

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-2-20-42>  
УДК 551.506.9+551.589.6

## **Эпизоды пыльных бурь на аэродромах азиатской части Российской Федерации**

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

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

По данным наблюдений METAR за 2001–2020 гг. на 26 международных аэродромах в азиатской части Российской Федерации исследованы эпизоды пылевого переноса, приводящего к ухудшению видимости. Обсуждаются условия выпуска сводок о пыльных бурях, их соответствие определению пыльной бури. Установлено, что из 337 сводок, описывающих перенос пыли при сильном ветре в отсутствие осадков, определению пыльной бури соответствовали только шесть, зарегистрированных на аэродромах Иркутска, Абакана, Омска и Благовещенска. Остальные случаи, отмеченные на 15 из 26 аэродромов, могут быть отнесены к «dust event» – эпизодам переноса пыли, приводящим к некритичному ухудшению видимости. Изучается сезонный ход таких эпизодов, его связь с изменением видимости. Приводятся характеристики запыленных воздушных масс и направление их адвекции.

*Ключевые слова:* пыльная буря, случаи переноса пыли, аэродромы в азиатской части России, сезонный ход, траекторный анализ

## **Dust storm episodes at the aerodromes in the Asian part of Russia**

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

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

According to 2001-2020 METAR data, episodes of dust transfer causing poor visibility at 26 international aerodromes in Asian Russia are studied. The conditions for issuing reports on dust storms, their correspondence to the definition of a dust storm are discussed. It was found that out of 337 reports describing dust transport by strong wind, only 6 episodes registered at the aerodromes of Irkutsk, Abakan, Omsk, and Blagoveshchensk corresponded to the classical definition. The others detected at 15 of 26 aerodromes may be defined as “dust events” – the episodes of dust transfer causing the nonessential visibility reduction. The seasonal variation in such episodes and its connection with changes in visibility are studied. The characteristics of dusty air masses and the direction of their advection are given.

*Keywords:* dust storm, dust events, aerodromes of Asian Russia, seasonal variation, trajectory analysis

## Введение

Статья является продолжением исследования повторяемости пыльных бурь на аэродромах Российской Федерации. В предыдущей работе [2] был дан анализ воздействия переносимых песка и пыли на функционирование авиационного транспорта, их негативное влияние на видимость и состояние критических систем воздушных судов, а также проанализированы все наблюдения за период 2001–2019 гг. на аэродромах европейской части России, в которых содержалось сообщение о пыльной буре, DS (“dust storm”). Было установлено, что, несмотря на большое количество подобных сообщений в сводках METAR, пыльная буря по определению [9], сопровождающаяся уменьшением видимости до 1000 м и менее, наблюдалась всего однажды – 19 апреля 2003 г. на аэродроме Шпаковское (Ставрополь). Это свидетельствует о серьезной методической проблеме на наблюдательной сети, когда искусственно завышается количество опасных явлений.

В настоящей работе продолжен анализ случаев пыльных бурь на аэродромах Российской Федерации – в ее азиатской части, а также эпизодов пылевого переноса, приводящих к ухудшению видимости.

В [2] было отмечено, что территория России, хотя и не является в глобальном масштабе источником минерального аэрозоля, может подвергаться воздействию дальнего пылевого переноса со стороны расположенных южнее соседних государств, для которых характерны сухой климат, дефицит осадков и эрозия почвы. Для азиатской части страны такими соседями являются Казахстан и республики Средней Азии, большая часть которых расположена в аридной и полуаридной климатических зонах [7], Монголия, более половины которой занимает пустыня Гоби, и КНР. В Китае находится один из двух координационных центров системы предупреждений о песчаных и пыльных бурях и их оценки (SDS-WAS) Всемирной метеорологической организации [<https://public.wmo.int/en/our-mandate/focus-areas/environment/SDS/warnings>].

Для Китая пыльные и песчаные бури являются острой проблемой. С середины прошлого века ученые наблюдают тенденцию расширения засушливых районов северного Китая [12, 13]. Кроме пустыни Гоби (распространяющейся, помимо Монголии, на центральную часть Северного Китая) и других подобных, менее крупных аридных ландшафтов, источником аэрозоля является огромное количество промышленных выбросов. Существующая в этой стране сеть аэрозольных наблюдений CSHNET (Chinese Sun Hazemeter Network) проводит с помощью лидаров регулярные измерения 8 раз в сутки оптической толщины атмосферы [19]. Мониторинг этой характеристики осуществляется также с помощью аппаратуры, установленной на китайском спутнике Fengyun-3A [18]. Концентрация и минеральный состав пыли определяются с помощью отбора проб как на наземных пунктах [21], так и на высотах с помощью

самолетных измерений [20]. Китайскими специалистами изучается климатология пылевого переноса и ее изменчивость [11, 15]. Моделирование процессов переноса позволило установить, что большое количество пыли выносится на акваторию Тихого океана и может достигать не только Японии [14], но и – в 3 % случаев – западного побережья Северной Америки [22]. При этом пыль, основным источником которой являются пустыни Монголии, может подниматься при переносе на высоты до 10 км [22].

В свою очередь, исследователи загрязнения воздуха в Монголии отмечали, что высокие концентрации минерального аэрозоля наблюдаются там в дни с сильным ветром при переносе воздушных масс из пустынь Китая [1]. Кроме природных источников пыли (пустынь), большой вклад в аэрозольное загрязнение вносят разработки открытых месторождений в Монголии и Китае. При реализации проекта ACE-Asia по исследованию региональных климатических эффектов и оценке влияния на химическое загрязнение атмосферы аэрозоля было отмечено, что азиатский континент – самый крупный источник аэрозоля на планете [16].

Перенос пыли из степных и пустынных районов Казахстана и Средней Азии может оказывать потенциальное влияние главным образом на аэродромы Западной Сибири, Алтайского края и Республики Алтай. В кернах ледника г. Белуха исследователи обнаружили слои аэрозоля, источником которого были пыльные бури, пришедшие из районов Северного Казахстана [8]. Отметим в качестве положительного факта упомянутую в [5] тенденцию к уменьшению сильных пыльных бурь в Казахстане – их повторяемость сократилась более чем в 3 раза в 2003–2015 гг. по сравнению с периодом 1990–2002 гг.

## 1. Используемые материалы

Для исследования использовались созданные в Гидрометцентре России базы данных аэродромных наблюдений в коде METAR на крупных международных аэродромах азиатской части Российской Федерации за период с 2001 по 2020 год. Они содержат, помимо прочего, информацию об опасных явлениях погоды, к которым относятся и пыльные бури. Последние кодируются в сводках METAR буквами «DS», при этом приводится указание на изменение интенсивности процесса (+DS означает усиление пыльной бури, -DS соответствует ее ослаблению). Пыльная буря (DS) считается сильной, если «видимость менее 200 м и определение состояния неба затруднено» [3] и умеренной, если видимость «составляет менее 200 м и можно определить состояние неба или находится в диапазоне 200–600 м» [3].

Поскольку предыдущее исследование [2] показало, что выпускаемые на аэродромах сообщения о пыльных бурях в массе своей не соответствуют действительности (уменьшению видимости до значений 1 км и менее), особое внимание в данной работе уделялось проверке сводок

МЕТАР. С этой целью были проанализированы сообщения о явлениях из синоптических наблюдений на ближайших станциях, а также условия погоды, характерные для пыльных бурь (низкая относительная влажность, сильный ветер).

Подробный анализ всех сводок с обозначением пыльных бурь позволил сделать вывод о том, что и на аэродромах в азиатской части страны сохраняется та же серьезная методическая проблема, заключающаяся в неверном кодировании наблюдаемого явления. Еще раз подчеркнем, что при пыльной буре видимость обязательно уменьшается до значений ниже 1000 м. Таких эпизодов было всего шесть, каждый из них был упомянут в разное время в единственной сводке и только однажды – в двух сводках подряд с интервалом 30 мин. Все прочие, если только не были ошибочными, могут быть отнесены к «dust events» – эпизодам переноса пыли, приводящие к ухудшению видимости [17].

Такие случаи часто могли быть закодированы как пыльный (DRDU) или песчаный поземок (DRSA) – введенный в 2015 г. инструктивный материал позволяет вносить в сводку это явление, если оно уменьшает видимость до значений, не превышающих 5000 м на высоте не более 2 м. Если помутнение атмосферы из-за пыли при значительных скоростях ветра происходит выше 2 м, такое явление должно определяться как низовая пылевая метель и кодироваться как BLDU.

На практике на многих аэродромах наблюдаемый перенос пыли был закодирован неверно. В подавляющем большинстве случаев пыльная буря регистрировалась при дальности видимости более 1000 м. Отметим, что аэродром Иркутск – единственный, где при окончании пыльной бури (или пылевого переноса) наблюдатели аккуратно отмечают в сводке МЕТАР это явление в прошедшей погоде (REDS). На других аэродромах пыльная буря часто регистрировалась при максимальной видимости (10000 м и более) – например, в Чите в апреле 2006 г. в течение восьми сроков подряд. На аэродроме Елизово в Петропавловске-Камчатском в ноябре 2013 г. во время ремонта взлетно-посадочной полосы перенос строительной пыли, ухудшающей видимость при сильном ветре до 1000 м, кодировался как пыльный позёмок и песчаный позёмок.

Каждый эпизод, связанный с упоминанием пыли в сводках МЕТАР, подвергался тщательному исследованию с привлечением траекторного анализа. Для оценки влияния дальнего переноса пыли на видимость на аэродроме были максимально исключены случаи ошибок кодирования и наблюдений. При этом в выборку были добавлены некоторые сводки с закодированной мглой (HZ), представляющей собой «помутнение воздуха из-за взвешенных в нем пыли, дыма, механических частиц» [9], если мгла наблюдалась при скоростях ветра более 6 м/с и низкой относительной влажности. Известно, что в некоторых случаях исследователи отождествляют «мглу» и «пыльную бурю» при переносе пыли из Китая в районы Дальнего Востока [4]. Сложность состояла в том, что в азиатской

части страны мгла часто обусловлена в равной степени как адвекцией пыли, так и дымом лесных пожаров. По этой причине сводки METAR со мглой исключались из рассмотрения, если соседние синоптические станции передавали сообщения о дымах. Если же синоптический код на станциях подтверждал наличие пыльной бури различной интенсивности (цифры кода 31–35), такие сообщения со мглой добавлялись к общей выборке.

В итоге процедура фильтрации начальной выборки с почти пятью сотнями сообщений о переносе пыли сократилась на треть, до 337.

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. Траекторный анализ (построение обратных траекторий частицы над уровнем земли) выполнялся с помощью модели HYSPLIT (NOAA) на базе реанализа GDAS с разрешением  $0,5 \times 0,5^\circ$ .

## 2. Анализ данных

Сформированная в итоге выборка наблюдений пылевого переноса содержала сводки METAR, выпущенные на 15 аэродромах (из 26) в азиатской части России в период 2001–2020 гг. Повторяемость таких сообщений, как и на аэродромах, расположенных в европейской части страны, весьма мала. Максимальное количество сводок было выпущено в Иркутске, Улан-Удэ и Благовещенске, их повторяемость за исследуемый период составила 0,015–0,018 %. Несмотря на значительную фильтрацию начальных данных, значения видимости, содержащиеся в подобных сводках, сильно варьируют, однако в 80 % случаев они не превышают 5000 м (табл. 1).

**Таблица 1.** Распределение значений видимости в сводках METAR при явлениях, связанных с переносом пыли за 2001–2020 гг. на аэродромах азиатской части России

**Table 1.** Visibility in METAR reports with dust transport for 2001-2020 at the aerodromes in Asian Russia

Видимость, м	0–1000	1001–2000	2001–3000	3001–4000	4001–5000	5001–6000	6001–7000	7001–8000	8001–9000	>9000	Сумма
Кол-во случаев	7	22	70	80	92	22	8	12	11	13	337
%	2,1	6,5	20,8	23,7	27,3	6,5	2,4	3,6	3,3	3,9	100

Помимо количества сводок METAR с явлениями пылевого переноса, было проанализировано число дней, в которые эти явления

регистрировались. Подобная характеристика может представлять интерес для климатического описания аэродрома [6]. Количество дней с переносом пыли за исследуемый 20-летний период отражено в табл. 2. Там же приведены значения минимальной видимости, отмеченной на каждом аэродроме, а также максимальная продолжительность «пылевого» эпизода (округленная до получаса, поскольку оценивалась только по данным METAR).

**Таблица 2.** Характеристики эпизодов с переносом пыли на аэродромах азиатской части России

**Table 2.** Characteristics of episodes with dust transfer at aerodromes in the Asian part of Russia

№	Индекс ИКАО	Индекс ВМО	Пункт* (аэродром)	Количество дней со случаями пылевого переноса	Минимальная видимость, м	Максимальная продолжительность, ч
1	USRR	23849	Сургут	2	2500	2
2	USSS	28440	Екатеринбург (Кольцово)	2	4800	0,5
3	USCC	28645	Челябинск	5	3000	5,5
4	UNOO	28698	Омск (Центральный)	5	700	1
5	UNKL	29570	Красноярск	2	2800	6
6	UNNT	29630	Новосибирск (Толмачево)	3	2200	6,5
7	UNEE	29642	Кемерово	4	2100	7
8	UNBB	29838	Барнаул	2	4000	2
9	UNWW	29846	Новокузнецк (Спиченково)	2	3100	4,5
10	UNAA	29865	Абакан	11	900	8
11	UIII	30710	Иркутск	30	700	2,5
12	UIAA	30758	Чита (Кадала)	6	2200	4
13	UIUU	30823	Улан-Удэ	18	1500	4
14	UNBB	31510	Благовещенск	5	900	10,5
15	UNHH	31735	Хабаровск (Новый)	1	6000	0,5

*Примечание.* \* Здесь и далее в таблицах название аэродрома, совпадающее с названием населенного пункта, не указывается.

*Note.* \* Hereinafter in the tables, the aerodrome name that coincides with the settlement name is not indicated.

Случаи, когда такой эпизод можно было рассматривать как пыльную бурю (уменьшение значений видимости до 1000 м и менее), регистрировались всего на четырех аэродромах: Омск, Абакан, Иркутск и Благовещенск. Во всех случаях интенсивность явления характеризовалась категорией «слабая». Самый продолжительный эпизод (10,5 ч), который наблюдался в Благовещенске в 2017 году, будет подробнее проанализирован в следующем разделе.

Оценка повторяемости эпизодов переноса пыли производилась для каждого года и для 5-летних периодов (минимальный отрезок наблюдений для составления климатического описания аэродрома). В период 2001–2020 гг. (табл. 3) особо выделяется интервал с 2006 по 2010 год, когда повторяемость количества дней с пылью на аэродромах азиатской части страны более чем в 2 раза превысила значения за предыдущую и последующую пятилетки. Рекордсменом является 2007 год: тогда было отмечено 15 дней (втрое выше, чем среднегодовое значение по 20-летней выборке) с пылевым переносом, зарегистрированным на 10 из 15 аэродромов. Большой вклад в этот рекорд внесла обширная пыльная буря из района Приаралья [10], которая в начале мая накрывала последовательно аэродромы Новосибирска, Кемерово, Барнаула, Новокузнецка, Абакана и Иркутска.

Отметим, что только на аэродроме Улан-Удэ имеет место существенное повышение повторяемости эпизодов пылевого переноса за последние 5 лет (11 из 18 дней за 20-летний период).

Анализ сезонного распределения эпизодов переноса пыли (табл. 4) выявил их отсутствие с ноября по март на всех аэродромах, за исключением Благовещенска (там был отмечен один мартовский эпизод). Чаще всего помутнение атмосферы из-за пыли на аэродромах регистрируется в апреле и мае. Число дней от общего количества за год в эти месяцы составляет 68 %, еще 12 % приходится на первый месяц лета. Из шести эпизодов реальных пыльных бурь с уменьшением значений видимости до 1000 м и менее, четыре были отмечены в мае и по одному – в апреле и июне.

В качестве региональных особенностей сезонного хода эпизодов пылевого переноса можно отметить, что на аэродроме Кольцово в Екатеринбурге они наблюдались в сентябре и октябре, в Кемерово – в мае и сентябре, на аэродроме Новый в Хабаровске единственный случай был зарегистрирован в октябре.

Поскольку большинство эпизодов переноса пыли приходится на весну и начало лета, значения температуры закономерно находятся в диапазоне от 11 до 25 °С в большинстве (74 %) случаев (рис. 1а). В 4 % сводок температура превышала 30 °С, в 5,6 % изменялась в диапазоне от 0 до 5 °С. Как и следовало ожидать, большинство запыленных воздушных масс оказываются очень сухими – в 63 % случаев значения относительной влажности воздуха не превышают 40 % (рис. 1б).

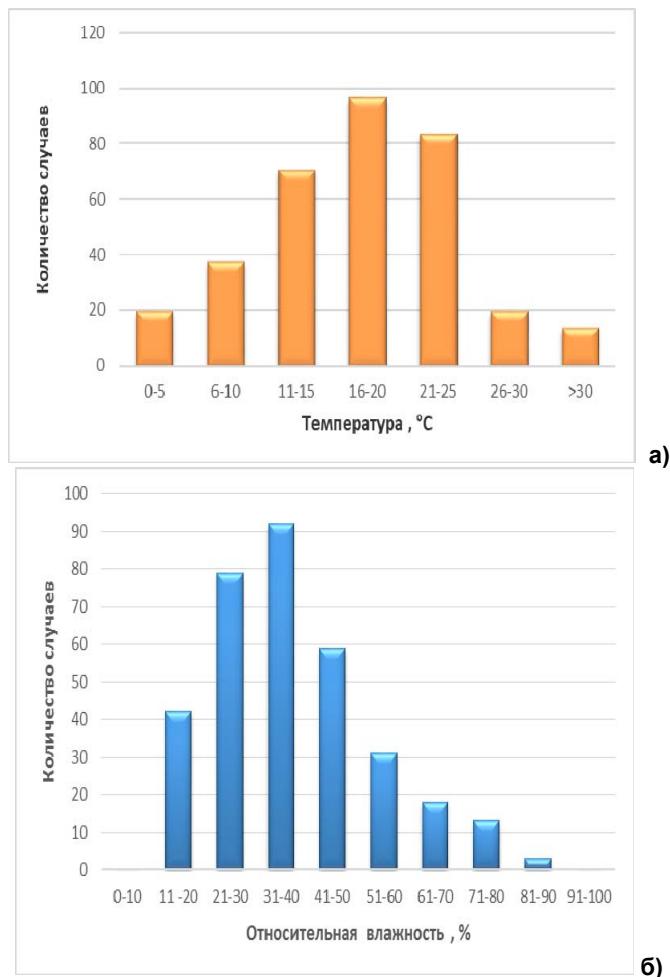
**Таблица 3.** Межгодовое распределение числа дней с пылевым переносом на аэродромах азиатской части России в период 2001-2020 гг.

**Table 3.** Interannual distribution of number of days/METAR reports in the sample of dust transfer episodes at aerodromes in the Asian Russia in 2001-2020

	Пункт (Аэродром)	Год																			Сумма					
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019		2020				
1	Сургут	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2				
2	Екатеринбург (Кольцово)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2				
3	Челябинск	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5				
4	Омск (Центральный)	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5				
5	Красноярск	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2				
6	Новосибирск (Толмачево)	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3				
7	Кемерово	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4				
8	Барнаул	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2				
9	Новокузнецк (Спиченково)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2				
10	Абакан	1	1	2	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	11				
11	Иркутск	0	2	2	1	0	3	3	2	1	1	2	1	3	2	1	2	1	1	1	1	30				
12	Чита (Кадала)	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	6				
13	Улан-Удэ	0	0	0	0	0	1	3	1	0	1	0	0	1	0	0	1	2	8	0	18					
14	Благовещенск	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	5				
15	Хабаровск (Новый)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1				
	Сумма	5	3	5	3	2	8	15	7	4	4	3	5	1	4	4	1	7	5	11	1	98				
	Среднее за период	3,6																			7,6	3,4			5,0	4,9







**Рис. 1.** Распределение значений температуры (слева) и относительной влажности (справа) для дней с переносом пыли на аэродромах азиатской части России в период 2001–2020 гг.

**Fig. 1.** Temperature (left) and relative humidity (right) distribution for dust episodes at aerodromes in Asian Russia in 2001–2020.

Азиатская территория России, особенно ее восточная часть, характеризуется весьма сложной орографией. В таких условиях направление переноса пыли, попадающей на аэродром, может существенно изменяться из-за особенностей рельефа (табл. 5). Чаще всего наблюдается адвекция запыленных воздушных масс при ветрах западной четверти. Это характерно для аэродромов, расположенных к западу от Абакана, здесь «пылевые» эпизоды регистрировались при переносе с запада

и юго-запада. Для Иркутска преимущественным направлением ветра в таких случаях является северо-западное и западное, для Улан-Удэ – северо-западное и северное, для Благовещенска – южное и юго-западное.

**Таблица 5.** Распределение направления ветра на аэродромах азиатской части России, указанное в сводках METAR, для случаев пылевого переноса в период 2001–2020 гг.

**Table 5.** Wind direction from METAR reports at the aerodromes for dust events in Asian Russia in 2001–2020

№	Пункт (Аэродром)	Направление ветра, румбы								
		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Переменный
1	Сургут	0	0	0	0	0	0	5	0	1
2	Екатеринбург (Кольцово)	0	0	0	0	0	2	0	0	0
3	Челябинск	0	0	6	5	1	0	14	4	0
4	Омск (Центральный)	0	0	0	0	2	3	3	0	1
5	Красноярск	0	0	0	0	0	1	12	0	0
6	Новосибирск (Толмачево)	0	0	0	0	0	6	10	0	0
7	Кемерово	0	0	0	0	0	18	0	0	0
8	Барнаул	0	0	0	0	1	8	0	0	0
9	Новокузнецк (Спиченково)	0	0	0	0	0	7	5	0	0
10	Абакан	5	0	0	0	0	20	16	0	1
11	Иркутск	1	0	0	0	1	0	10	40	1
12	Чита (Кадала)	1	0	0	0	0	0	9	13	0
13	Улан-Удэ	14	1	1	0	0	0	3	30	7
14	Благовещенск	9	0	0	0	25	13	0	0	0
15	Хабаровск (Новый)	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Сумма		30	1	7	5	30	79	87	87	11

### 3. Эпизоды пыльных бурь на аэродромах азиатской части России

В данном разделе представлен краткий анализ для шести эпизодов пыльных бурь, зарегистрированных на аэродромах Иркутск, Омск, Абакан и Благовещенск в период 2001–2020 гг. Иллюстрации суточного хода метеоэлементов (округленных до целых значений) по данным сообщений METAR были дополнены 48-часовыми обратными траекториями частиц, построенными для срока, максимально близкого к моменту регистрации пыльной бури на аэродроме (обозначенного на рисунках звездочкой). Мониторинг движения частиц производился на высотах в слое 0–500 м

над уровнем земли. В отсутствие необходимого синоптического материала (микрокольцевых карт и пр.), не вдаваясь в подробности синоптического анализа, обратим внимание на регионы возможного источника пыли, обусловившей понижение видимости на аэродроме до значений ниже 1000 м, и на взаимосвязь видимости с динамикой других параметров атмосферы по данным METAR. Аэродром Иркутск является лидером по числу подобных эпизодов – они отмечались трижды за 20-летний период: 5 мая 2007 г., 17 апреля 2012 г. и 9 мая 2016 г.

#### ***Аэродром Иркутск, 5 мая 2007 года***

Ухудшение видимости на аэродроме наблюдалось с 11 ч ВСВ (рис. 2а), когда в течение часа ее значения понизились с 10 км до 700 м. Перед регистрацией факта пыльной бури в 12 ч ВСВ довольно длительное время господствовали ветры южного направления, приносившие с территории Монголии (рис. 2в) запыленную воздушную массу с температурой до 29 °С (рис. 2б) и относительной влажностью, понижающейся почти до 10 %. Минимальная видимость была отмечена в тот момент, когда давление уже начало повышаться (с 995 до 1000 гПа), а влажность резко выросла, хотя и не превысила 50 %. В сводках об осадках ничего не сообщалось. Очевидно, что пыльная буря была зафиксирована на фоне прохождения сухого холодного фронта, которое отмечалось резким усилением (с 4 до 16 м/с, порывы до 25 м/с) и поворотом ветра (смена направления на северо-западное). Температура воздуха в течение 2 ч (с 10 до 12 ч ВСВ) опустилась на 11 °С и далее продолжила понижаться.

#### ***Аэродром Иркутск, 17 апреля 2012 г.***

Этот эпизод во многом похож на предыдущий. Здесь также наблюдается прохождение холодного фронта непосредственно перед фактом регистрации пыльной бури (рис. 3 а,б), сопровождающееся изменением направления ветра с южного на северо-западное и сменой воздушной массы (с ростом значений относительной влажности с 20 до 100 % и понижением температуры на полтора десятка градусов). Отметим, что пыльная буря на аэродроме отмечалась при видимости 1100 м в 11.30 ч ВСВ, за полчаса до регистрации минимальной видимости, когда начался упомянутый в сводках слабый ливневой дождь. Последующие скачки значений видимости также совпадали с фактом наблюдаемого ливневого дождя в сообщениях METAR. Адвекция частиц пыли осуществлялась с территории Монголии по весьма сложным петлеобразным траекториям (рис. 3в).

#### ***Аэродром Иркутск, 9 мая 2016 г.***

Наблюдавшаяся в этот день пыльная буря активно упоминалась в средствах массовой информации [<http://baikal-info.ru/veter-ostavil-bez-salyuta>], а условия ее возникновения были проанализированы в [[http://geogr.isu.ru/ru/news/docs/dust\\_storm.pdf](http://geogr.isu.ru/ru/news/docs/dust_storm.pdf)]. Видимость на аэродроме

в 10.30 ч ВСВ понизилась до 900 м, ветер достигал 19 м/с с порывами до 28 м/с. Температура в период с 9 до 13 ч ВСВ понизилась с 24 до 3 °С, относительная влажность выросла с 15 до 95 %. Отличие этого эпизода от предыдущих заключается в более значительном контрасте воздушных масс (рис. 4 а,б) при прохождении более глубокого холодного фронта, а также в регионе источника пыли: траекторный анализ показывает, что это могли быть районы северо-восточного Казахстана и Прибалхашья (рис. 4в).

#### ***Аэродром Абакан, 14 мая 2006 г.***

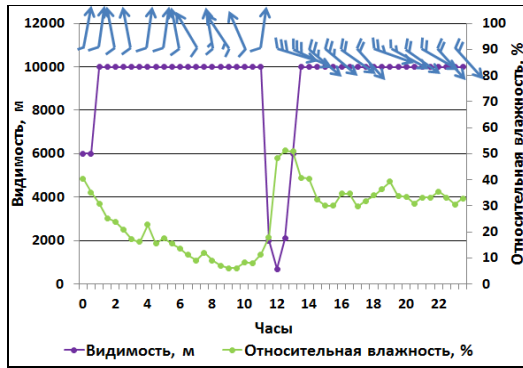
Для эпизода этой пыльной бури, зарегистрированной на аэродроме в 8.30 и 9.00 ч ВСВ, когда видимость в течение получаса снизилась с 10000 до 900 м, также характерна смена воздушных масс (рис. 5 а,б), поступавших на этот раз из районов северо-западного Китая (рис. 5в). При этом контрасты температуры и влажности на холодном фронте были не столь велики. Направление ветра у земли, хотя и изменилось, еще в течение 10 ч сохраняло южную составляющую – до тех пор, пока не подошел следующий холодный фронт со слабыми ливневыми дождями, видимость в которых уменьшилась не столь значительно (до 5000 м).

#### ***Аэродром Омск, 18 июня 2009 г.***

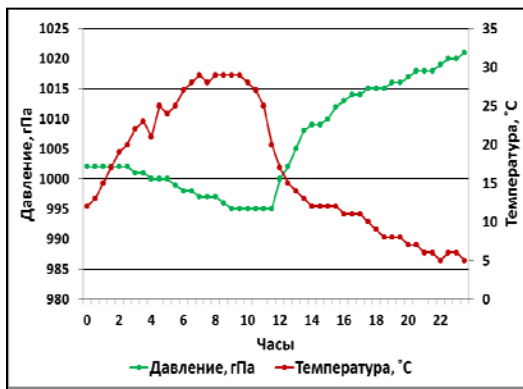
Данный эпизод пыльной бури, когда в 13.30 ч ВСВ видимость на аэродроме снизилась до 700 м (рис. 6а), отличается от описанных выше прежде всего относительно слабыми скоростями ветра (7–12 м/с). В период с 12 до 14 ч ВСВ наблюдалось уменьшение значений температуры на 10 °С и увеличение значений влажности с 35 до 80 % (рис. 6 а,б). Последующие, хотя и не столь существенные изменения видимости были обусловлены грозами с дождем, отмеченными в сводках METAR. Траекторный анализ показывает, что потенциальным источником пыли могли быть области северного Казахстана (рис. 6в).

#### ***Аэродром Благовещенск, 4 мая 2017 г.***

На аэродроме с 2 до 12 ч ВСВ (11–21 ч местного времени) наблюдатели фиксировали «мглу» (HZ). В данном эпизоде, в отличие от других, видимость снижалась постепенно в течение 3,5 ч и достигла минимума (900 м) к 5.30 ч ВСВ (рис. 7а). Скорость ветра в этот период не превышала 9 м/с (порывы до 15 м/с). Ход значений относительной влажности был таким же плавным, как и видимости, с минимумом около 12 %. На этот раз адвекция пыли осуществлялась над протяженной территорией пустыни Гоби: траектории частиц пролегли вблизи южной границы Монголии и над северо-западом Китая (рис. 7в). По окончании мглы воздух остался довольно сухим (RH~50 %), поскольку сохранялась южная составляющая переноса.

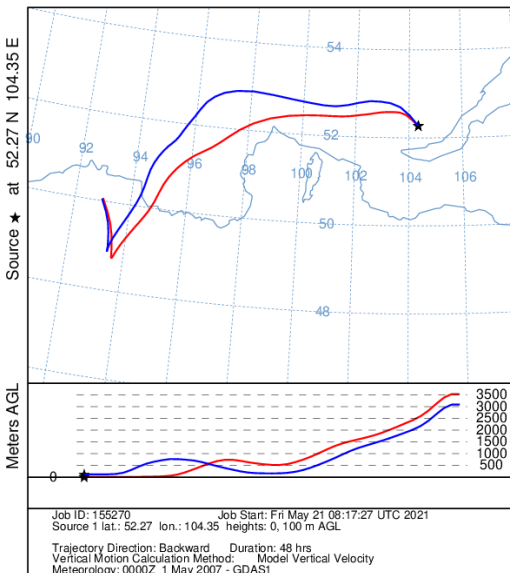


а)



б)

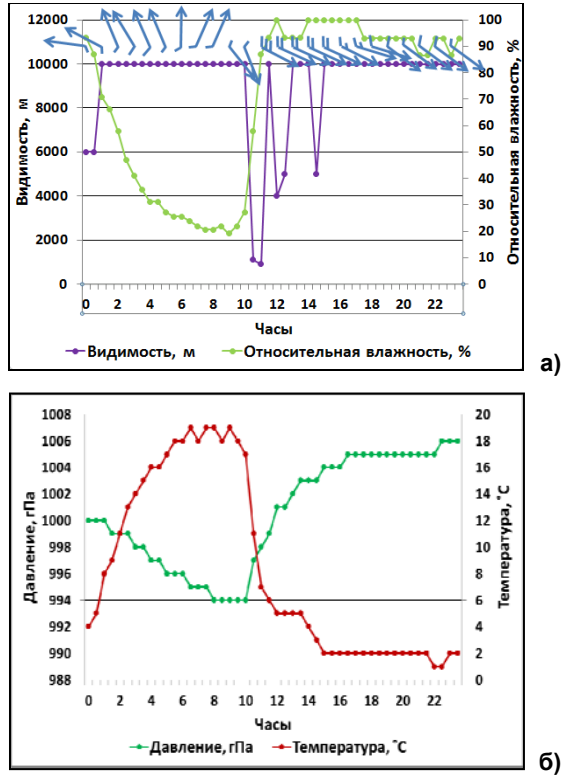
NOAA HYSPLIT MODEL  
 Backward trajectories ending at 1200 UTC 05 May 07  
 GDAS Meteorological Data



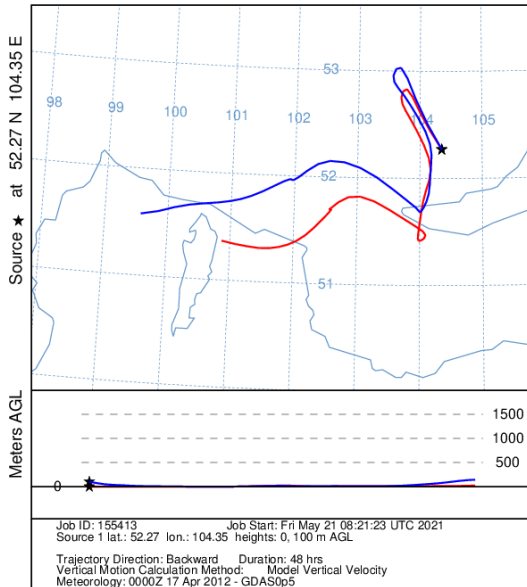
в)

**Рис. 2.** Ход относительной влажности, видимости, ветра (а), давления и температуры (б) на аэродроме Иркутск в течение суток (ВСВ) 5 мая 2007 г. Траектории частиц, пришедших в течение 48 ч на станцию на высоту 0 м (красная) и 100 м (синяя) над уровнем земли (в).

**Fig. 2.** The course of the relative humidity, visibility, wind (a), pressure and temperature (б) at the Irkutsk aerodrome during the day on May 5, 2007 (UTC). The 48-hour backward trajectories of particles arriving at the station at an altitude of 0 m (red) and 100 m (blue) AGL (в).



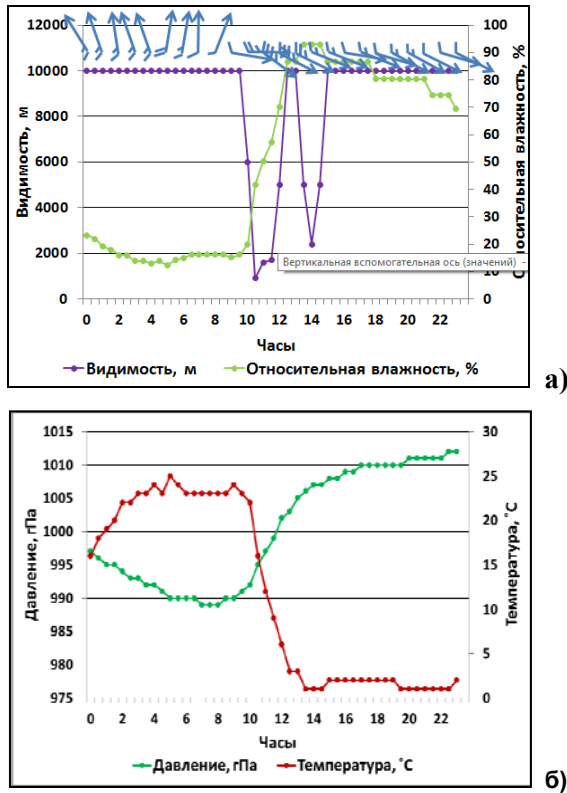
NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 1100 UTC 17 Apr 12  
GHDA Meteorological Data



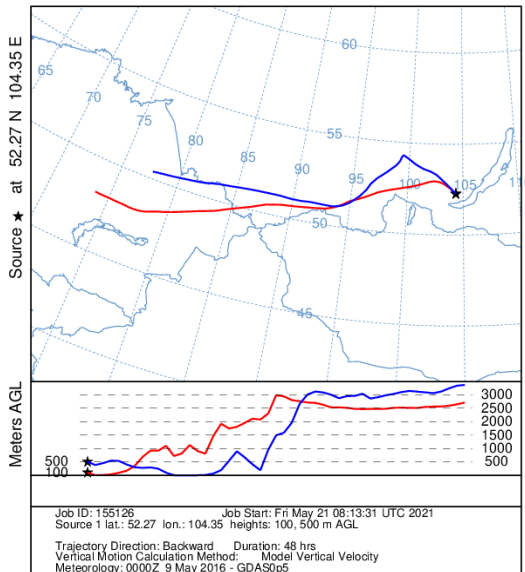
**Рис. 3.** Ход относительной влажности, видимости, ветра (а), давления и температуры (б) на аэродроме Иркутск в течение суток (ВСВ) 17 апреля 2012 г. Траектории частиц, пришедших в течение 48 ч на станцию на высоту 0 м (красная) и 100 м (синяя) над уровнем земли (в).

**Fig. 3.** The course of the relative humidity, visibility, wind (a), pressure and temperature (б) at the Irkutsk aerodrome during the day on April 17, 2012 (UTC). The 48-hour backward trajectories of particles arriving at the station at an altitude of 0 m (red) and 100 m (blue) AGL (в).

**в)**



NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 1100 UTC 09 May 16  
GFSG Meteorological Data

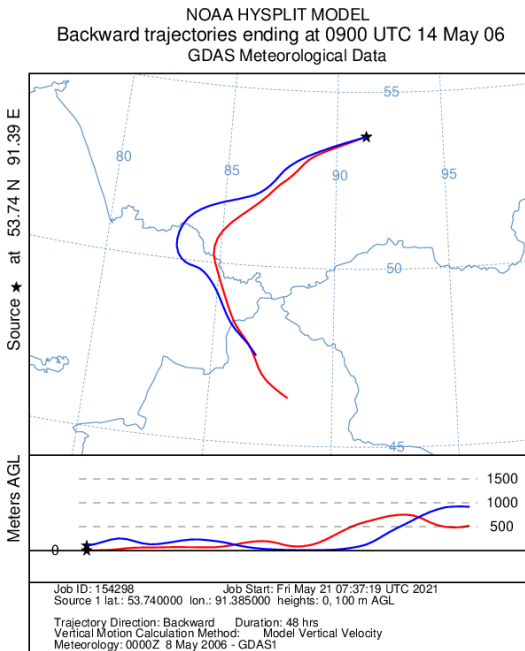
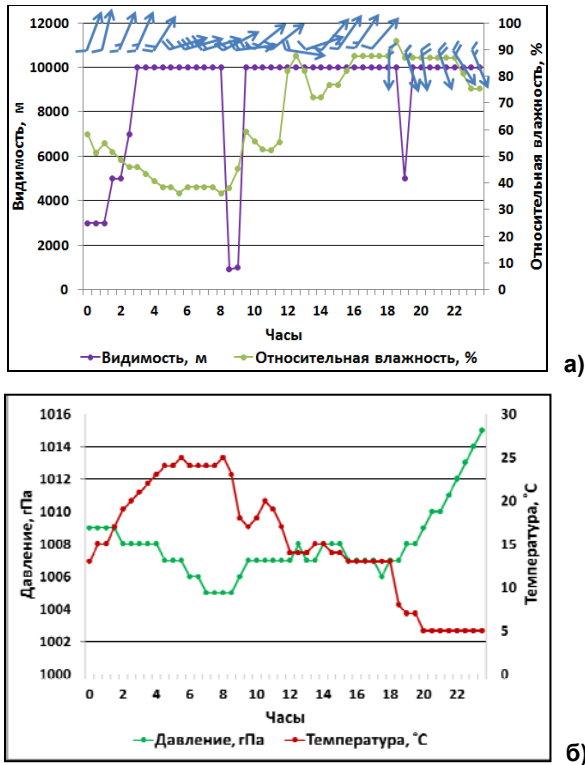


**Рис. 4.** Ход относительной влажности, видимости, ветра (а), давления и температуры (б) на аэродроме Иркутск в течение суток (BCB) 9 мая 2016 г. Траектории частиц, пришедших в течение 48 ч на станцию на высоту 100 м (красная) и 500 м (синяя) над уровнем земли (в).

**Fig. 4.** The course of the relative humidity, visibility, wind (a), pressure and temperature (b) at the Irkutsk aerodrome during the day on May 9, 2016 (UTC). The 48-hour backward trajectories of particles arriving at the station at an altitude of 100 (red) m and 500 m (blue) AGL (в).

в)

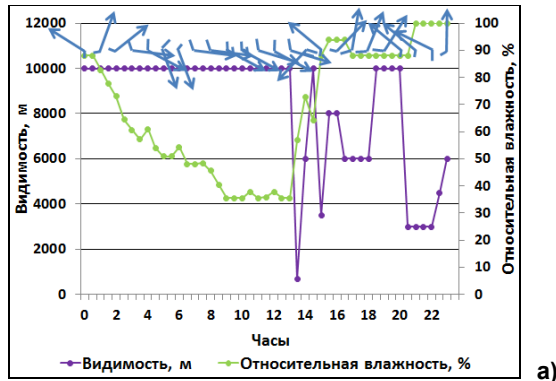




**Рис. 5.** Ход относительной влажности, видимости, ветра (а), давления и температуры (б) на аэродроме Абакан в течение суток (ВСВ) 14 мая 2006 г. Траектории частиц, пришедших в течение 48 ч на станцию на высоту 0 м (красная) и 100 м (синяя) над уровнем земли (в).

**Fig. 5.** The course of the relative humidity, visibility, wind (a), pressure and temperature (б) at the Abakan aerodrome during the day on May 14, 2006 (UTC). The 48-hour backward trajectories of particles arriving at the station at an altitude of 0 (red) m and 100 m (blue) AGL (в).

**в)**

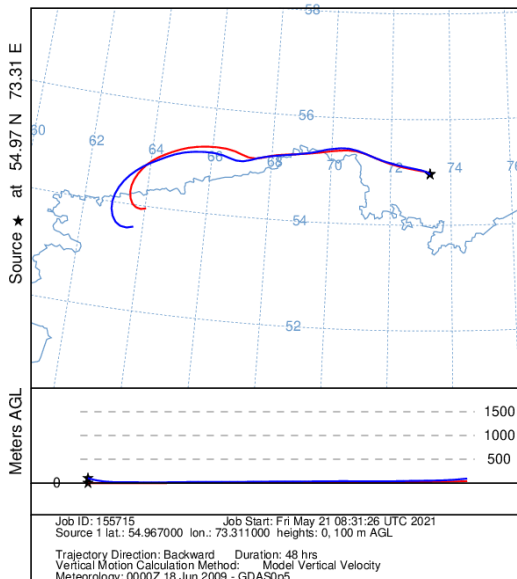


а)



б)

NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 1400 UTC 18 Jun 09  
GHDA Meteorological Data



в)

**Рис. 6.** Ход относительной влажности, видимости, ветра (а), давления и температуры (б) на аэродроме Омск в течение суток (ВСВ) 18 июня 2009 г. Траектории частиц, пришедших в течение 48 ч на станцию на высоту 0 м (красная) и 100 м (синяя) над уровнем земли (в).

**Fig. 6** The course of the relative humidity, visibility, wind (a), pressure and temperature (б) at the Omsk aerodrome during the day on June 18, 2009 (UTC). The 48-hour backward trajectories of particles arriving at the station at an altitude of 0 (red) m and 100 m (blue) AGL (в).

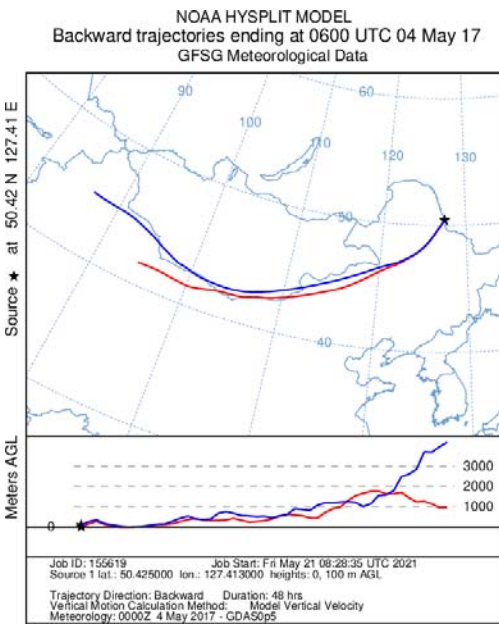
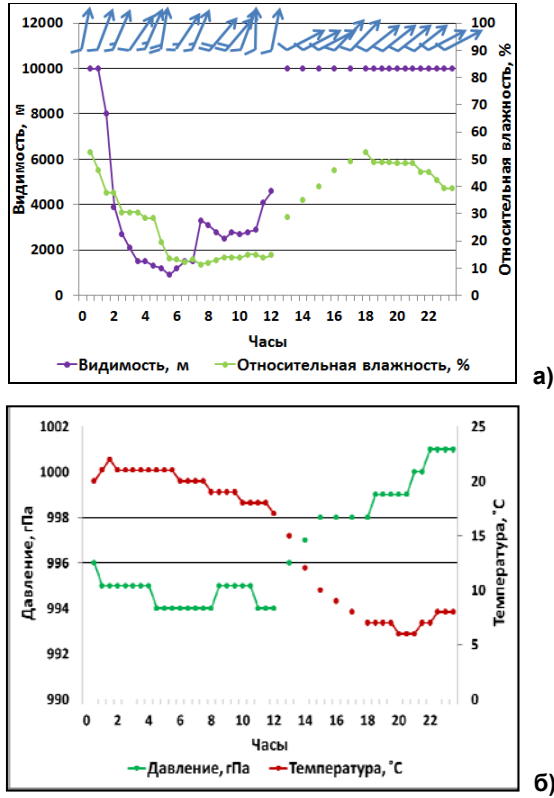


Рис. 7. Ход относительной влажности, видимости, ветра (а), давления и температуры (б) на аэродроме Благовещенск в течение суток (ВСВ) 4 мая 2017 г. Траектории частиц, пришедших в течение 48 ч на станцию на высоту 0 м (красная) и 100 м (синяя) над уровнем земли (в).

Fig. 7. The course of the relative humidity, visibility, wind (a), pressure and temperature (b) at the Blagoveshchensk aerodrome during the day on May 4, 2017 (UTC). The 48-hour backward trajectories of particles arriving at the station at an altitude of 0 m (red) and 100 m (blue) AGL (v).

в)

## Заключение

Хотя пыльные бури могут представлять ощутимую опасность для авиации, на аэродромах Российской Федерации, к счастью, их повторяемость крайне мала. Это было установлено ранее для аэродромов в европейской части России [2] и подтверждено настоящим исследованием, содержащим анализ данных METAR за 2001–2020 гг. для аэродромов, расположенных в азиатской части страны.

Эпизоды ухудшения видимости, связанные с переносом пыли, были выявлены на 15 из 26 исследуемых аэродромов. Повторяемость таких эпизодов невелика, ее максимальные значения отмечались на аэродромах Иркутск (0,015 %), Улан-Удэ (0,017 %) и Благовещенск (0,018 %).

80 % подобных эпизодов регистрируется в апреле–июне, максимум приходится на май. Значения температуры при этом находятся в диапазоне от 10 до 25 °С в 74 % случаев, относительная влажность чаще всего не превышает 50 %. Направление ветра для таких эпизодов корректируется рельефом и отличается на разных станциях. Увеличение повторяемости эпизодов переноса пыли за последние 5 лет было отмечено только на аэродроме Улан-Удэ.

Тщательный анализ данных аэродромных наблюдений позволил установить, что наблюдатели часто кодируют как пыльные бури явления, которые таковыми не являются. Фактически случаев пылевого переноса, достигающих интенсивности пыльной бури, крайне мало.

Проведенный в работе анализ позволил установить, что за последние 20 лет на аэродромах азиатской части страны не было отмечено ни одного случая, который соответствовал бы определению умеренной или сильной пыльной бури [3]. В то же время на аэродромах Иркутск, Омск, Абакан и Благовещенск было зарегистрировано 6 эпизодов пыльных бурь слабой интенсивности, сопровождавшихся падением значений видимости до 700–1000 м в течение короткого времени (в 5 из 6 случаев подобные значения отмечались в единственной получасовой сводке). Источниками пыли были сухие территории южных соседей России – север Казахстана, север Китая и Монголия. Минимум видимости, как правило, отмечался в условиях прохождения атмосферного фронта, в момент резкой смены воздушных масс.

## Список литературы

1. Жамсуева Г.С., Заяханов А.С., Цыдытов В.В., Бальжанов Т.С., Оюнчимэг Д. Оценка воздействия атмосферных примесей на окружающую природную среду пустыни Гоби в условиях промышленного развития Монголии // Вестник БНЦ СО РАН. 2013. № 2 (10). С. 229–246.

2. Иванова А.Р., Скриптунова Е.Н., Комасько Н.И., Завьялова А.А. Влияние пыльных и песчаных бурь на работу авиационного транспорта и оценка условий их возникновения на аэродромах европейской части России // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. №4 (378). С. 78–95.

3. Инструктивный материал по кодам METAR, SPECI, TAF: Утвержден приказом Росгидромета № 115 от 05.03.2015 г.

4. Кондратьев И.И., Скальшиа О.О. Трансграничный перенос цезия-137 с терригенной пылью азиатских пустынь на юг Дальнего востока // География и природные ресурсы. 2011. № 2. С. 32-38.

5. Кохжаметов П.С., Кохжаметова Э.П. Экстремальные метеорологические явления в Казахстане в условиях глобального потепления климата // Гидрометеорология и экология. 2016. № 2. С. 7-19.

6. Метеорологическое обеспечение международной авионавигации: Приложение 3 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО: издание девятнадцатое, июль 2016 г.

7. Семенов О.Е. Введение в экспериментальную метеорологию и климатологию песчаных бурь. М.: Физматкнига, 2020. 448 с.

8. Фролова Н.С., Зинченко Г.С., Папина Т.С. Региональные атмосферные процессы и пылевое загрязнение ледника г. Белуха // География и природные ресурсы. 2009. № 1. С. 46-49.

9. Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеоздат. 1976. 568 с.

10. Чередниченко В.С., Чередниченко А.В., Чередниченко Ал.В. Синоптическая ситуация, предшествующая пыльной буре 7 мая 2007 г. в районе Аральского моря // Гидрометеорология и экология. 2012. № 1. С. 41-57.

11. Gong S.L., Zhang X.Y., Zhao T.L., Zhang X.B., Barrie L.A., McKendry I.G., Zhao C.S. A Simulated Climatology of Asian Dust Aerosol and Its Trans-Pacific Transport. Part II: Interannual Variability and Climate Connections // Journal of Climate. 2006. Vol. 19, no. 1. P. 104-122.

12. Guan Q., Sun X., Yang J., Pan B., Zhao Sh., Wang L. Dust Storms in Northern China: Long-Term Spatiotemporal Characteristics and Climate Controls // Journal of Climate. 2017. Vol. 30, no. 9. P. 6683-6700.

13. Li Y., Huang J., Ji M., Ran J. Dryland Expansion in Northern China from 1948 to 2008 // Advances in Atmospheric Sciences. 2015. Vol. 32. P. 870-876.

14. Tsunematsu N., Iwai H., Ishii Sh., Yasui M., Murayama Y., Mizutani K. Influence of Surface-Based Stable Layer Development on Asian Dust Behaviour Over Tokyo // Boundary Layer Meteorol. 2009. Vol. 131. P. 263-275.

15. Qian W., Quan L., Shi Sh. Variations of the Dust Storm in China and its Climatic Control // Journal of Climate. 2002. Vol. 15, no. 5. P. 1216-1229.

16. Seinfeld J.H., Carmichael G.R., Arimoto R., Conant W.C., Brechtel F.G. et al. ACE-Asia // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2004. No. 3. P. 367-380.

17. Villiers M. P., van Heerden J. Dust storm and dust at Abu Dabi international airport // Weather. 2007. Vol. 62, no. 12. P. 339-343.

18. Xia X., Min J., Shen F., Wang Y., Yang C. Aerosol data assimilation using data from Fengyun-3A and MODIS: application to a dust storm over East Asia in 2011 // Advances in Atmospheric Sciences. 2019. Vol. 36, no. 1. P. 1-14.

19. Xin J., Do W., Wang Y., Gao X., Li Zh., Wang M. Aerosol optical properties affected by a strong dust storm over Central and Northern China // Advances in Atmospheric Sciences. 2010. Vol. 27, no. 3. P. 562-574.

20. Yang J., Lei H., Lu Y. Airborne Observations of Cloud Condensation Nuclei Spectra and Aerosols over East Inner Mongolia // Advances in Atmospheric Sciences. 2017. Vol. 34, no. 8. P. 1003-1016.

21. Zhang R., Han Zh., Shen Zh., Cao J. Continuous Measurement of Number Concentrations and Elemental Composition of Aerosol Particles for a Dust Storm Event in Beijing // Advances in Atmospheric Sciences. 2008. Vol. 25, no. 1. P. 89-95.

22. Zhao T.L., Gong S.L., Zhang X.Y., Blanchet J.-P., McKendry I.G., Zhou Z.J. Simulated climatology of Asian dust aerosol and its Trans-Pacific transport // *Journal of Climate*. 2006. Vol. 18, no. 1. P. 88-103.

### References

1. Zhamsueva G.S., Zayakhanov A.S., Tsydypov V.V., Bal'zhanov T.S., Azzaya D., Oyunchimeg D. The impact assessment of atmospheric pollutants on the environment of the gobi desert in the conditions of Mongolia's industrial development. *Vestnik BNC SO RAN [Bulletin of the BSC SB RAS]*, 2013, vol. 10, no. 2, pp. 229-246. [in Russ.].

2. Ivanova A.R., Skriptunova E.N., Komasko N.I., Zavialova A.A. Impact of dust and sand storms on the aviation operation and assessment of conditions for their occurrence at aerodromes in European Russia. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*, 2020, vol. 378, no. 4, pp. 78-95. [in Russ.].

3. Instruktivnyy material po kodam METAR, SPECI, TAF. (Utverzhden prikazom Rosgidrometa 05.03.2015. No. 115. [in Russ.].

4. Kondratiev I.I., Skalyga O.R. Atmospheric transboundary transport of cesium-137 with terrigenous dust from Asian deserts to the southern Far East. *Geography and natural resources*, 2011, vol. 32, no. 2, pp. 126-131. DOI: 10.1134/S1875372811020041.

5. Kozhakhmetov P.Z., Kozhakhmetova L.P. Extreme meteorological phenomena in the Kazakhstan in conditions of global climate warming. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2016, no. 2, pp. 7-19. [in Russ.].

6. Meteorologicheskoe obespechenie mezhdunarodnoy aeronavigacii: Prilozhenie 3 k Konvencii o mezhdunarodnoy grazhdanskoj aviacii. IKAO: izdanie devyatnadcatoe, iyul' 2016 g. [in Russ.].

7. Semenov O.E. Vvedenie v eksperimental'nyuyu meteorologiyu i klimatologiyu peschanyh bur'. Moscow, Fizmatkniga, 2020, 448 p. [in Russ.].

8. Frolova N.S., Zinchenko G.S., Papina T.S. Regional atmospheric processes and dust pollution of the Mt. Belukha glacier. *Geography and natural resources*, 2009, vol. 30, no. 1, pp. 26-29. DOI: 10.1016/j.gnr.2009.03.006.

9. Hromov S.P., Mamontova L.I. Meteorologicheskii slovar'. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1976, 568 p. [in Russ.].

10. Cherednichenko V.S., Cherednichenko A.V., Cherednichenko A.I.V. Sinopticheskaya situaciya, predshestvuyushchaya pyl'noy bure 7 maya 2007 g. v rayone Aral'skogo morya. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2012, no. 1, pp. 41-57. [in Russ.].

11. Gong S.L., Zhang X.Y., Zhao T.L., Zhang X.B., Barrie L.A., McKendry I.G., Zhao C.S. A Simulated Climatology of Asian Dust Aerosol and Its Trans-Pacific Transport. Part II: Interannual Variability and Climate Connections. *Journal of Climate*, 2006, vol. 19, no. 1, pp. 104-122.

12. Guan Q., Sun X., Yang J., Pan B., Zhao Sh., Wang L. Dust Storms in Northern China: Long-Term Spatiotemporal Characteristics and Climate Controls. *Journal of Climate*, 2017, vol. 30, no. 9, pp. 6683-6700.

13. Li Y., Huang J., Ji M., Ran J. Dryland Expansion in Northern China from 1948 to 2008. *Adv. Atmos. Sci.*, 2015, vol. 32, pp. 870-876.

14. Tsunematsu N., Iwai H., Ishii Sh., Yasui M., Murayama Y., Mizutani K. Influence of Surface-Based Stable Layer Development on Asian Dust Behaviour Over Tokyo. *Boundary Layer Meteorol.*, 2009, vol. 131, pp. 263-275.

15. Qian W., Quan L., Shi Sh. Variations of the Dust Storm in China and its Climatic Control. *Journal of Climate*, 2002, vol. 15, no. 5, pp. 1216-1229.
16. Seinfeld J.H., Carmichael G.R., Arimoto R., Conant W.C., Brechtel F.G. et al. ACE-Asia. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 2004, no. 3, pp. 367-380.
17. Villiers M. P., van Heerden J. Dust storm and dust at Abu Dabi international airport. *Weather*, 2007, vol. 62, no.12, pp. 339-343.
18. Xia X., Min J., Shen F., Wang Y., Yang C. Aerosol data assimilation using data from Fengyun-3A and MODIS: application to a dust storm over East Asia in 2011. *Adv. Atmos. Sci.*, 2019, vol. 36, no. 1, pp. 1-14.
19. Xin J., Do W., Wang Y., Gao X., Li Zh., Wang M. Aerosol optical properties affected by a strong dust storm over Central and Northern China. *Adv. Atmos. Sci.*, 2010, vol. 27, no. 3, pp. 562-574.
20. Yang J., Lei H., Lu Y. Airborne Observations of Cloud Condensation Nuclei Spectra and Aerosols over East Inner Mongolia. *Adv. Atmos. Sci.*, 2017, vol. 34, no. 8, pp. 1003-1016.
21. Zhang R., Han Zh., Shen Zh., Cao J. Continuous Measurement of Number Concentrations and Elemental Composition of Aerosol Particles for a Dust Storm Event in Beijing. *Adv. Atmos. Sci.*, 2008, vol. 25, no. 1, pp. 89-95.
22. Zhao T.L., Gong S.L., Zhang X.Y., Blanchet J.-P., McKendry I.G., Zhou Z.J. Simulated climatology of Asian dust aerosol and its Trans-Pacific transport. *Journal of Climate*, 2006, vol. 18, no. 1, pp. 88-103.

*Поступила 17.05.2021; одобрена после рецензирования 25.05.2021;  
принята в печать 21.06.2021  
Submitted 17.05.2021; approved after reviewing 25.05.2021;  
accepted for publication 21.06.2021.*