в период 2001–2020 гг. Для этого были использованы базы данных аэродромных наблюдений METAR на 49 международных аэродромах Российской Федерации.

2. Тенденции некоторых авиационно-климатических характеристик в период 2001–2020 гг.

Туманы

Одной из причин ухудшения видимости на аэродромах является образование и адвекция туманов. В 2018 году авторы выпустили статью [2], в которой на основании данных аэродромных наблюдений METAR были выявлены тенденции повторяемости и продолжительности туманов на 51 крупном международном российском аэродроме (25 из которых расположены в европейской части Российской Федерации и 26 – в азиатской). Исследования проводились по данным наблюдений за три последовательных пятилетия – с 2001 по 2015 год.

Напомним, что по рекомендации ИКАО при составлении климатического описания аэродрома информация должна основываться на наблюдениях, проводившихся на аэродроме по крайней мере в течение 5 лет [3]. С тех пор временной ряд накопленных наблюдений увеличился, что позволило проследить за сохранением или нарушением ранее обнаруженных тенденций. К сожалению, прежде используемый для исследования список аэродромов России сократился: из-за придания статуса международного новым, недавно построенным аэропортам в Ростове-на-Дону («Платов» вместо «Ростов») и Саратове («Гагарин» вместо «Центральный»), в этих пунктах нарушился ряд наблюдений. В табл. 1 приводится список аэродромов, для которых проводились исследования, и число сводок METAR, выпущенных за двадцатилетний период на каждом из них.

Таблица 1. Список аэродромов, для которых проводились исследования, и число сводок METAR, выпущенных на них, в период 2001-2020 гг.

Table 1. List of aerodromes under consideration with corresponding number of METAR reports for 2001-2020

№	Пункт / аэродром	Код ИКАО	Кол-во сводок
Европейская часть			
1	Анапа / Витязево	URKA	285813
2	Архангельск / Талаги	ULAA	278938
3	Астрахань / Нариманово	URWA	339321
4	Волгоград / Гумрак	URWW	342916
5	Воронеж / Чертовицкое	UUOO	280158
6	Казань	UWKD	336948
7	Краснодар / Пашковский	URKK	341981
8	Мин. Воды	URMM	346434
9	Москва / Шереметьево	UU EE	345433
10	Москва / Внуково	UUWW	346546
11	Москва / Домодедово	UUDD	347238
12	Мурманск	ULMM	331416
13	Н. Новгород / Стригино	UWGG	332232
14	Нижнекамск / Бегишево	UWKE	329489
15	Салехард	USDD	270863
16	Самара / Курумоч	UWWW	345264
17	С.-Петербург / Пулковое	ULLI	345650
18	Симферополь	URFF	343911
19	Ставрополь / Шпаковское	URMT	328281
20	Сочи	URSS	341243
21	Сыктывкар	UUYU	284890
22	Ульяновск / Восточный	UWLL	301583
23	Уфа	UWUU	344923

Азиатская часть			
24	Абакан	UNAA	345559
25	Барнаул	UNBB	344394
26	Благовещенск / Игнатьево	UHBB	261268
27	Братск	UIBB	345224
28	Владивосток / Яковичи	UHWW	291490
29	Екатеринбург / Кольцово	USSS	345456
30	Иркутск	UIII	345111
31	Кемерово	UNEE	339842
32	Красноярск / Емельяново	UNKL	343797
33	Магадан / Сокол	UHMM	224824
34	Мирный	UERR	230906
35	Нерюнгри / Чульман	UELL	240915
36	Николаевск-на-Амуре / Николаевск	UHNN	233177
37	Новокузнецк / Спиченково	UNWW	331363
38	Новосибирск / Толмачево	UNNT	346066
39	Норильск / Алыкель	UOOO	219234
40	Омск / Центральный	UNOO	346145
41	Сургут	USRK	265344
42	Тикси	UEST	185232
43	Тюмень / Роцино	USTR	339712
44	Улан-Удэ / Восточный	UIUU	327694
45	Хабаровск / Новый	UHNN	347177
46	Челябинск / Баландино	USCC	312036
47	Чита / Кадала	UIAA	263289
48	Южно-Сахалинск / Хомутово	UHSS	263289
49	Якутск	UEEE	304939

Примечание. Название аэродрома не приводится при совпадении с названием города.

По данным 2001–2015 гг. [2] были обнаружены 19 аэродромов, на которых существовали тенденции к уменьшению (11), либо к увеличению (8) числа эпизодов с туманами. В последующие пять лет эти тенденции сохранились только на пяти из них. Для московского аэродрома Домодедово и аэродрома Якутск число эпизодов с туманами продолжилось сокращаться (табл. 2). Напротив, на аэродромах Салехарда, Кемерово и Благовещенска отмечается последовательное увеличение эпизодов с туманами.

Особый интерес представляет продолжительность эпизодов с туманом, зарегистрированных на аэродромах. Напомним, поскольку в архивах METAR отсутствуют данные о точном времени начала или окончания эпизода, его длительность определялась с точностью до интервала времени между выпуском сводок. Так, если туман на аэродроме отмечался в единственной получасовой сводке, продолжительность эпизода

устанавливалась равной 30 минутам, если в двух сводках подряд – 1 часу и т. д. В табл. 3 включены те аэродромы, на которых: а) сохранялась отмеченная в предыдущие пятилетия тенденция к изменению для максимальной или средней продолжительности эпизодов (они отмечены заливкой) и б) в период 2016–2020 гг., даже при отсутствии тенденции, значения продолжительности оказались больше или меньше тех, что наблюдались ранее. Красный цвет чисел в таблице означает увеличение, синий – уменьшение продолжительности эпизодов.

Таблица 2. Число эпизодов с туманами на аэродромах за 2001-2020 гг. (красным обозначена тенденция к увеличению, синим – к уменьшению).

Table 2. Number of fog episodes at Russian aerodromes for 2001-2020 (positive and negative trends are in red and blue, respectively)

Пункт (аэродром)	Код ИКАО	Число эпизодов			
		2001–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2020
Москва, Домодедово	UUDD	581	564	351	300
Салехард	USDD	164	242	255	356
Якутск	UEEE	517	479	429	394
Кемерово	UNEE	155	170	229	263
Благовещенск	UHBB	122	143	168	241

Сохранение тенденции для максимальной продолжительности эпизодов с туманами отмечается только на аэродромах Анапы, Мурманска, Тикси, Казани (увеличение), а также Иркутска и Братска (уменьшение). При этом данные последнего пятилетия (2016–2020 гг.) демонстрируют следующие особенности. Для аэродромов в азиатской части страны – в Кемерово, Барнауле, Новокузнецке, Норильске, Абакане, Улан-Удэ и Хабаровске – по сравнению с предыдущими тремя пятилетиями сократилась средняя продолжительность эпизодов с туманом; для Екатеринбурга, Тикси, Тюмени, Красноярска и Николаевска-на-Амуре она увеличилась. Рост максимальной продолжительности эпизодов в последнее пятилетие отмечался в аэропортах Екатеринбурга и Николаевска-на-Амуре, сокращение максимальной продолжительности – в Омске, Барнауле, Новокузнецке, Улан-Удэ, Хабаровске, Владивостоке, Чите.

В европейской части России в Волгограде, Шереметьево, Минводах и Сочи в последнее пятилетие (2016–2020 гг.) отмечалось уменьшение как средней, так и максимальной продолжительности эпизодов с туманами. Значения максимальной продолжительности туманов, превышающие ранее зарегистрированные, отмечались на аэродромах Анапа, Казань, Мурманск, Салехард; для средней продолжительности – в Архангельске, Домодедово, Санкт-Петербурге. В среднем эпизоды с туманом стали короче в Краснодаре, Нижнем Новгороде и Ставрополе.

Таблица 3. Продолжительность (в часах) эпизодов с туманами на аэродромах за 2001-2020 гг. (заливкой выделены аэродромы с сохраняющейся тенденцией к увеличению или уменьшению длительности эпизодов)

Table 3. Duration of fog episodes (hours) at Russian aerodromes for 2001-2020 (aerodromes with positive or negative trends of fog duration are highlighted)

Пункт (аэродром)	Код ИКАО	Максимальная / средняя продолжительность (ч)			
		2001–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2020
Анапа	URKA	7.5/1.6	7.5/1.4	10.5/2.2	11.5/1.8
Архангельск	ULAA	7.0/1.6	11.5/1.7	16.0/1.7	9.0/1.8
Волгоград	URWW	62.5/3.8	42.5/4.4	56.0/4.9	33.0/3.2
Казань	UWKD	19.0/2.9	23.0/2.7	26.0/2.4	33.5/2.6
Краснодар	URKK	42.5/3.3	86.5/3.1	28.5/3.0	26.5/2.6
Мин. Воды	URMM	27.0/3.1	18.5/3.6	19.5/3.4	17.0/2.8
Москва, Шереметьево	UUEE	15.0/2.0	19.5/2.2	18.5/2.2	10.5/1.8
Москва, Домодедово	UUDD	38.0/1.7	17.0/1.4	18.0/1.8	17.5/1.9
Мурманск	ULMM	9.0/1.7	9.5/2.0	9.5/1.7	17.0/1.9
Н. Новгород	UWGG	21.0/2.4	21.0/2.4	12.0/1.7	12.5/1.4
Нижнекамск	UWKE	31.0/2.2	37.5/2.7	30.5/2.7	18.5/2.4
Салехард	USDD	17.5/2.4	18.5/2.4	16.5/2.8	20.5/2.5
С. -Петербург	ULLI	10.5/1.7	12.5/1.7	17.0/1.9	13.0/2.0
Ставрополь	URMT	34.0/3.4	30.0/3.5	49.5/4.0	33.5/3.3
Сочи	URSS	25.5/4.0	10.0/2.0	14.5/3.7	8.0/1.9
Абакан	UNAA	47.0/4.1	59.5/5.2	36.5/3.4	33.5/2.1
Барнаул	UNBB	15.5/2.2	27.0/2.6	16.0/2.2	12.0/2.0
Братск	UIBB	67.0/2.2	17.0/2.5	15.0/2.1	12.5/1.9
Владивосток	UHWV	17.5/2.3	14.5/2.8	15.0/2.8	12.5/2.4
Екатеринбург	USSS	14.0/1.6	11.5/1.5	11.0/1.3	15.0/1.9
Иркутск	UIII	19.5/1.8	19.5/1.9	12.0/1.9	11.0/1.8
Кемерово	UNEE	14.5/2.6	28.5/2.3	19.0/2.5	15.5/2.2
Красноярск	UNKL	49.0/1.4	12.5/1.3	11.5/1.3	14.0/1.5
Николаевск-на Амуре	UHNN	8.5/1.8	11.0/2.1	10.5/1.9	12.5/2.4
Новокузнецк	UNWW	22.0/2.8	30.0/2.8	27.5/2.6	13.5/2.5
Норильск	UOOO	27.5/3.1	18.5/2.8	35.5/2.9	24.0/2.5
Омск	UNOO	13.5/1.7	17.0/1.8	12.5/1.5	8.0/1.7
Тикси	UEST	8.5/1.1	17.0/2.3	17.0/2.3	20.5/2.7
Тюмень	USTR	12.5/1.8	11.5/2.0	15.0/2.1	12.0/2.3
Улан-Удэ	UIUU	10.5/1.8	11.0/3.2	13.5/2.8	7.0/1.5
Хабаровск	UHNN	10.5/2.2	14.0/2.5	11.0/2.2	9.0/1.8
Чита	UIAA	16.5/1.8	23.5/2.1	12.5/1.6	6.5/1.6

Низкая облачность и видимость

Климатические изменения низкой облачности и видимости на российских аэродромах ранее не рассматривались. В данном случае методология исследования была выбрана такая же, как для туманов. Изучалось количество эпизодов с низкой облачностью и/или видимостью, оцененное по сводкам METAR за 5-летний период, их максимальная и средняя продолжительность.

Рассмотрим вначале отдельно эпизоды с низкой облачностью и видимостью, а затем их комбинацию. Для анализа были выбраны значения высоты нижней границы облачности $VHGO \leq 60$ м и дальность видимости $VIS \leq 350$ и ≤ 800 м. Результаты представлены в табл. 4–6, где красная последовательность цифр для четырех пятилетий означает тенденцию к увеличению характеристик со временем, синяя – к уменьшению.

Таблица 4. Количество эпизодов с $VHGO \leq 60$ м (NE), максимальная (MD) и средняя (SD) длительность эпизодов в часах на аэродромах РФ

Table 4. Number of episodes with ceiling ≤ 60 m (NE), maximum (MD) and average (SD) duration of episodes in hours at Russian aerodromes

Пункт (аэродром)	Код ИКАО	NE	MD	SD	NE	MD	SD	NE	MD	SD	NE	MD	SD
		2001–2005			2006–2010			2011–2015			2016–2020		
Архангельск	ULAA	184	8.5	1.6	200	15.0	2.0	306	17.0	1.7	385	16.0	1.8
Воронеж	UUOO	366	19.5	2.0	434	25.5	2.5	325	31.0	2.7	371	25.5	2.9
Москва, Шереметьево	UUEE	118	11.0	2.1	166	17.5	2.4	247	18.0	2.1	441	27.5	2.3
Москва, Внуково	UUWW	248	37.5	2.1	200	18.5	2.5	362	26.5	2.5	543	58.5	2.8
Мурманск	ULMM	344	10.5	1.1	349	9.5	1.4	293	15.5	2.1	569	30.0	2.3
Нижнекамск	UWKE	310	15.0	2.0	418	44.0	2.4	303	37.0	2.8	415	23.0	2.7
Салехард	USDD	264	17.5	2.3	434	24.0	2.5	604	28.5	2.3	868	28.5	2.5
Самара	UWWW	193	20.0	2.2	241	23.0	2.7	343	18.5	2.2	346	30.5	2.4
Сочи	URSS	50	5.5	1.1	44	9.5	1.1	69	12.0	1.6	23	7.0	1.9
Ульяновск	UWLL	64	13.5	1.9	93	25.5	2.6	122	15.0	2.3	145	29.0	2.8
Барнаул	UNBB	135	14.0	1.9	251	23.5	2.0	417	26.0	1.5	447	14.5	1.4
Благовещенск	UHBB	120	7.5	1.9	84	9.5	2.1	264	15.0	2.1	188	11.5	2.3
Братск	UIBB	312	45.0	2.6	305	17.5	2.3	204	16.0	2.2	254	16.0	2.5
Екатеринбург	USSS	110	11.0	1.9	164	11.0	1.6	399	12.5	1.5	314	14.5	1.7
Красноярск	UNKL	49	14.5	2.2	64	7.5	1.8	288	12.5	1.6	417	11.5	1.1
Кемерово	UNEE	147	14.5	1.8	246	23.0	1.6	262	17.5	1.7	468	15.5	2.1
Нерюнгри	UELL	116	8.5	1.5	148	11.0	1.9	116	9.0	1.9	147	9.5	2.0
Николаевск	UHNN	116	8.5	1.7	152	18.5	1.8	229	15.0	2.1	181	12.5	2.2
Норильск	UOOO	626	55.5	3.2	665	38.5	2.7	675	37.0	2.6	765	25.5	1.8
Улан-Удэ	UIUU	50	9.0	1.9	51	11.0	3.1	63	13.0	2.6	79	7.0	1.8

Таблица 5. Количество эпизодов за 5 лет с видимостью ≤ 350 м (**NE**), максимальная (**MD**) и средняя (**SD**) длительность эпизодов в часах на аэродромах РФ
Table 5. Number of episodes with visibility ≤ 350 m (**NE**), maximum (**MD**) and average (**SD**) duration of episodes in hours at Russian aerodromes

Пункт (аэродром)	Код ИКАО	NE	MD	SD	NE	MD	SD	NE	MD	SD	NE	MD	SD
		2001–2005			2006–2010			2011–2015			2016–2020		
Анапа	URKA	33	3.5	1.1	48	4.5	1.3	74	10.0	1.9	109	8.0	1.6
Астрахань	URWA	233	11.5	1.9	193	15.0	2.4	187	16.0	2.9	171	12.0	2.8
Волгоград	URWW	460	38.0	3.1	408	30.0	3.1	348	55.0	3.7	343	29.5	2.6
Казань	UWKD	230	11.0	1.7	187	22.0	2.5	193	24.5	1.9	145	33.0	2.2
Москва, Шереметьево	UUEE	145	14.0	1.6	94	14.0	1.9	63	9.0	1.9	35	5.5	1.3
Москва, Внуково	UUWW	284	15.5	1.4	241	11.0	1.6	124	8.5	1.7	62	11.0	1.8
Москва, Домодедово	UDDD	360	17.5	1.5	313	18.5	1.5	200	7.0	1.5	78	15.5	1.7
Мурманск	ULMM	105	4.5	1.1	130	7.0	1.4	134	7.5	1.2	126	8.5	1.4
Самара	UWWW	250	18.0	2.0	227	16.5	2.0	223	13.5	1.7	141	15.5	2.3
С. Петербург	ULLI	241	9.0	1.3	211	7.5	1.3	153	14.5	1.5	122	7.5	1.4
Екатеринбург	USSS	358	13.0	1.5	383	11.5	1.2	337	10.5	1.2	195	9.5	1.4
Иркутск	UIII	481	11.5	1.3	297	11.5	1.7	295	9.5	1.7	200	9.0	1.7
Нерюнгри	UELL	13	3.5	1.4	9	5.5	2.8	5	6.0	2.0	3	2.0	1.2
Новосибирск	UNNT	197	9.5	1.6	188	7.0	1.5	183	11.0	1.3	141	10.5	1.5
Новокузнецк	UNWW	174	14.5	2.5	207	29.5	2.2	267	15.5	2.2	281	11.5	2.0
Нерюнгри	UELL	13	3.5	1.4	9	5.5	2.8	5	6.0	2.0	3	2.0	1.2
Улан-Удэ	UIUU	33	6.0	1.3	36	8.5	2.5	39	12.0	2.3	55	4.5	1.3
Хабаровск	UHNN	98	16.0	2.1	74	9.0	2.1	152	12.5	1.6	86	7.0	1.4
Чита	UIAA	108	13.5	1.3	111	9.5	1.1	93	5.5	1.2	33	3.0	1.2
Якутск	UEEE	370	27.5	3.6	558	38.0	3.6	637	51.5	3.4	522	39.0	2.8

Негативная климатическая тенденция, проявляющаяся в увеличении количества эпизодов с $VHGO \leq 60$ м, зафиксирована на 20 % исследуемых аэродромов (10 из 49). При этом уменьшение подобных эпизодов нигде не наблюдается. В европейской части России увеличение эпизодов с низкой облачностью на протяжении всего периода отмечается в Архангельске, Шереметьево, Салехарде, Самаре, Ульяновске; в азиатской – в Норильске, Красноярске, Кемерово, Барнауле, Улан-Удэ. Максимальный прирост эпизодов по сравнению с первым пятилетием отмечен в Красноярске – в 8.5 раз. В Шереметьево и Салехарде, кроме увеличения числа эпизодов с $VHGO \leq 60$ м, отмечен рост их максимальной продолжительности.

Отметим, что на некоторых аэродромах азиатской части страны длительность эпизодов с низкой облачностью сокращается: в Братске отмечается тенденция к уменьшению максимальной продолжительности эпизодов, в Красноярске – средней, в Норильске – как средней, так и максимальной.

Анализ динамики случаев ограниченной видимости проводился для двух пороговых значений: ≤ 350 м и ≤ 800 м. В отличие от динамики низкой облачности, изменение режима видимости за 2001–2020 гг. на российских аэродромах выглядит довольно позитивным.

Характеристики эпизодов с ограниченной видимостью, согласно табл. 5 и 6, гораздо чаще обнаруживают тенденцию к уменьшению, чем к увеличению. Количество аэродромов, на которых сократилось число эпизодов с ограниченной видимостью, составляет примерно 20 %. Максимальное сокращение случаев (в 4.6 раза) с ограниченной видимостью отмечается в аэропортах московского аэроузла – в Домодедово для $VIS \leq 800$ м и во Внуково для $VIS \leq 350$ м. При этом во Внуково незначительно выросла средняя продолжительность эпизодов (для случаев $VIS \leq 350$ м – с 1.4 до 1.7 ч, для $VIS \leq 800$ м – с 1.6 до 1.9 ч). В Шереметьево с 14 до 5.5 ч сократилась максимальная продолжительность эпизодов с $VIS \leq 350$ м.

Таблица 6. Количество эпизодов с видимостью ≤ 800 м (NE), максимальная (MD) и средняя (SD) длительность эпизодов в часах на аэродромах РФ
Table 6. Number of episodes with visibility ≤ 800 m (NE), maximum (MD) and average (SD) duration of episodes in hours at Russian aerodromes

Пункт (аэродром)	Код ИКАО	NE	MD	SD	NE	MD	SD	NE	MD	SD	NE	MD	SD
		2001–2005			2006–2010			2011–2015			2016–2020		
Анапа	URKA	129	8.0	1.5	107	9.5	1.6	148	10.5	1.9	168	10.5	1.9
Волгоград	URWW	637	62.5	3.4	491	40.0	4.1	489	55.5	3.9	485	32.0	2.8
Воронеж	UUOO	495	18.5	1.6	502	16.0	1.9	328	29.0	2.3	338	23.0	2.3
Краснодар	URKK	389	42.5	2.8	373	68.0	2.7	279	26.5	2.5	246	22.0	2.5
Москва Ш.	UUEE	380	15.0	1.4	250	34.5	1.7	183	17.5	1.5	126	8.5	1.4
Москва В.	UUWW	510	40.0	1.6	440	26.0	1.8	249	20.0	1.8	166	24.0	1.9
Москва Д.	UUDD	639	29.0	1.6	576	39.5	1.6	380	17.5	1.6	186	16.5	1.7
Н. Новгород	UWGG	570	20.5	1.9	633	21.0	1.9	477	11.5	1.4	163	12.0	1.2
С. Петербург	ULLI	499	16.0	1.4	364	10.5	1.5	259	17.0	1.5	207	10.5	1.6
Саратов	UWSS	447	53.0	4.2	440	58.5	3.9	422	34.0	3.3	369	43.5	3.4
Симферополь	URFF	638	23.0	2.4	572	19.0	2.3	563	28.5	2.4	385	18.0	2.6
Сыктывкар	UUYY	345	9.5	1.5	333	11.0	1.6	296	10.0	1.3	272	10.0	1.5
Благовещенск	UHBB	154	7.5	1.7	156	9.5	2.0	227	14.0	2.2	278	8.5	1.9
Братск	UIBB	438	70.5	2.0	454	17.0	1.7	330	15.0	1.7	342	9.0	1.4
Екатеринбург	USSS	588	13.5	1.4	697	11.5	1.1	472	11.0	1.2	270	11.0	1.5
Иркутск	UIII	663	15.0	1.5	477	13.5	1.6	469	16.5	1.6	298	10.5	1.6
Новокузнецк	UNWW	314	19.0	2.5	384	30.0	2.3	454	15.5	2.2	459	12.0	1.9
Новосибирск	UNNT	336	9.5	1.6	335	8.5	1.5	315	11.5	1.4	221	10.5	1.6
Омск	UNOO	452	36.5	1.7	290	17.0	1.5	389	10.5	1.3	180	7.5	1.5
Якутск	UEEE	583	70.5	6.3	581	165.0	6.9	552	77.0	7.1	522	74.5	6.2

тенденция к росту эпизодов с низкой облачностью и ограниченной видимостью на аэродромах Архангельска, Салехарда, Новокузнецка и Улан-Удэ. При этом в Салехарде изменение частоты эпизодов компенсируется уменьшением их продолжительности, в Воронеже – увеличением. Для аэродрома Братск подобные эпизоды стали реже и короче. Увеличение средней продолжительности условий с $VHGO \leq 60$ м и $VIS \leq 800$ м отмечено также в Мирном, Нерюнгри и Санкт-Петербурге, уменьшение – в Норильске.

Заключение

По мнению авиационного сообщества, грядущие климатические изменения окажут несомненное влияние на все аспекты авиационной деятельности, затронув безопасность полетов, эффективность их выполнения, осуществление организации воздушного движения, существующую инфраструктуру аэропортов и т. д. При этом из всей совокупности негативных погодных факторов особую озабоченность вызывает изменение режима низкой облачности и видимости на аэродромах (в том числе повторяемости туманов).

По данным наблюдений на 49 аэродромах Российской Федерации определены тенденции повторяемости, максимальной и средней продолжительности эпизодов с туманами, низкой облачностью и ограниченной видимостью за период 2001–2020 гг. Отмечено сокращение числа эпизодов с туманами в Домодедово и Якутске и увеличение – на аэродромах Салехарда, Кемерово и Благовещенска. При этом на шести аэродромах отмечалось увеличение максимальной или средней продолжительности подобных эпизодов, а на четырех – уменьшение.

Впервые проведенный анализ изменения повторяемости и продолжительности эпизодов с низкой облачностью и видимостью обнаружил, что на 10 аэродромах с начала века наблюдался устойчивый рост числа эпизодов с $VHGO \leq 60$ м, в равной степени – как в европейской, так и в азиатской части страны; снижения ни на одном аэродроме зафиксировано не было. При этом ситуация с ограниченной видимостью в целом улучшилась. Примерно на 20 % всех аэродромов количество эпизодов с ограниченной видимостью уменьшилось (максимально – в аэропортах Московского аэроузла). Увеличение числа подобных случаев отмечено только на аэродромах Анапы ($VIS \leq 350$ м), Благовещенска и Новокузнецка ($VIS \leq 800$ м).

Исследование эпизодов с сочетанием $VHGO \leq 60$ м и $VIS \leq 800$ м позволило заключить, что такие комплексные условия для взлета и посадки воздушных судов в период 2001–2020 гг. улучшились на аэродромах Внуково, Воронежа, Симферополя, Братска и Иркутска. В то же время ухудшение подобных условий наблюдается на аэродромах Архангельска, Салехарда, Нерюнгри и Улан-Удэ.

Список литературы

1. Горбатенко В.П., Кужевская И.В., Пустовалов К.Н., Чурсин В.В., Константинова Д.А. Оценка изменчивости конвективного потенциала атмосферы в условиях изменяющегося климата Западной Сибири // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 108-117.
2. Иванова А.П., Скриптунова Е.Н. Об изменении некоторых климатических характеристик на аэродромах Российской Федерации в 2001–2015 гг. // Метеорология и гидрология. 2018. № 5. С. 39-53.
3. Приложение 3 к Конвенции о Международной гражданской авиации. Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации: Издание девятнадцатое. Июль 2016.
4. Федеральные авиационные правила «Правила и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации»: Утвержден приказом Минтранса России от 31 июля 2009 г. № 128.
5. Coffel E., Horton R. Climate Change and the Impact of Extreme Temperatures on Aviation // Weather, Climate and Society. 2015. Vol. 7. P. 94–102. DOI:<https://doi.org/10.1175/WCAS-D-14-00026.1>
6. Coffel E.D., Trpomson T.R., Horton R.M. The impacts of rising temperatures on aircraft takeoff performance // Climatic Change. Vol. 144. P. 381-388. DOI: 10.1007/s10584-017-2018-9
7. Finney D.L., Marsham J.M., Rowell D.P., Kendon E.J., Tucker S.O., Stratton R.A., Jackson L.S. Effects of Explicit Convection on Future Projections of Mesoscale Circulations, Rainfall, and Rainfall Extremes over Eastern Africa // J. Climate. 2020. Vol. 33, is. 7. P. 2701-2718. DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0328.1
8. Groisman P., Bulygina O., Xungang Y., Vose R.S., Gulev S.K., Hanssen-Bauer I., Forland E. Recent changes in the frequency of freezing precipitation in North America and Northern Eurasia // Environ. Res. Lett. 2016. Vol. 11, is. 4. P. 1-16. DOI: 10.1088/1748-9326/11/4/045007
9. Gultepe I., Sharman R., Williams P.D., Ellrod G., Trier S., Griffin S., Seong S., Yum S., Gharabaghi B., Feltz W., Temimi M., Zhaoxia P., Storer L.N., Kneringer P., Weston M.J., Chuang H., Thobois I., Dimri A.R., Dietz S.J., Gutemberg B., Franca A., Almeida M.V., Albuquerque Neto F.L. Review of High Impact Weather for Aviation Meteorology // Pure Appl. Geophys. 2019. Vol. 176. P. 1869-1921.
10. Jeong D. H.J., Cannon A.J., Zhang X. Projected changes to extreme freezing precipitation and design ice loads over North America based on a large ensemble of Canadian regional climate model simulations // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2019. Vol. 19. P. 857-872 DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-19-857-2019>
11. Outcomes of the 2020 Survey on the Impacts of Climate Change and Variability on Aviation. Geneva: WMO, AeMSeries No. 6, October 2020.
12. Pucik T., Groenmejer P., Radler A., Tijssen L., Nikulin G., Prein A.F., van Meijgaard P., Fealy R., Jacob D., Teichmann C. Future Changes in European Severe Convection Environments in a Regional Climate Model Ensemble // J. Clim. 2017. Vol. 30. P. 6721-6794. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0777.1
13. Ren D., Dickinson R., Fu R., Bornman J., Guo W., Yang S., Lerslie L. Impacts of climate warming on maximum aviation payloads // Climate Dynamics. 2019. Vol. 52. P. 1711-1721. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4399-5>
14. Ryley T., Baumeister S., Coulter S. Climate changes influences on aviation: A literature review // Transport Policy. 2020. Vol. 92. P. 52-64. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.04.010>
15. Tazsarec M., Allen J.T., Marchio M., Brooks H. Global climatology and trends in convective environments from ERA5 and rawinsonde data // npj Climate and Atmospheric Science. 2021. Vol. 35. P. 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00190-x>
16. Tropea B., Stewart R. Assessing past and future hazardous freezing rain and wet snow events in Manitoba, Canada using a pseudo-global warming approach // Atmospheric Research. 2021. Vol. 259. P. 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105656>
17. Williams P. Increased Light, Moderate, and Severe Clear-Air Turbulence in Response to Climate Change // Advances and Atmospheric Sciences. 2017. Vol. 34. P. 576-586. DOI: 10.1007/s00376-017-6268-2.

18. Zhou T., Ren L., Liu H., Lu J. Impact of 1.5 °C and 2.0 °C global warming on aircraft takeoff performance in China // *Science Bulletin*. 2018. Vol. 63. P. 700-707. <https://doi.org/10.1016/j.scib.2018.03.018>

References

1. Gorbatenko V.P., Kuzhevskaya I.V., Pustovalov, K.N. et al. Assessment of Atmospheric Convective Potential Variability in Western Siberia in Changing Climate. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2020, vol. 45, no. 5, pp. 360-367. DOI: 10.3103/S1068373920050076.
2. Ivanova, A.R., Skriptunova, E.N. Variations in Some Climatological Characteristics at the Aerodromes of the Russian Federation in 2001–2015. *Russ. Meteorol. Hydrol.* 2018, vol. 43, no. 5, pp. 302-312. DOI: 10.3103/S1068373918050047.
3. Prilozhenie 3 k Konvencii o Mezhdunarodnoy grazhdanskoj aviacii. Meteorologicheskoe obespechenie mezhdunarodnoy aeronavigacii: Izdanie devyatnadcatoe. Iyul' 2016. [in Russ.]
4. Federal'nye aviacionnye pravila «Pravila i vypolnenie poletov v grazhdanskoj aviacii Rossijskoj Federacii»: Utverzhden prikazom Mintransa Rossii ot 31 iyulya 2009 g. № 128. [in Russ.]
5. Coffel E., Horton R. Climate Change and the Impact of Extreme Temperatures on Aviation. *Weather, Climate and Society*. 2015, vol. 7, pp. 94-102. DOI:<https://doi.org/10.1175/WCAS-D-14-00026.1>.
6. Coffel E.D., Thompson T.R., Horton R.M. The impacts of rising temperatures on aircraft takeoff performance. *Climatic Change*, 2018, vol. 144, pp. 381-388. DOI:10.1007/s10584-017-2018-9
7. Finney D.L., Marsham J.M., Rowell D.P., Kendon E.J., Tucker S.O., Stratton R.A., Jackson L.S. Effects of Explicit Convection on Future Projections of Mesoscale Circulations, Rainfall, and Rainfall Extremes over Eastern Africa. *J. Climate.*, 2020, vol. 33, no. 7, pp. 2701-2718. DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0328.1.
8. Groisman P., Bulygina O., Xungang Y., Vose R.S., Gulev S.K., Hanssen-Bauer I., Forland E. Recent changes in the frequency of freezing precipitation in North America and Northern Eurasia. *Environ. Res. Lett.*, 2016, vol. 11, no. 4, pp. 1-16. DOI:10.1088/1748-9326/11/4/045007.
9. Gultepe I., Sharman R., Williams P.D., Ellrod G., Trier S., Griffin S., Seong S., Yum S., Gharabaghi B., Feltz W., Temimi M., Zhaoxia P., Storer L.N., Kneringer P., Weston M.J., Chuang H., Thobois I., Dimri A.R., Dietz S.J., Gutenberg B., Franca A., Almeida M.V., Albuquerque Neto F.L. Review of High Impact Weather for Aviation Meteorology. *Pure Appl. Geophys.*, 2019, vol. 176, pp. 1869-1921.
10. Jeong D. H.J., Cannon A.J., Zhang X. Projected changes to extreme freezing precipitation and design ice loads over North America based on a large ensemble of Canadian regional climate model simulations. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2019, vol. 19, pp. 857-872. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-19-857-2019>.
11. Outcomes of the 2020 Survey on the Impacts of Climate Change and Variability on Aviation. Geneva: WMO, AeM Series No. 6, October 2020.
12. Pucik T., Groenmejer P., Radler A., Tijssen L., Nikulin G., Prein A.F., van Meijgaard P., Fealy R., Jacob D., Teichmann C. Future Changes in European Severe Convection Environments in a Regional Climate Model Ensemble. *J. Clim.*, 2017, vol. 30, pp. 6721-6794. DOI: 10.1175/JCLI-D-16-0777.1.
13. Ren D., Dickinson R., Fu R., Bornman J., Guo W., Yang S., Lerslie L. Impacts of climate warming on maximum aviation payloads. *Climate Dynamics*. 2019, vol. 52, pp. 1711-1721. DOI: 10.1007/s00382-018-4399-5/
14. Ryley T., Baumeister S., Coulter S. Climate changes influences on aviation: A literature review. *Transport Policy*, 2020, vol. 92, pp. 52-64. DOI: 10.1016/j.tranpol.2020.04.010.
15. Taszarec M., Allen J.T., Marchio M., Brooks H. Global climatology and trends in convective environments from ERA5 and rawinsonde data. *npj Climate and Atmospheric Science*, 2021, vol. 35, pp. 1-11. DOI: 10.1038/s41612-021-00190-x

16. Tropea B., Stewart R. Assessing past and future hazardous freezing rain and wet snow events in Manitoba, Canada using a pseudo-global warming approach. *Atmospheric Research*, 2021, vol. 259, pp. 1-16. DOI: 10.1016/j.atmosres.2021.105656

17. Williams P. Increased Light, Moderate, and Severe Clear-Air Turbulence in Response to Climate Change. *Advances and Atmospheric Sciences*, 2017, vol. 34, pp. 576-586. DOI: 10.1007/s00376-017-6268-2.

18. Zhou T., Ren L., Liu H., Lu J. Impact of 1.5 °C and 2.0 °C global warming on aircraft takeoff performance in China. *Science Bulletin*. 2018, vol. 63, pp. 700-707. DOI: 10.1016/j.scib.2018.03.018.

*Поступила 27.04.2022; одобрена после рецензирования 23.05.2022;
принята в печать 08.06.2022.*

*Submitted 27.04.2022; approved after reviewing 23.05.2022;
accepted for publication 08.06.2022.*