

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2020-4-78-95>

УДК 551.506.9+551.589.6

**Влияние пыльных и песчаных бурь
на работу авиационного транспорта и оценка условий
их возникновения
на аэродромах европейской части России**

А.Р. Иванова, Е.Н. Скриптунова, Н.И. Комасько, А.А. Завьялова

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

Представлен обзор литературы о влиянии пыльных и песчаных бурь на работу авиационного транспорта. Анализируются данные наблюдений за пыльными бурями на аэродромах европейской части России за период 2001–2019 гг. Обсуждается сезонный ход эпизодов переноса пыли на аэродромах, его связь с изменением видимости. Приводятся характеристики запыленных воздушных масс и направление их адвекции. Сделан вывод об уменьшении повторяемости случаев переноса пыли для исследуемых аэродромов за последние пять лет, за исключением аэродрома Гумрак в Волгограде.

Ключевые слова: пыльная буря, песчаная буря, авиация, видимость, сезонный ход, аэродромы Европейской территории России

**Impact of dust and sand storms
on the aviation operation
and assessment of conditions for their occurrence
at aerodromes in European Russia**

A.R. Ivanova, E.N. Skriptunova, N.I. Komasko, A.A. Zaviyalova

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

A review of literature on the impact of dust and sand storms on the air transport operation is presented. Observational data on dust storms at the aerodromes of European Russia for the period of 2001-2019 are analyzed. The seasonal variations in dust transport episodes at aerodromes and its relationship with visibility changes are discussed. The characteristics of dusty air masses and advection are given. It is concluded that the frequency of dust transfer episodes for the aerodromes under study has decreased over the past five years, except for Gumrak aerodrome (Volgograd).

Keywords: dust storm, sand storm, aviation, visibility, seasonal variations, aerodrome of European Russia

Введение

Для авиации сильные пыльные и песчаные бури (ППБ) возведены в ранг опасной погоды («hazardous weather») наряду с мощной и грозовой конвекцией, интенсивными горными волнами, сильными обледенением и турбулентностью. Сочетание двух неблагоприятных факторов – сильного ветра и ухудшенной видимости – делают пыльную или песчаную бурю чрезвычайно опасным явлением, особенно при взлете и посадке воздушного судна (ВС), когда его устойчивость особенно уязвима. При буре видимость может упасть до нуля за несколько секунд. Пыль и песок способны забить воздухозаборник двигателей, повредить электромеханические и другие критические системы функционирования ВС. Из-за повышения рабочих температур в камерах сгорания современных реактивных двигателей (до 1600 °C и более) возникает опасность плавления силикатов, содержащихся в засасываемых песке и пыли [15], что может привести к сбоям в работе двигателей или даже к их остановке. Абразивные повреждения поверхности самолета в песчаной буре сравнимы с теми, что воздушные суда получают в облаках вулканического пепла. Результаты воздействия ППБ на воздушное судно могут быть достаточно серьезными, чтобы не допустить эксплуатации самолета, приводить к задержкам полета и влиять на своевременность работ на аэродроме, увеличивая тем самым расходы авиакомпаний и аэропортов. Не обнаруженное вовремя повреждение может привести к неисправности в воздухе, создавая опасность для жизни экипажа и пассажиров ВС [<https://allsiteststructures.com/dust-storms-fabric-aircraft-shelters-can-help/>].

1. Процессы переноса песка и пыли в атмосфере и примеры их воздействия на функционирование воздушного транспорта

Причиной возникновения пыльных и песчаных бурь являются условия атмосферной циркуляции, обеспечивающие возникновение продолжительных сильных ветров над пустынными территориями. Например, особо примечательные песчаные бури, такие как хабуб (haboob) над Сахарой, – это следствие сильных ветров над территорией пустыни, которые образуются во время гроз. Сыпучие пыль и песок сметаются с земли нисходящими потоками, вырывающимися из мощных конвективных облаков. В сухом и горячем воздухе над пустыней осадки способны полностью испариться до того, как упадут на землю. Охлаждение подоблачного воздуха при испарении увеличивает термический градиент в слое облако – земля, приводя таким образом к усилению нисходящих потоков, что еще больше увеличивает интенсивность бури. Перенос песка и пыли может осуществляться на сотни и даже тысячи километров от места их начального подъема с поверхности Земли [8, 14].

Наиболее высока повторяемость ППБ в районах Северной Африки и Южной Европы, Австралии, Центральной и Южной Азии (рис. 1).

Влияние ППБ на экономику этих стран столь велико, что в 2007 году Всемирная метеорологическая организация (ВМО) запустила Систему выпуска предупреждений о пыльных и песчаных бурях и их оценки (SDS-WAS) с региональными центрами в Барселоне, Пекине и на Барбадосе. Наблюдения за ППБ производятся с помощью аппаратуры, установленной на спутниках и позволяющей оценить изменения оптической толщины атмосферы, а также с помощью наземной сети наблюдений за аэрозолями [6]. Прогноз ППБ, на основании которого могут быть выпущены предупреждения, осуществляется с помощью эмиссионных моделей [11, 13].

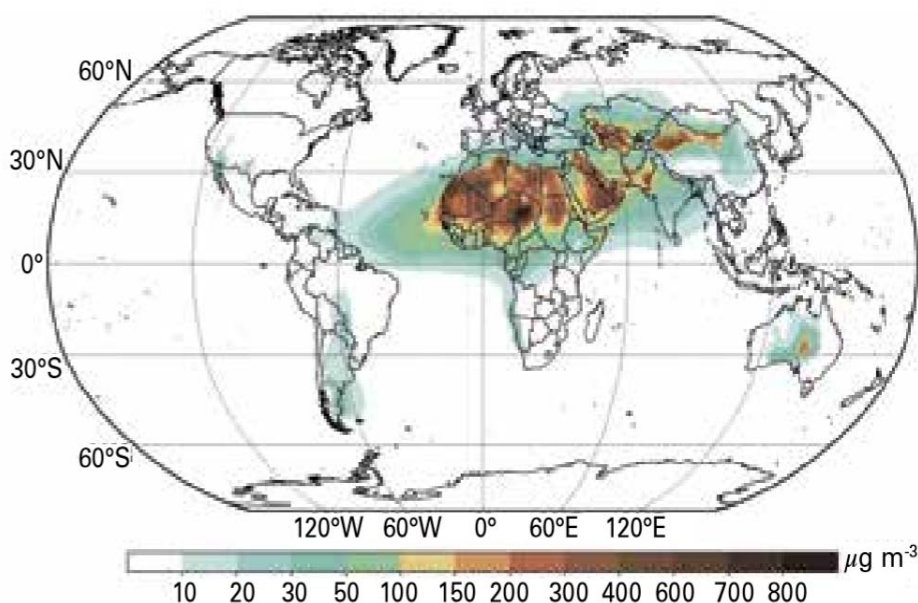


Рис. 1. Средняя за год концентрация минеральной пыли у поверхности в 2019 г.

[https://library.wmo.int/index.php?lvl=bulletin_display&id=4044#.X3NOYUxuJrQ].

Fig. 1. Annual mean surface concentration of mineral dust in 2019.

По данным ВМО, основными факторами возникновения ППБ являются климат, состояние почвы, растительность, тип ландшафта. Отдельно акцентируется внимание на негативном антропогенном влиянии, результатом которого является опустынивание и обезлесивание обширных территорий, и на негативных климатических изменениях, приводящих к увеличению случаев с экстремально сильными ветрами и иссушению почв из-за глобального потепления. Международная организация гражданской авиации (ИКАО) в отчете о состоянии окружающей среды подчеркивает необходимость исследования влияния ППБ на безопасность

и регулярность полетов, особенно в субтропических широтах, из-за удлиняющихся периодов засух и усиления ветров [15].

Существуют различные определения пыльных и песчаных бурь, основанные на пороговых значениях как видимости и скорости ветра, так и размера частиц, из которых они состоят.

По определению Всемирной метеорологической организации [<https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/SDS>], пыльные бури возникают в результате поверхностных ветров, поднимающих большое количество пыли в воздух и уменьшающих видимость на уровне глаз (1,8 м) до 1000 м и менее. Строгого разграничения по размерам частиц для пыльных и песчаных бурь в версии ВМО не существует. Условно считается, что размер частиц песка превышает 60 мкм, однако как в пыльной, так и в песчаной буре присутствуют частицы разных размеров.

В словаре [4] приводятся несколько определений, связанных с процессом переноса песка и пыли по воздуху. Так, пыльная или песчаная буря представляет собой «...перенос большого количества пыли или песка сильным ветром... Сильными считаются бури со скоростью ветра более 15 м/с и дальностью видимости менее 500 м». Если такой перенос происходит на высоте не более двух метров – это пыльный или песчаный поземок. Кроме того, в перечне процессов переноса пыли упоминается пыльный или песчаный вихрь как «вихревое движение воздуха, имеющее поперечник несколько метров, поднимающее с поверхности пыль, песок и мелкие предметы. Иногда вихри имеют вид расширяющихся воронкой на высоте около сотни метров пыльных столбов» [4]. Причиной возникновения таких вихрей служит сильный нагрев пыльной или песчаной поверхности при условии неустойчивой стратификации атмосферы. Такие вихри, в отличие от торнадо, не связаны с мощной конвекцией и не имеют разрушительной силы.

В практике Федерального авиационного агентства США проводится различие между пыльными и песчаными бурями [https://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac_00-6b.pdf]. Считается, что средняя высота пыльной бури составляет 1 км, хотя иногда они могут распространяться и до 4–6 км. Поскольку песок тяжелее пыли, песчаные бури редко простираются выше 15 м над землей и чаще всего наблюдаются в нижнем слое (до 3,5 км). В отличие от пыльных бурь, песчаные наблюдаются на более локальном масштабе. Выпуск предупреждения о ППБ происходит при сочетании видимости менее четверти мили (400 м) и скорости ветра 40 км/ч (11 м/с) и более. Такое предупреждение влечет немедленное закрытие аэропорта. Средства массовой информации регулярно сообщают о подобных инцидентах.

Так, например, 22 августа 2016 года из-за пыльной бури видимость в международном аэропорту Феникса (Аризона, США) упала менее чем до четверти мили, порывы ветра превышали 30 м/с. Были задержаны 16 рейсов, среднее время задержки составило 49 минут

[<https://www.rt.com/usa/356736-phoenix-haboob-dust-storm/>]. В начале марта 2017 г. та же причина (резкое снижение видимости из-за пыли и порывы ветра свыше 22 м/с) привела к задержке рейсов в международном аэропорту Денвера (Колорадо, США).

В мае 2018 года из-за пыльной бури оказался закрыт делийский аэропорт им. Индиры Ганди, и несколько десятков рейсов, ожидающих посадки, пришлось перенаправить на запасные аэродромы [<https://economictimes.indiatimes.com/news/politics-and-nation/thunderstorm-dust-storm-hit-delhi-ncr-region-met-office/articleshow/64147662.cms>].

Показательным является сравнительно недавний случай, явившийся следствием переноса песка из пустыни Сахара в Атлантику над Канарскими островами 22 февраля 2020 г. Все островные аэропорты в этот день были закрыты. Сообщалось, что в аэропорту Гран-Канария видимость в течение двух часов уменьшилась в пять раз (с пяти миль до мили), а еще через 2 часа ее значения опустились ниже четверти мили [<https://www.washingtonpost.com/weather/2020/02/24/canary-islands-sandstorm-grounds-flights-closes-schools-sahara-dust-moves-into-open-atlantic/>].

Одним из основных поставщиков пыли в атмосферу является Аравийский полуостров [10, 12]. Исследования в международном аэропорту Абу-Даби по материалам 1994–2003 гг. позволили проанализировать 32 случая с пыльными бурями, идентифицированных по критерию видимости ниже 1000 м [16]. Было установлено, что средняя продолжительность пыльной бури составляет 1 ч 15 мин, а максимальная достигает 4 ч 30 мин. Кроме ситуаций с пыльной бурей («dust storm»), исследовались случаи, когда перенос пыли приводил к понижению видимости до значений, превышающих 1 км (называемые «dust events»). Повторяемость их гораздо выше, чем ППБ – за 10 лет был отмечен 141 эпизод ухудшения видимости до 5000 м со средней (максимальной) продолжительностью 3 ч 30 мин (21 ч).

Еще одним «неблагополучным» регионом из-за высокой повторяемости ППБ является Австралия. По данным [9], в период «рекордного» пылевого события 23 сентября 2009 года было практически полностью блокировано ультрафиолетовое излучение в восточной части Австралии. Наибольшее ослабление УФ-излучения (99,5 % волн длиной 297 нм и 99,0 % волн длиной 315 нм), наблюдаемое во время этого события, соответствовало прохождению сильно запыленного воздуха в тылу интенсивного атмосферного фронта.

Исследование австралийских специалистов [7], проведенное по данным с 1969 по 2010 г., выявило 61 происшествие с ППБ и их воздействием на авиационные операции. Оказалось, что чаще всего ППБ влияют на навигацию – в 57,4 % случаев, куда входит отклонение от курса и выполнение незапланированной посадки (29,7 %), невозможность для ВС определить пункт назначения (4,9 %) и местоположение самолета (8,2 %),

нарушение связи (9,8 %). Всего в 5 % случаев было зафиксировано повреждение ВС, и только однажды инцидент сопровождался серьезной травмой. В остальных случаях ситуации с ППБ ограничивались сообщениями об ухудшении видимости.

Отметим, что негативное влияние на функционирование авиационного транспорта пыль может оказывать даже в отсутствии условий «бури». Термин *brown-out*, или *затемнение*, означает ограничение видимости в полете из-за пыли или песка в воздухе. Во время такого затемнения пилот не может видеть близлежащие объекты, которые обеспечивают внешние визуальные ориентиры, необходимые для управления воздушным судном вблизи земли. Это может вызвать пространственную дезориентацию и потерю ситуационной осведомленности, ведущую к аварии. Особую опасность затемнение представляет во время посадки и взлета вертолета в пыли, мелкой грязи, песке или в засушливой пустынной местности. Сильные, ослепляющие облака пыли, поднимаемой струей несущего винта вертолета во время полета вблизи поверхности, создают значительные риски для безопасности, могут служить причиной столкновения воздушных судов и наземных препятствий, а также динамического опрокидывания ВС вблизи наклонной и неровной поверхности [<http://www.darpa.mil/sto/solicitations/BA06-45/index.html>].

Хотя территория нашей страны, по данным ВМО (рис. 1), не относится к основным источникам минеральной пыли, российские аэродромы могут подвергаться воздействию пылевого переноса – как ближнего, из степных зон, так и дальнего, из более южных районов. Чтобы оценить потенциальную опасность такого переноса на функционирование аэродромов Европейской территории России (ЕТР), было проведено следующее исследование.

2. Используемые материалы о пыльных и песчаных бурях на аэродромах ЕТР

В практике отечественного метеообеспечения авиации пыльные и песчаные бури относятся к особым явлениям погоды, информация об их интенсивности и продолжительности обязательна для передачи в сообщениях по кодам METAR и SPECI. Они кодируются в сводках буквами DS для пыльной или SS для песчаной бури с указанием изменения интенсивности (+DS/+SS соответствует усилению бури, -DS/-SS – ее ослаблению). Согласно [1, 3], песчаная (SS) или пыльная буря (DS) считается:

- а) сильной, если видимость менее 200 м и определение состояния неба затруднено;
- б) умеренной, если видимость – составляет менее 200 м и можно определить состояние неба или – находится в диапазоне 200–600 м.

Информация о сильных пыльных и песчаных бурях является обязательной для включения в сообщения SIGMET [2].

Для исследования влияния ППБ на аэродромы Европейской территории нашей страны в настоящей работе использовались ежегодно создаваемые в отделе авиационной метеорологии Гидрометцентра России базы сводок аэродромных наблюдений METAR за период 2001–2019 гг. Были проанализированы сводки с аббревиатурами «DS» («dust storm») или «SS» («sand storm») для 28 крупных международных аэродромов на ЕТР, выпускаемые с дискретностью 0,5–1 ч (табл. 1).

Таблица 1. Количество сообщений о пыльных бурях в сводках METAR для аэродромов ЕТР за 2001–2019 гг.

Table 1. The number of METAR reports with dust storm for aerodromes in European Russia for 2001–2019

№	Индекс ИКАО	Индекс ВМО	Пункт	Кол-во сводок с DS	Общее кол-во сводок за 2001-2019 гг.
1	URKA	37001	Анапа	10	268405
2	ULAA	22522	Архангельск	0	261456
3	URWA	34881	Астрахань	259	321831
4	URWW	34560	Волгоград	27	325419
5	UOOO	34122	Воронеж	0	327838
6	UWKD	27595	Казань	3	319579
7	URKK	34929	Краснодар	5	324486
8	URML	37472	Махачкала	5	202093
9	URMM	37054	Мин. Воды	0	328938
10	UUEE	27514	Москва Шереметьево	0	327936
11	UUWW	27524	Москва Внуково	1	329045
12	UDDD	27613	Москва Домодедово	0	329744
13	ULMM	22115	Мурманск	0	313924
14	URMN	37212	Нальчик	2	179475
15	UWGG	27453	Нижний Новгород	0	314750
16	UWKE	28607	Нижнекамск	0	312064
17	URRR/URRP	34731	Ростов-на-Дону	112	325861
18	USDD	23329	Салехард	0	256289
19	UWWW	28902	Самара	2	327772
20	ULLI	26065	Санкт-Петербург	1	328052
21	UWSS/UWSG	34172	Саратов	1	325536
22	URFF	33946	Симферополь	0	326426
23	URMT	34949	Ставрополь	91	310895
24	URSS	37171	Сочи	0	323746
25	UUYU	23805	Сыктывкар	0	267446
26	UWLL	27786	Ульяновск	2	284105
27	UWUU	28723	Уфа	0	327457
28	USHH	23933	Ханты-Мансийск	0	274592

Оказалось, что песчаные бури («SS») ни разу не регистрировались ни на одном аэродроме за 19 лет. Сводки же с указанием пыльных бурь («DS») были выпущены за исследуемый период всего 521 раз на 14 аэродромах, расположенных главным образом на территории Поволжья (Ульяновск, Казань, Самара, Саратов, Волгоград, Астрахань) и в южной части ЕТР (Ростов-на-Дону, Анапа, Краснодар, Ставрополь, Махачкала, Нальчик). Отдельно стоят два кратких эпизода с DS, упомянутых в единственной сводке, на аэродромах Пулково (12.30 ч ВСВ 27.06.2013) и Внуково (16.00 ч ВСВ 28.07.2011). Как свидетельствуют данные табл. 1, пыльные бури – чрезвычайно редкое явление, максимальная повторяемость которого составляет 0,08 % (аэродром Астрахань).

Данные о явлениях в сводках METAR анализировались наряду с информацией о видимости, скорости ветра, температуре и точке росы. Два последние параметра, передаваемые с округлением до целых значений, использовались для расчета примерных значений относительной влажности.

3. Анализ данных

Было установлено, что критерию пыльной бури, когда видимость уменьшается до 1000 м и менее, соответствовал единственный случай наблюдения этого явления на аэродроме Шпаковское (Ставрополь) 19 апреля 2003 года. На рис. 2 отчетливо заметно снижение значений видимости вместе с уменьшением влагосодержания воздуха в условиях интенсивного юго-восточного переноса. При падении относительной влажности с 70 до 33 % видимость уменьшилась с 10 000 до 1000 м и оставалась ниже 5 000 м в течение 12 ч. Скорость ветра при этом менялась в диапазоне 14–18 м/с с порывами до 23 м/с, направление практически оставалось неизменным (120–130°). В 15 сводках подряд присутствовало обозначение «DS», однако только в 9.30 ч ВСВ видимость снизилась до 1000 м, что действительно позволяло в этот срок идентифицировать явление как пыльную бурю.

Во всех остальных 520 сводках с «DS» на этом и на других аэродромах наблюдаемые явления не были, строго говоря, пыльными бурями. Правильнее их было бы охарактеризовать как упомянутые выше «dust events» – случаи переноса пыли, приводящие к ухудшению видимости, хотя для некоторых из них указанная видимость составляла 9000 м и более (табл. 2). Более чем в половине случаев (55,7 %) значения видимости не превышали 5000 м.

Минимальные значения видимости, при которой явление идентифицировалось как «пыльная буря», указаны в табл. 3 и находятся, в зависимости от аэродрома, в пределах от 1 до 5 км. Помимо описанного выше эпизода, сводки с указанием на ограничение видимости из-за пыли до значений ниже 1500 м были выпущены на аэродромах Астрахани и Ростова-на-Дону.

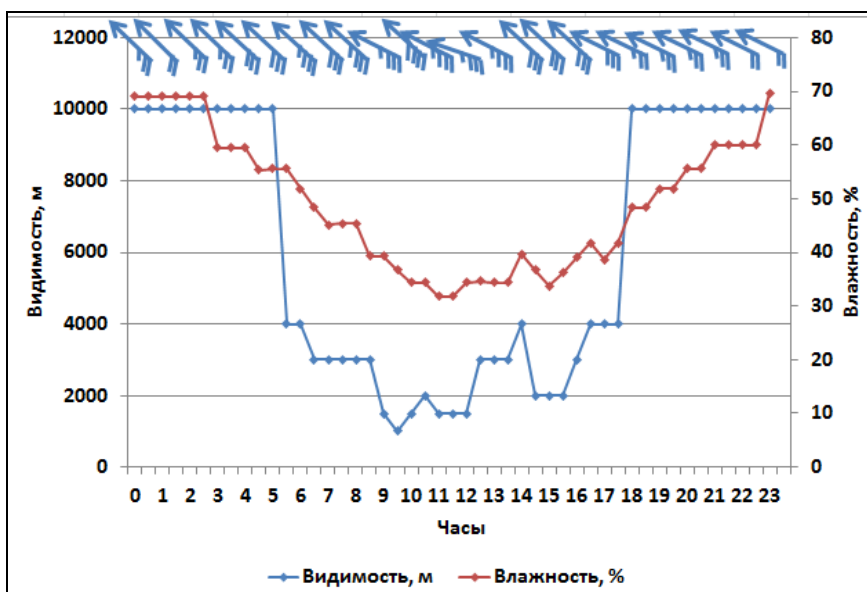


Рис. 2. Изменение видимости в условиях адвекции сухого воздуха с юго-востока на аэродроме Шпаковское (Ставрополь) 19 апреля 2003 г.
Fig. 2. Variation of visibility under conditions of dry air advection from the southeast at the Shpakovskoye aerodrome (Stavropol) on April 19, 2003.

Таблица 2. Распределение значений видимости в сводках METAR, где в качестве явления погоды указана пыльная буря («DS»), за 2001-2019 гг. на аэродромах ЕТР

Table 2. Visibility in METAR reports with dust storm ("DS") for 2001-2019 at the aerodromes in European Russia

Видимость, м	0-1000	1001-2000	2001-3000	3001-4000	4001-5000	5001-6000	6001-7000	7001-8000	8001-9000	>9000	Сумма
Количество случаев	1	44	90	80	76	39	68	102	6	15	521
%	0,2	8,4	17,2	15,3	14,6	7,4	13,1	19,6	1,2	2,9	100

В табл. 3 также приведено количество дней с переносом пыли на различных аэродромах за период 2001–2019 гг. Оно максимально в Астрахани (24), далее следуют аэродромы Ставрополя (7), Ростова-на-Дону (6) и Волгограда (6). Здесь же приводится число дней с явлениями, охарактеризованными наблюдателями как пыльная буря, для последних пяти лет периода. Это связано с тем, что в климатическом описании аэродромов

[5] указывается среднее за год число дней с явлениями погоды, а минимальный период для составления климатического описания равняется пяти годам. Примечательно, что астраханский аэродром сохраняет лидерство по количеству дней со сводками «DS» (6 сводок). Стоит также отметить, что на аэродроме Гумрак (Волгоград) из шести дней с переносом пыли за весь 19-летний период пять пришлось на последнее 5-летие. Таким образом, среднее число дней в году с пылевым переносом в Астрахани составило 1,2, а в Волгограде возросло до 1.

Таблица 3. Характеристики эпизодов с переносом пыли на аэродромах ЕТР
Table 3. Features of “DS” episodes at European Russia aerodromes

№	Индекс ИКАО	Индекс ВМО	Пункт (аэродром)	Количество дней со сводками DS		Мин. видимость, м	Макс. продолжительность, ч
				2001-2019	2015-2019		
1	URKA	37001	Анапа (Витязево)	2	0	3000	11
2	UWKD	27595	Казань (Казань)	3	0	5000	0,5
3	URWA	34881	Астрахань (Астрахань)	24	6	1300	17
4	URWW	34560	Волгоград (Гумрак)	6	5	3000	6,5
5	URKK	34929	Краснодар (Пашковский)	3	0	2900	3
6	URML	37472	Махачкала (Уйташ)	3	0	5000	1,5
7	UUWW	27524	Москва (Внуково)	1	0	3800	0,5
8	URMN	37212	Нальчик (Нальчик)	1	0	2500	1
9	URRR/URRP	34731	Ростов-на-Дону (Ростов/Платов)	6	4	1400	22
10	UWWW	28902	Самара (Курумоч)	1	0	4000	0,5
11	ULLI	26065	Санкт-Петербург (Пулково)	1	0	1900	0,5
12	UWSS	34172	Саратов (Центральный)	1	0	3000	0,5
13	URMT	34949	Ставрополь (Шпаковское)	7	0	1000	12,5
14	UWLL	27786	Ульяновск (Баратаевка)	2	0	5000	0,5

Продолжительность эпизодов переноса пыли точно определяется на основании информации сводок SPECI, в которых указывается начало и окончание явления. При отсутствии этих сведений длительность эпизодов t определялась приблизительно: $t = n \cdot \Delta$, где Δ – дискретность наблюдений в часах; n – количество сводок. Наиболее продолжительные эпизоды с DS наблюдались в конце марта 2015 г. на аэродромах Ростова-на-Дону (22 ч) и Астрахани (17 ч). Следует отметить, что дислокация аэродрома в Ростове-на-Дону изменилась в декабре 2017 г. Аэропорт Ростов-на-Дону (URRR), функционирующий до этих пор, прекратил свою деятельность в качестве международного. Эта функция была передана аэропорту Платов (URRP), расположенному в 27 км на северо-восток от города. По этой причине ряд наблюдений для Ростова-на-Дону нельзя считать однородным. Отметим, что все эпизоды переноса пыли для последних пяти лет были зарегистрированы в 2015 г. еще по месту прежней дислокации, на новом аэродроме до конца 2019 г. такие случаи не были отмечены.

Перенос пыли чаще всего наблюдается на аэродромах ЕТР в весенние месяцы (63 % всех эпизодов с «DS»). Годовой ход дней с пыльной бурей представлен на рис. 3 (вверху). Летом (27 % сводок) подобные эпизоды в основном отмечались на аэродромах, расположенных севернее Волгограда. В январе и ноябре этот процесс не был зафиксирован ни на одном из исследуемых аэродромов.

Отметим, что пять из 19 лет характеризовались полным отсутствием сводок METAR, содержащих группу «DS» – это 2004–2006, 2009 и 2016 гг. (рис.3, внизу). В 2007 г. воздействию переноса пыли подверглось максимальное число аэродромов на ЕТР – пять. В 2015 г. на аэродроме в Астрахани было отмечено максимальное число дней (6), в которые регистрировалось явление «DS», четыре из которых пришлись на конец марта. Влияние мощной адвекции запыленного воздуха с юго-востока в это время (с 28 по 31 марта) испытали на себе также аэродромы Ростова и Волгограда.

Как и следовало ожидать, изменение видимости на аэродроме зависит от интенсивности пылевого переноса. В целом для всей выборки – это обратная зависимость: для случаев с видимостью 1–4 км, 4,1–7 км и >7 км скорость ветра составляет, соответственно, 13,0, 11,8 и 11,3 м/с. Еще более показательным является распределение по градациям видимости случаев со скоростью ветра, превышающей и не превышающей 15 м/с (рис. 4). Оказалось, что для ситуаций с переносом пыли при сильном ветре видимость ухудшается до 4 км и менее – в 54 % случаев, тогда как при более слабом – только в четверти случаев. В то же время наибольшие значения видимости наблюдаются при скорости ветра менее 15 м/с вдвое чаще, чем при более высоких скоростях ветра.

Изучение направления ветра, при котором «DS» присутствует в сводках METAR, показало явное преимущество восточного и юго-восточного переноса (46 и 42 % соответственно). Ветры других румбов чаще всего характерны для коротких эпизодов (единичные сводки). Западный перенос пыли часто вызывает ухудшение видимости на аэродроме Волгограда, северный – в Нальчике и Махачкале (табл. 4).

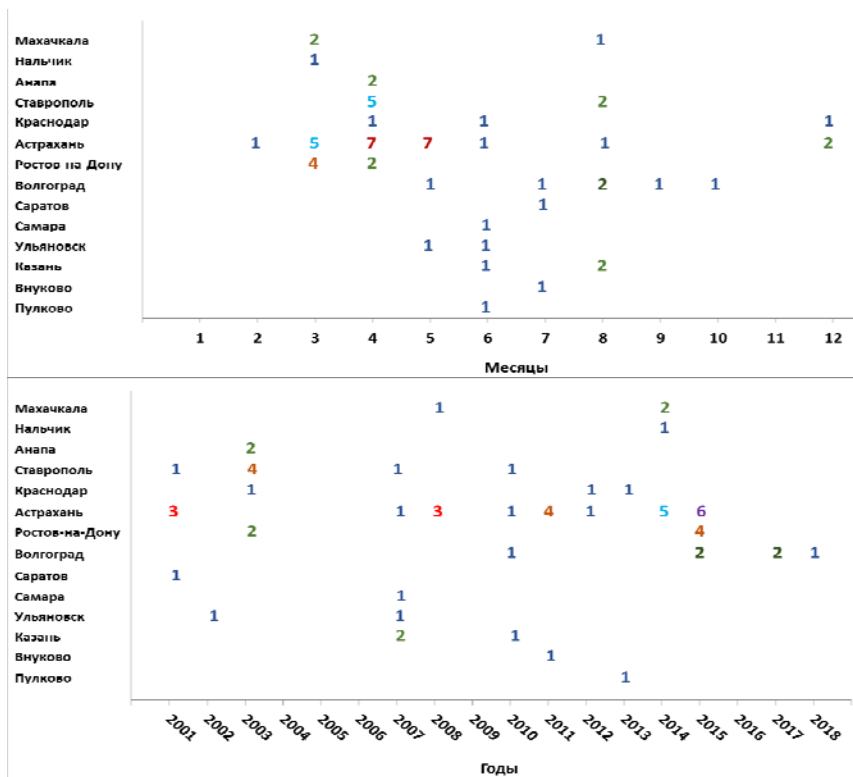


Рис. 3. Внутригодовое (вверху) и межгодовое (внизу) распределение дней с переносом пыли на аэродромах ЕТР по данным METAR за период 2001-2019 гг.

Fig. 3. Seasonal (top) and interannual (bottom) distribution of “DS” days at the aerodromes of European Russia according to METAR data for 2001-2019

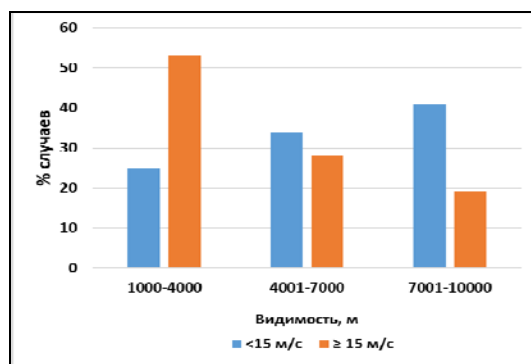


Рис. 4. Распределение случаев с сообщениями о пыльной буре («DS») в сводках METAR в зависимости от значений видимости и скорости ветра на аэродромах ЕТР в 2001–2019 гг.

Fig. 4. Distribution of METAR reports with “DS” group depending on visibility and wind speed at aerodromes in European Russia for 2001–2019.

Таблица 4. Распределение направления ветра в сводках METAP, где в качестве явления погоды указана пыльная буря («DS»), за 2001-2019 гг. на аэродромах ЕТР

Table 4. Wind direction in METAP reports with dust storm ("DS") for 2001-2019 at the aerodromes in European Russia

№	Индекс ИКАО	Индекс ВМО	Пункт	Направление ветра, румбы								Переменный
				С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
1	URKA	37001	Анапа	0	4	6	0	0	1	0	0	0
2	UWKD	27595	Казань	1	0	0	0	0	1	0	1	0
3	URWA	34881	Астрахань	1	1	147	93	8	0	6	2	1
4	URWW	34560	Волгоград	1	1	0	9	6	0	10	0	0
5	URKK	34929	Краснодар	0	0	3	0	0	1	1	0	0
6	URML	37472	Махачкала	5	0	0	0	0	0	0	0	0
7	UUWW	27524	Внуково	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	URMN	37212	Нальчик	2	0	0	0	0	0	0	0	0
9	URRR/ URRP	34731	Ростов-на-Дону	0	0	83	29	0	0	0	0	0
10	UWWW	28902	Самара	1	0	0	0	0	0	1	0	0
11	ULLI	26065	С.-Петербург	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	UWSS	34172	Саратов	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	URMT	34949	Ставрополь	0	2	1	87	0	1	0	0	0
14	UWLL	27786	Ульяновск	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Для определения источника пыли, приносимой на аэродромы, был использован траекторный анализ – построение обратных траекторий движения частицы с помощью модели HYSPLIT (NOAA) при использовании данных реанализа GDAS с разрешением $0,5 \times 0,5^\circ$. Оказалось, что чаще всего пыль на аэродромы ЕТР поступает из пустынных и полупустынных областей Средней Азии (районы Прикаспия и Приаралья), при западном переносе – из степной части Украины. Примеры такого переноса приведены на рис. 5.

Адвекция запыленных воздушных масс часто отражается в изменении характеристик влажности, как это было видно ранее на рис. 2. В 66 % сводок METAP, содержащих группу «DS», относительная влажность (RH) не превышала 50 %, в 19 % – была ниже 30 %. Исключение составляли эпизоды переноса пыли в Ростове-на-Дону. На территории прежнего аэродрома в Ростове-на-Дону (URRR) относительная влажность во время регистрации пыльных бурь в сводках METAP достигала 70 и даже 80 %. Сравнительный анализ распределения RH для аэродромов Астрахани (URWA) и Ростова-на-Дону (URRR) представлен на рис. 6а.

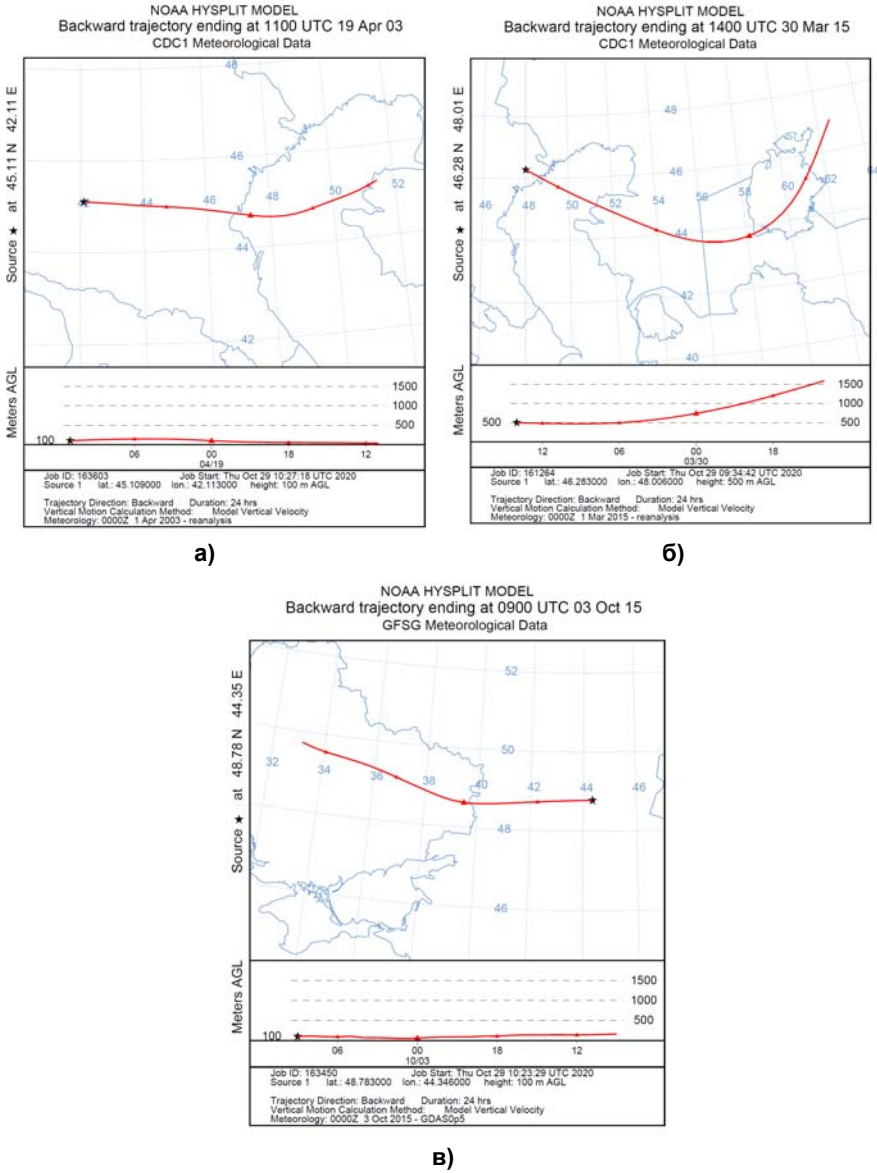


Рис. 5. Траектории частиц запыленных воздушных масс, принесенных на аэродромы Шпаковское (Ставрополь) 19.04.2003, 11 ч ВСВ (а); Астрахань 14 ч ВСВ 30.03.2015 (б); Гумрак (Волгоград) 09 ч ВСВ 03.10.2015 (в). Положение аэродромов обозначено звездочкой.
Fig. 5. Trajectories of dusty air particles brought to aerodromes of Stavropol (a); Astrakhan (б); Volgograd (в). Aerodrome location is marked by star.

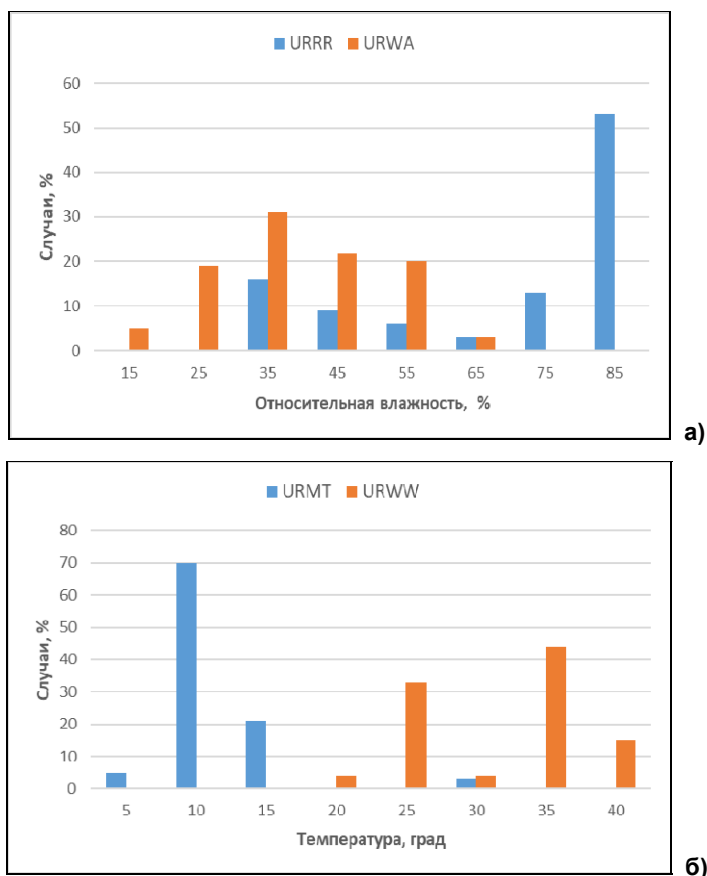


Рис. 6. Распределение случаев с сообщениями о пыльной буре в сводках METAR по градациям относительной влажности на аэродромах Ростова-на-Дону, URRR, и Астрахани, URWA, (а) и температуры на аэродромах Ставрополя, URMT, и Волгограда, URWW (б) за 2001-2019 гг.
Fig. 6. Distribution of METAR reports with "DS" group by gradations of relative humidity (a) at the aerodromes of Rostov-on-Don, URRR, and Astrakhan, URWA, and temperatures (b) at the aerodromes of Stavropol, URMT, and Volgograd, URWW, for 2001-2019.

Температура воздуха, зарегистрированная во время эпизодов переноса пыли, зависит от широты, на которой расположен аэродром, и от времени года. Поскольку максимум таких эпизодов, как указывалось выше, приходится на весну, в 78 % случаев температура в сводках с «DS» не превышала +15 °С. Для летних случаев воздух прогревался до 30 °С и выше (таких случаев по выборке всего 8 %). На рис. 6б представлено распределение температуры для случаев переноса пыли на аэродромах Волгограда (URWW), где примерно 40 % сводок с «DS» было выпущено в летние месяцы, и Ставрополя (URMT), где почти все подобные эпизоды наблюдались в апреле.

Заключение

В период с 2001 по 2019 год на 28 международных аэродромах ЕТР ни разу не регистрировались песчаные бури, а также пыльные бури сильной и умеренной степени интенсивности. Единственный случай переноса пыли, соответствующий критерию пыльной бури, наблюдался только однажды – 19 апреля 2003 года в 9.30 ч ВСВ на аэродроме Шпаковское (Ставрополь), когда видимость понижалась до 1000 м. Между тем наблюдатели на аэродромах описывали в сводках METAR как «пыльную бурю» (DS) любое ухудшение видимости при сильном ветре и в отсутствие осадков. Анализ материалов показал, что подобное уменьшение значений видимости регистрировалось на 14 из 28 аэродромов: в Поволжье (Ульяновск, Казань, Самара, Саратов, Волгоград, Астрахань) и на юге ЕТР (Ростов-на-Дону, Анапа, Краснодар, Ставрополь, Махачкала, Нальчик), а также в единичных сводках на аэродромах Внуково (Москва) и Пулково (Санкт-Петербург). Повторяемость таких случаев, впрочем, оказалась крайне низкой: ее максимальное значение на аэродроме Астрахань составила всего 0,08 %.

Чаще всего перенос пыли происходил при интенсивной адвекции сухого (относительная влажность не превышала 50 % в 2/3 случаев) воздуха с востока или юго-востока. По данным траекторного анализа, часто такой перенос осуществлялся из полупустынных и пустынных районов Прикаспия и Приаралья. Максимум эпизодов интенсивной адвекции запыленного воздуха для большинства аэродромов, расположенных южнее Волгограда, приходился на весну, для более северных – на лето. За последние 5 лет (с 2015 по 2019 г.) сводки METAR с указанием на перенос пыли были выпущены всего на трех из исследуемых аэродромов – в Ростове-на-Дону, Астрахани и Волгограде. При этом только на аэродроме Гумрак (Волгоград) отмечалось увеличение повторяемости дней с пылью, ухудшающей видимость (в среднем за 5 лет до одного дня в год).

Список литературы

1. Инструктивный материал по кодам METAR, SPECI, TAF. (Утвержден приказом Росгидромета 05.03.2015 г. № 115).
2. Инструктивный материал по кодам SIGMET и AIRMET. (Утвержден приказом Росгидромета 20.02.2015 г. № 95).
3. Приложение 3 к Конвенции о международной гражданской авиации. Метеорологическое обеспечение международной авионавигации: Издание девятнадцатое. Июль 2016 г. ИКАО, 2016. 222 с.
4. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 568 с.
5. Шакина Н.П., Иванова А.Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации. М.: Триада лтд, 2016. 312 с.
6. Andrews E., Sheridan P., Ogren J.A., Hageman D., Jefferson A. et al. Overview of the NOAA/ERSL federated aerosol network // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2019. Vol. 13. P. 123-135.

7. *Baddock M.C., Strong C.L., Murray P.S., McTainsh G.H.* Aeolian dust as a transport hazard // *Atmospheric Environment*. 2013. Vol. 71. P. 7-14.
8. *Braun S.A., Sippel J.A., Shie Ch.-L., Boller R.A.* The Evolution and Role of the Saharan Air Layer during Hurricane Helene (2006) // *Mon. Wea. Rev.* 2013. Vol. 141. P. 4269-4295.
9. *Downs N., Butler H., Parisi A.* Solar ultraviolet attenuation during the Australian (Red Dawn) dust event of 23 September 2009 // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2016. Vol. 11. P. 2039-2050.
10. Dust Storm Warning Advisory and Assessment System Regional Node for West Asia: Current Capabilities and Needs // Technical Report WMO-No. 1121. November 2013
11. *Hong S.K., Ryoo S.-B., Kim J., Lee S.-S.* Prediction of Asian Dust Days over Northern China Using the KMA-ADAM2 Model // *Weather and Forecasting*. 2019. Vol. 32. P. 1777-1787.
12. *Houssos E.E., Chronis T., Fottiadi A., Hossain F.* Atmospheric Circulation Characteristics Favoring Dust Outbreaks over the Solar Village, Central Saudi Arabia // *Mon. Wea. Rev.* 2015. Vol. 143. P. 3263-3275.
13. *Mallia D.V., Kochanski A., Wu D., Pennel C., Oswald W., Lin J.C.* Wind-Blown Dust Modeling Using a Backward-Lagrangian Particle Dispersion Model // *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 2017. Vol. 56. P. 2845-2866.
14. *Middleton N.J., Goudie A.S.* Saharan Dust: Sources and Trajectories // *Transactions of the Institute of British Geographers*. 2001. Vol. 26, no. 2. P. 165-181.
15. On Board. A sustainable future. Environmental Report. ICAO, 2016.
16. *Villiers M. P., van Heerden J.* Dust storm and dust at Abu Dabi international airport // *Weather*. 2007. Vol. 62, no.12. P. 339-343.

References

1. Инструктивный материал по кодам METAR, SPECI, TAF. (Утвержден приказом Росгидромета 05.03.2015. No. 115). [in Russ.].
2. Инструктивный материал по кодам SIGMET и AIRMET. (Утвержден приказом Росгидромета 20.02.2015. No. 95). [in Russ.].
3. Приложение 3 к Конвенции о международноy гражданской авиации. Meteorologicheskoe obespechenie mezhdunarodnoy aeronavigatsii: Izdanie devyatnadcatoe. Iyul' 2016. ICAO, 2016, 222 p. [in Russ.].
4. *Hromov S.P., Mamontova L.I.* Meteorologicheskii slovar'. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1976, 568 p.
5. *Shakina N.P., Ivanova A.R.* Prognozirovanie meteorologicheskikh usloviy dlya aviacii. Moscow, Triada LTD publ., 2016, 312 p. [in Russ.].
6. *Andrews E., Sheridan P., Ogren J.A., Hageman D., Jefferson A. et al.* Overview of the NOAA/ERSL federated aerosol network. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 2019, vol. 13, pp. 123-135.
7. *Baddock M.C., Strong C.L., Murray P.S., McTainsh G.H.* Aeolian dust as a transport hazard. *Atmospheric Environment*. 2013, vol. 71, pp. 7-14. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.01.042.
8. *Braun S.A., Sippel J.A., Shie Ch.-L., Boller R.A.* The Evolution and Role of the Saharan Air Layer during Hurricane Helene (2006). *Mon. Wea. Rev.*, 2013, vol. 141, pp. 4269-4295.
9. *Downs N., Butler H., Parisi A.* Solar ultraviolet attenuation during the Australian (Red Dawn) dust event of 23 September 2009. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 2016, vol. 11, pp. 2039-2050.
10. Dust Storm Warning Advisory and Assessment System Regional Node for West Asia: Current Capabilities and Needs. WMO-No. 1121. Technical Report. November 2013. Geneva, WMO, UNEP, 2013.
11. *Hong S.K., Ryoo S.-B., Kim J., Lee S.-S.* Prediction of Asian Dust Days over Northern China Using the KMA-ADAM2 Model. *Weather and Forecasting*, 2019, vol. 32, pp. 1777-1787.
12. *Houssos E.E., Chronis T., Fottiadi A., Hossain F.* Atmospheric Circulation Characteristics Favoring Dust Outbreaks over the Solar Village, Central Saudi Arabia. *Mon. Wea. Rev.*, 2015, vol. 143, pp. 3263-3275.

13. *Mallia D.V., Kochanski A., Wu D., Pennel C., Oswald W., Lin J.C.* Wind-Blown Dust Modeling Using a Backward-Lagrangian Particle Dispersion Model. *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 2017, vol. 56, pp. 2845-2866.
14. *Middleton N.J., Goudie A.S.* Saharan Dust: Sources and Trajectories. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 2001, vol. 26, no. 2, pp. 165-181.
15. On Board. A sustainable future. Environmental Report. ICAO, 2016.
16. *Villiers M. P., van Heerden J.* Dust storm and dust at Abu Dabi international airport. *Weather*, 2007, vol. 62, no.12, pp. 339-343.

*Поступила 30.10.2020; одобрена после рецензирования 04.12.2020;
принята в печать 11.12.2020.*

*Submitted 30.10.2020; approved after reviewing 04.12.2020;
accepted for publication 11.12.2020.*