УДК 551.582.2:656.71<<2001/2015>>(47+57)

Об изменении некоторых климатических характеристик на аэродромах Российской Федерации в 2001—2015 гг.

А. Р. Иванова*, Е. Н. Скриптунова*

На базе ежечасных (получасовых) метеорологических аэродромных наблюдений в период с 2001 по 2015 г. проведено исследование изменения ряда климатических характеристик на 51 аэродроме Российской Федерации. Для каждого аэродрома в течение 15-летнего периода проанализированы экстремальные значения температуры, скорости и порывов ветра, давления QNH. По данным трех последовательных 5-летних периодов рассмотрены изменения числа дней с температурой воздуха выше 30°С или ниже –30°С, со скоростью ветра 10 м/с и с порывами 15 м/с. Исследована повторяемость опасных явлений, влияющих на взлет и посадку воздушных судов, — туманов, метелей, замерзающих осадков, гроз. Приведены результаты для аэродромов с тенденцией к уменьшению или увеличению повторяемости рассматриваемых явлений в течение периода 2001—2015 гг.

Ключевые слова: климатические характеристики аэродрома, экстремальные значения температуры, скорость и порывы ветра, повторяемость туманов, метели, гололеда, гроз.

Введение

Аэронавигационная климатологическая информация, необходимая для планирования полетов, согласно положениям [4, 5], подготавливается в виде аэродромных климатологических таблиц и аэродромных климатологических сводок. Среди прочего они содержат сведения о средних и экстремальных значениях температуры и атмосферного давления, а также о повторяемости и продолжительности явлений, оказывающих влияние на взлет и посадку воздушных судов и на работу аэродромных служб. В зависимости от географического региона такими явлениями могут быть туманы, метели, гололед, пыльные бури, грозы и пр. По рекомендации Международной организации гражданской авиации (ИКАО), климатологическая информация должна основываться на наблюдениях, проводившихся на аэродроме по крайней мере в течение 5 лет [4]. В настоящее время в государствах с развитыми технологическими возможностями для измерения, сбора, хранения и обработки данных аэродромная климатологическая информация регулярно обновляется в автоматическом режиме. В 2006 г. в

* *Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации; e-mail: ivanova@mecom.ru.*

России был выпущен руководящий документ “Требования к составлению климатологического описания аэродромов” [6], регламентирующий процедуру сбора информации, ее записи на электронные носители и обработки. Однако в реальности далеко не на всех российских аэродромах установлены автоматические системы сбора и хранения информации, а перенос данных из журналов наблюдений вручную весьма затрудняет процесс составления климатического описания. По этой причине в некоторых российских аэропортах климатологическая информация устарела.

В 2014 г. в рамках Комиссии по авиационной метеорологии ВМО была создана экспертная группа по авиации, науке и климату [3], одной из задач которой является выработка рекомендаций для составлений климатических описаний аэродромов в условиях климатической изменчивости и изменения климата. Для реализации этой задачи необходимо предварительно оценить, действительно ли меняются климатические характеристики аэродромов и насколько существенно.

В настоящей статье приведены данные об изменении некоторых климатических характеристик на аэродромах Российской Федерации в период с 2001 по 2015 г.

Использованные данные

Как упоминалось выше, далеко не на всех аэродромах существуют архивы данных в электронном виде. Там, где они присутствуют, это, как правило, созданные в среде комплексных радиотехнических аэродромных метеорологических станций архивы электронных таблиц аэродромных наблюдений АВ-6. Основной недостаток таких рядов состоит в том, что они не всегда содержат информацию о наблюдавшихся на аэродроме явлениях погоды, представляющих значительный интерес для авиации.

Альтернативой им может стать база данных аэродромных наблюдений (сообщений в коде METAR), содержащая сведения о характеристиках атмосферы и наблюдавшихся явлениях на аэродромах. Подобные базы данных, сформированные на основании ежечасных (получасовых) аэродромных наблюдений в крупных аэропортах европейской и азиатской частей бывшего СССР, были созданы в отделе авиационной метеорологии Гидрометцентра России. Среди прочей информации в базе данных для каждого срока наблюдений (сводки) содержатся значения направления ветра, скорости и порывов ветра, видимости, температуры воздуха и температуры точки росы, давления. Кроме того, здесь имеются сведения о количестве облаков и высоте нижней границы облачности, о типе облачности (конвективная или неконвективная), а также о явлениях погоды (в пяти группах: три первые — в срок наблюдений и две остальные — между сроками). Информация, передаваемая в сообщениях в коде METAR, также не лишена недостатков, главный из которых — передача данных о параметрах атмосферы с существенным округлением: значений температуры и точки росы — до целых градусов Цельсия, направления ветра — до десятка градусов.

На сегодняшний день базы данных аэродромных наблюдений содержат информацию за 2001—2015 гг. для 45 крупных аэродромов европейской части и 41 аэродрома азиатской части бывшего СССР и продолжают по-

Таблица 1

Количество наблюдений (сводок в коде METAR) на аэродромах Российской Федерации [1] за период 2001—2015 гг.

№	Город/аэродром	Код ИКАО	Число сводок	№	Город/аэродром	Код ИКАО	Число сводок
1	Анапа /Витязево	URKA	198541	26	Тикси	UEST	133984
2	Архангельск/Талаги	ULAA	191578	27	Норильск/Алыкель	UOOO	155774
3	Астрахань/Нариманово	URWA	251186	28	Сургут	USRR	253179
4	Волгоград/Гумрак	URWW	255466	29	Мирный	UERR	165524
5	Воронеж/Чертовицкое	UUOO	192992	30	Якутск	UEEE	216905
6	Казань	UWKD	249792	31	Магадан/Сокол	UHMM	157585
7	Краснодар/Пашковский	URKK	254502	32	Тюмень/Рощино	USTR	252364
8	Минеральные Воды	URMM	259013	33	Екатеринбург/Кольцово	USSS	258107
9	Москва/ Шереметьево	UUEE	257943	34	Челябинск/Баландино	USCC	224749
10	Москва/Внуково	UUWW	259045	35	Омск/Центральный	UNOO	258882
11	Москва/Домодедово	UUDD	259745	36	Красноярск/Емельяново	UNKL	256439
12	Мурманск	ULMM	243943	37	Новосибирск/Толмачево	UNNT	258882
13	Нижний Новгород/ Стригино	UWGG	244800	38	Кемерово	UNEE	252496
				39	Барнаул	UNBB	256997
14	Нижнекамск/Бегишево	UWKE	242232	40	Новокузнецк/Спиченково	UNWW	245634
15	Ростов-на-Дону	URRR	255865	41	Абакан	UNAA	258210
16	Салехард	USDD	197323	42	Братск	UIBB	257821
17	Самара/Курумоч	UWWW	257841	43	Нерюнгри/Чульман	UELL	172949
18	Санкт-Петербург/ Пулково	ULLI	278170	44	Иркутск	UIII	257737
				45	Чита/Кадала	UIAA	180541
19	Саратов/Центральный	UWSS	258370	46	Улан-Удэ/Восточный	UIUU	240316
20	Симферополь	URFF	256454	47	Николаевск-на-Амуре/ Николаевск	UHNN	167143
21	Ставрополь/Шпаковское	URMT	240920				
22	Сочи	URSS	253819	48	Благовещенск/ Игнатьево	UHBB	187986
23	Сыктывкар	UUYY	197597	49	Хабаровск/Новый	UHHH	259824
24	Ульяновск/Восточный	UWLL	222315	50	Владивосток/Яковичи	UHWW	204171
25	Уфа	UWUU	257515	51	Южно-Сахалинск/ Хомутово	UHSS	198157

Примечание. Название аэродрома не приводится при совпадении с названием города; слева — европейская, справа — азиатская часть России.

полняться. Для данной работы были отобраны наблюдения на 51 аэродроме, расположенном на территории Российской Федерации. Количество наблюдений указано в табл. 1.

В перечень аэродромов не попали те, где наблюдения не были регулярными в течение 15-летнего периода или прекратили поступать (например, в Ханты-Мансийске, Майкопе, Махачкале, Нальчике, Новом Уренгое, Нижневартовске, Петропавловске-Камчатском, Полярном).

Задачей данной работы был анализ повторяемости и продолжительности опасных явлений на аэродроме — туманов, метелей, гроз, смерчей, а также отдельных градаций значений температуры, скорости и порывов ветра на аэродроме. Перечисленные характеристики были рассчитаны для 5-летних последовательных периодов наблюдений (2001—2005, 2006—2010, 2011—2015 гг.), соответствующих минимальным периодам для получения аэроклиматологической информации. При исследовании обращалось особое внимание на монотонное изменение повторяемости тех или

иных величин. Кроме того, проводился анализ межгодовых изменений экстремальных значений некоторых параметров атмосферы — таких как температура, давление QNH, скорость ветра и порывы ветра.

Параметры атмосферы

Информация о **температуре воздуха** составляет содержимое табличной формы Е климатического описания [6]. Напомним, что доступная информация о температуре округлена в сводках METAR до целых градусов Цельсия. Влияние температуры на аэродроме на взлет и посадку воздушных судов прежде всего следует рассматривать с точки зрения ее экстремальных значений. Низкие значения температуры усложняют эксплуатацию авиационной техники. Так, аномальные рождественские морозы в январе 2017 г. в центральной части Европейской России привели к отмене и задержке почти сотни рейсов только в столичных аэропортах (http://www.interfax.ru/moscow/544427). При высокой температуре (как правило, выше 30°С) ограничиваются взлетные возможности воздушных судов, оговоренные в руководствах по летной эксплуатации. Поскольку плотность воздуха при увеличении температуры уменьшается, подъемная сила, генерируемая при взлете, также становится меньше. Из-за этого возникают ограничения для воздушных судов по взлетному весу (weight restrictions). Проведенные в США исследования показали, что по климатическому сценарию RCP8.5 [13] для самолетов типа Boeing 737-800 число дней с подобными ограничениями в период с мая по сентябрь в четырех главных аэропортах США увеличится к 2050—2070 гг. на 50—200% [12], что приведет к существенным экономическим потерям.

Для каждого из 51 аэродрома был проведен анализ ежегодных экстремальных — максимальных и минимальных — значений температуры. Однако 15-летний период является сравнительно коротким временным интервалом для оценки влияния климатических изменений, поэтому необходимо было прояснить, насколько тенденция глобального потепления отражается в значениях абсолютных экстремумов температуры. Международные аэропорты, как правило, находятся поблизости от крупных населенных пунктов, где наблюдения за погодой проводятся многие десятилетия. Использование информации отдела долгосрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России об экстремальных значениях температуры на станциях, расположенных в таких городах, позволило выявить те места, где абсолютные экстремумы температуры были перекрыты в XXI в.

Оказалось, что в памятное жителям европейской части России знойное лето 2010 г. были обновлены абсолютные максимумы температуры от Санкт-Петербурга до Анапы (рис. 1). Этот же факт подтвердили наблюдения на аэродромах. Впрочем, в 2010 г. абсолютные максимумы были перекрыты и в городах азиатской части России — Улан-Удэ, Хабаровске и Братске. В то же время в начале XXI в. обновились и некоторые абсолютные минимумы температуры. Особенно заметно это на юге европейской части России — в Минеральных Водах, Анапе и Астрахани, в азиатской части — в Барнауле, Хабаровске и Тикси.

По данным аэродромных наблюдений за три последовательных 5-летних периода была исследована повторяемость дней с T 30 С и T –30 С,

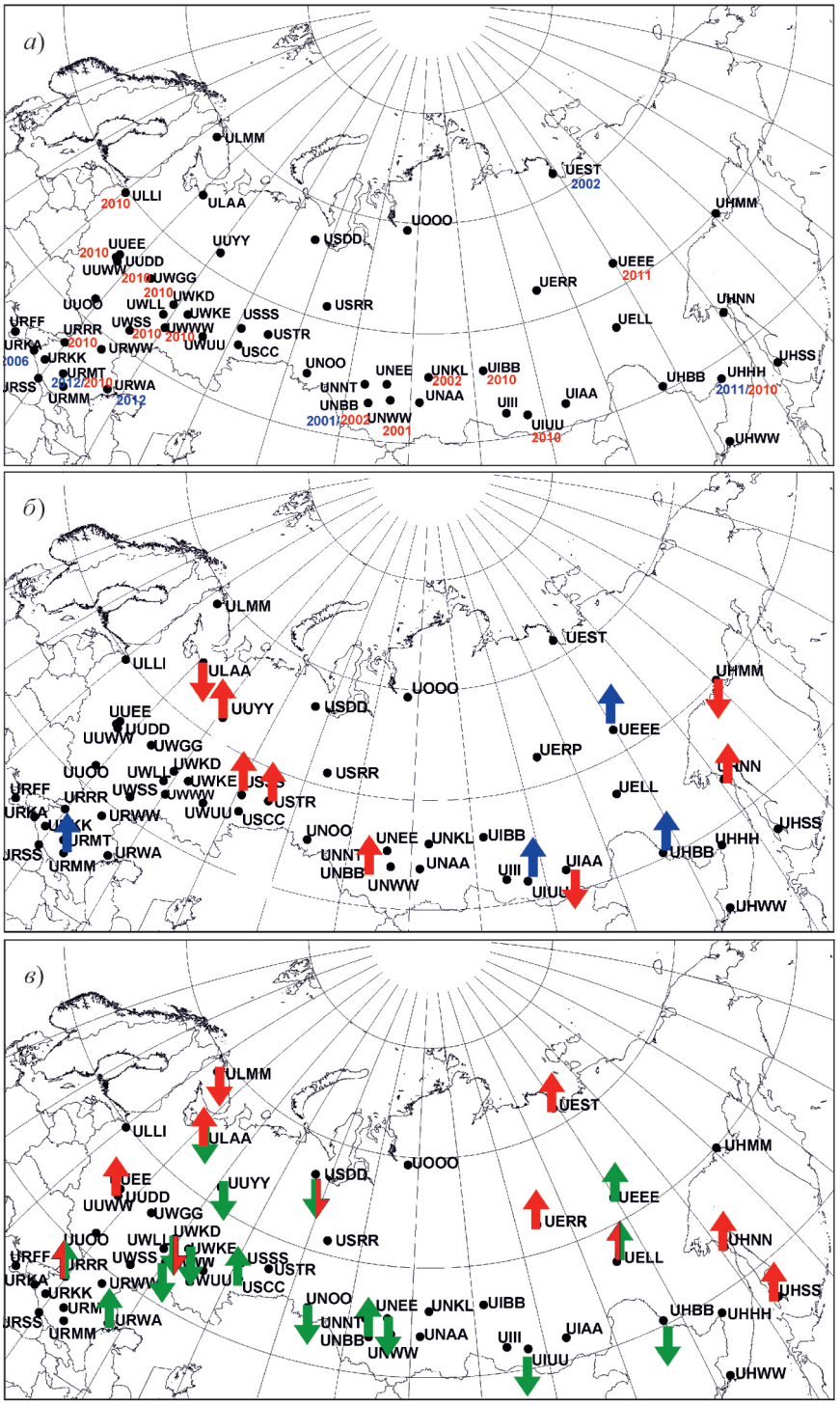


Рис. 1. Аэродромы Российской Федерации, где в близлежащих населенных пунктах в XXI в. были обновлены абсолютные экстремумы температуры (красные — максимумы, синие — минимумы) (*а*), а также аэродромы, где в 2001—2015 гг. наблюдались тенденции увеличения или уменьшения повторяемости (стрелки вверх и вниз соответственно) дней с $T \geq 30$°C (красный) и $T \leq -30$°C (синий) (*б*); дней со скоростью ветра более 10 *м/с* (зеленый) и числа сводок с порывами ветра более 15 *м/с* (красный) (*в*).

условно названных “жаркими” и “очень холодными”. Тенденция к изменению числа дней с экстремально высокими значениями температуры (рис. 1*б*) обнаружена всего на трех аэродромах европейской части России. Так, в Архангельске в периоды 2001—2005, 2006—2010 и 2011—2015 гг. это число последовательно уменьшалось (3,8; 3,4; 2,6 дней в году соответственно), а в Сыктывкаре — увеличивалось (7,6; 9,4 и 11,0 дней в году соответственно). Важно отметить появление экстремально низких значений температуры на юге Европейской России — в аэропорту Минеральные Воды в 2012 г. впервые с начала века температура ниже –30 С регистрировалась в течение двух дней.

В азиатской части России на четырех аэродромах было зафиксировано последовательное увеличение числа жарких дней — в западной половине (в скобках указана повторяемость за 2001—2005, 2006—2010, 2011—2015 гг.): в Тюмени (9,2; 9,6; 11,0), Екатеринбурге (8,0; 10,4; 11,4) и Барнауле (8,6; 8,8; 11,6) и на Дальнем Востоке — в Николаевске-на-Амуре (1,8; 2,2; 5,0). В Восточной Сибири, напротив, отмечалось увеличение числа очень холодных дней — в Якутске (111,2; 115,8; 116,4), Улан-Удэ (38,2; 45,8; 47,0) и Благовещенске (20; 21,0; 23,6) и уменьшение повторяемости жарких дней — в Чите (25,6; 17,6; 13,2) и Магадане (0,8; 0,2; 0).

Ветер и порывы ветра — важные факторы, определяющие возможность взлета и посадки воздушных судов на взлетно-посадочную полосу аэродрома. Скорость ветра влияет на длину разбега самолета по полосе при взлете и длину пробега при посадке. Эти эффекты уже при скорости ветра 10 *м/с* довольно значительны и могут привести к опасным последствиям. Наличие бокового ветра существенно усложняет пилотирование из-за возникновения кренящего и разворачивающего моментов. Для каждого типа самолета в руководствах по летной эксплуатации устанавливаются ограничения по предельно допустимой скорости встречного, попутного и бокового ветра. Порывы ветра свидетельствуют о сдвиге ветра, который крайне опасен при взлете и посадке воздушного судна вследствие рисков потери устойчивости и возможности управления им [8]. Было проведено исследование числа дней со скоростью ветра более 10 *м/с* на аэродромах России, а также числа сводок с данными о порывах ветра свыше 15 *м/с*. Применительно к порывам ветра авторы сочли методически более корректным использовать не дни, а сводки, поскольку порыв — явление кратковременное.

Монотонные изменения числа дней со скоростью ветра более 10 *м/с*, согласно оценкам по 5-летним периодам (рис. 1*в*, зеленые стрелки), были обнаружены на трети всех рассматриваемых аэродромов (16 из 51). Число дней с сильным ветром увеличилось на аэродромах, расположенных ближе к южным границам России (Ростов-на-Дону, Астрахань, Челябинск, Барнаул), а также в Якутии (Якутск и Нерюнгри) и в Шереметьево. Уменьшение повторяемости таких дней было зафиксировано на аэродромах на севере Европейской России (Архангельск и Сыктывкар), в Среднем Поволжье (Нижний Новгород и Самара), в Восточной Сибири (Благовещенск, Улан-Удэ), а также на аэродромах в Кемерово и Омске.

Монотонные изменения повторяемости порывов ветра 15 *м/с* (рис. 1*в*, красные стрелки) были обнаружены на 11 аэродромах (21,5% от общего количества). На 7 аэродромах из 11 число сводок с порывами свыше 15 *м/с* возросло: в Якутии (Нерюнгри, Мирный, Тикси) и на Дальнем Востоке (в Николаевске-на-Амуре и Южно-Сахалинске), а также в Архангельске и московском аэропорту Шереметьево. Увеличение числа дней с сильным ветром наряду с возрастанием числа порывов 15 *м/с* отмечалось на аэродромах Ростова-на-Дону и Якутска, а уменьшение повторяемости сильного ветра и порывов ветра — в Нижнем Новгороде и Сыктывкаре. В Архангельске увеличение повторяемости порывов 15 *м/с* сочеталось с уменьшением числа дней со скоростью ветра 10 *м/с*. Уменьшение повторяемости порывов 15 *м/с* произошло на аэродроме Мурманска.

Говоря об экстремальных значениях **давления**, следует напомнить, что в сводках METAR передаются значения так называемого давления QNH — то есть приведенного к уровню моря по стандартной атмосфере. Это обусловлено особенностью строения альтиметров (высотомеров), установленных на летательных аппаратах. Шкала альтиметра, измеряющего, по сути, не высоту, а давление, градуируется применительно к высоте для стандартной атмосферы. Значения QNH важно знать при посадке воздушного судна, чтобы правильно рассчитать траекторию захода. В климатическом описании экстремальные значения давления QNH должны быть указаны с точностью до десятых долей гектопаскаля. Абсолютный максимум QNH в период 2001—2015 г. — 1068 *гПа* — был зафиксирован на аэродроме Толмачево в Новосибирске (2010 г.), абсолютный минимум — 952 *гПа* — на аэродроме Сыктывкара (2011 г.). Анализ годовых экстремумов давления QNH не выявил их значимых изменений ни на одном аэродроме за исследуемый 15-летний период.

Явления погоды

В этом разделе приводятся сведения для тех аэродромов, где были отмечены монотонные изменения повторяемости явлений погоды, влияющих на взлет и посадку воздушных судов, по данным за три последовательных 5-летних периода.

Туман — один из главных факторов, приводящих к ухудшению видимости. Последняя в сочетании с высотой нижней границы облачности определяет сложность условий погоды для взлета и посадки. Поэтому климатические описания аэродромов содержат, как правило, сведения о повторяемости туманов, ее суточном и годовом ходе и о непрерывной продолжительности туманов. Следует отметить, что этот показатель для выбранной местности тщательно учитывается еще в период проектирования аэропорта, поскольку экономически выгоднее располагать его там, где минимизирована задержка рейсов из-за плохой видимости. Как правило, для 5-летней выборки число сводок с туманами в аэропортах не превышает нескольких сотен эпизодов, иногда — нескольких десятков. Максимальная продолжительность тумана в европейской части России наблюдалась в аэропорту Саратова — 77 *ч* в ноябре 2006 г. В азиатской части самые продолжительные туманы (морозные) были зафиксированы в аэропорту Якутска (в январе 2006 г. такой туман отмечался в течение 165 *ч*).

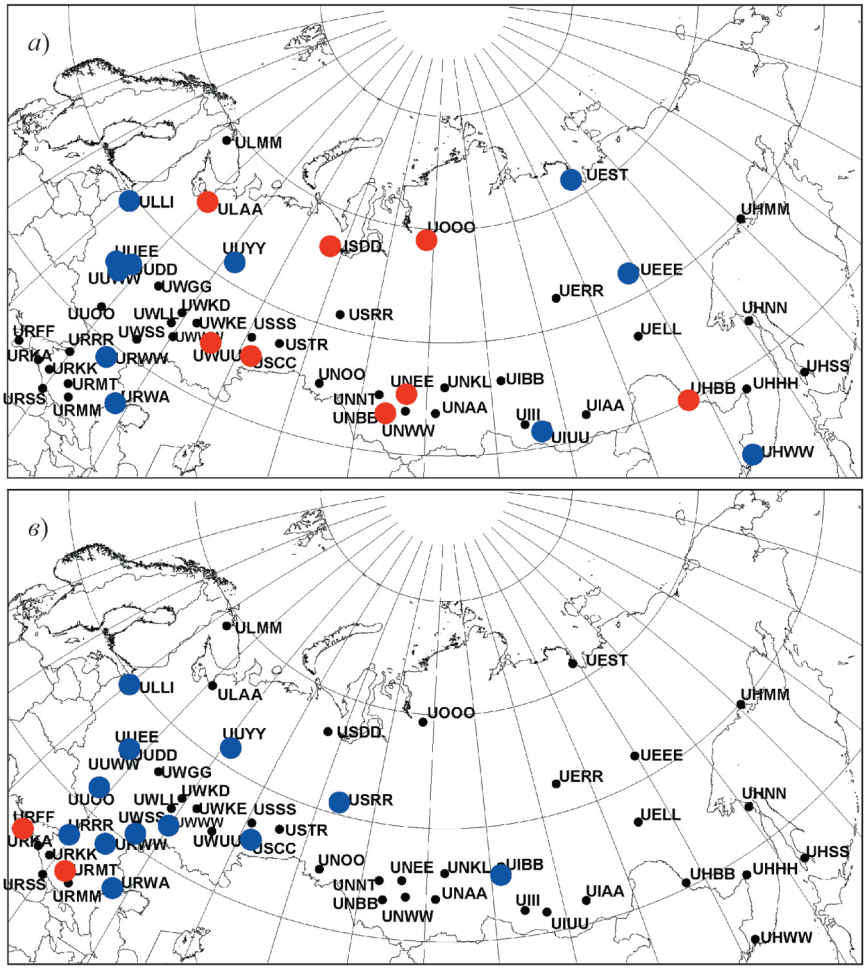
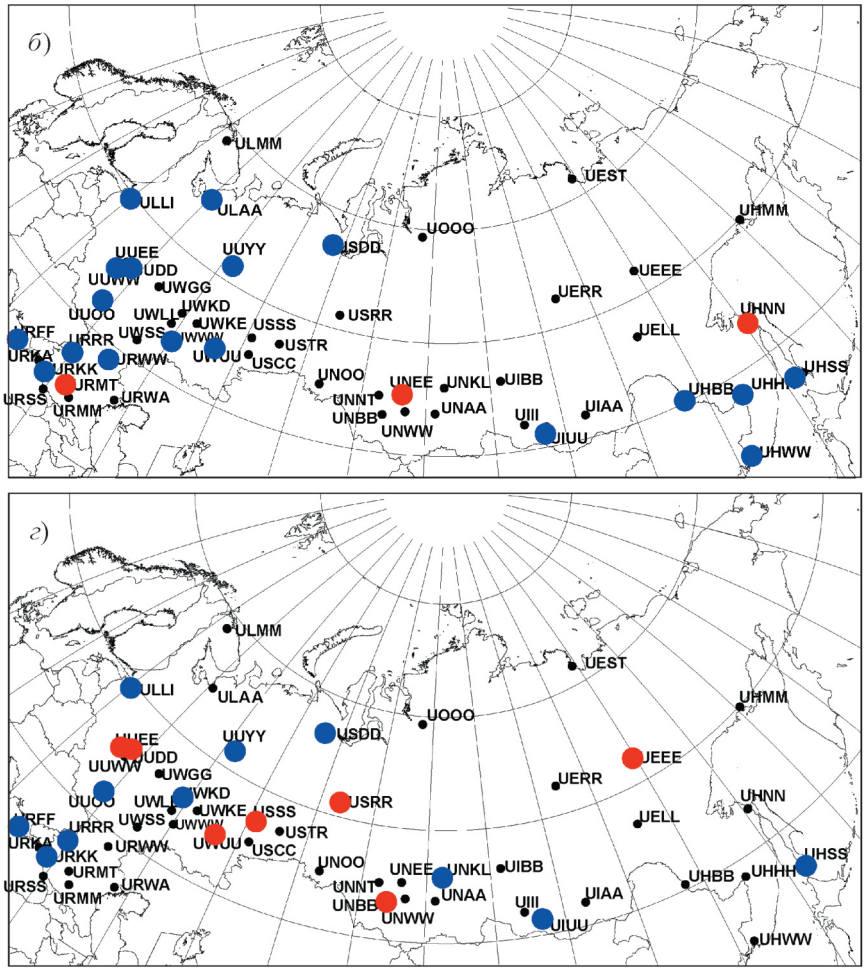


Рис. 2. Тенденции изменения (красный — увеличение, синий — уменьшение) в (*а*), метелью (*б*), замерзающими осадками (*в*) и грозами (*г*) в аэропортах Российской

Географическое распределение изменения повторяемости туманов в период с 2001 по 2015 г. представлено на рис. 2*а*. Можно отметить, что тенденция к уменьшению повторяемости по данным 5-летних наблюдений прослеживалась в основном на аэродромах Европейской России (московские аэропорты, Сыктывкар, Санкт-Петербург, Волгоград, Астрахань), а также на аэродромах Восточной Сибири (Тикси, Якутск, Улан-Удэ) и во Владивостоке. Увеличение повторяемости туманов наиболее характерно для региона Западной Сибири и юга Урала. Данные табл. 2 показывают, что по сравнению с первым пятилетием XXI в. число эпизодов с туманами в 2011—2015 гг. на московских аэродромах Внуково и Шереметьево уменьшилось в 2,1 раза, в Тикси — в 2,6 раза. При этом средняя продолжительность эпизодов туманов в некоторых аэропортах Поволжья, во Внуково, Пулково и на аэродромах Якутии возросла (в Якутске — в среднем на 2,5 *ч*). На аэродроме Пулково (Санкт-Петербург) отмечено увеличение, наряду со средней, и максимальной продолжительности туманов.



2001—2015 гг. повторяемости числа дней со следующими явлениями погоды: туманом Федерации.

Максимальное увеличение числа дней с туманами в 2011—2015 гг. в сравнении с 2001—2005 гг. произошло на аэродромах Архангельска и Барнаула — в 1,6 раза. Кроме того, в Архангельске наблюдалось увеличение максимальной продолжительности туманов (более чем в 2 раза за 15 лет); в Благовещенске увеличилась как максимальная, так и средняя продолжительность этого явления. На аэродроме Челябинска, напротив, увеличение повторяемости туманов в некоторой степени компенсировалось сокращением длительности эпизодов.

Метели, ухудшающие видимость в холодное время года, являются проявлением переноса твердых осадков ветром. Монотонное изменение числа дней с метелями произошло на 43% всех аэродромов, причем в подавляющем большинстве этот тренд был отрицательным. Особенно заметно уменьшение числа дней с метелями на аэродромах европейской части России (рис. 2*б*). Наиболее значительным оно оказалось в Домодедово и на аэродроме Сыктывкара — в 4,5 и 3,1 раза соответственно (табл. 3). Увели-

Таблица 2

Число и продолжительность эпизодов тумана на аэродромах за пятилетние периоды с 2001 по 2015 г.

№	Город	Число эпизодов за 5 лет			Максимальная/средняя продолжительность, *ч*		
		2001—2005	2006—2010	2011—2015	2001—2005	2006—2010	2011—2015
	Уменьшение числа эпизодов						
1	Астрахань	388	287	240	19/**2,37**	18,5/**2,92**	25,5/**3,39**
2	Волгоград	561	487	384	62,5/**3,82**	37,5/**4,41**	47,0/**4,94**
3	Москва, Шереметьево	237	165	110	15/1,97	19,5/2,22	18,5/2,21
4	Москва, Внуково	376	324	175	44,5/**2,01**	17/**2,27**	20,5/**2,41**
5	Москва, Домодедово	581	554	351	38/1,73	17/1,43	18/1,77
6	Санкт-Петербург	295	262	210	**10,5/1,69**	**12,5/1,72**	**17/1,92**
7	Сыктывкар	281	273	200	10/1,65	12/1,84	10,5/1,59
8	Тикси	315	238	122	7,5/**1,10**	17/**2,28**	17/**2,38**
9	Якутск	521	479	428	71,5/**7,08**	165/**8,84**	140/**9,58**
10	Улан-Удэ	101	66	60	10,5/1,87	11/3,15	13,5/2,82
11	Владивосток	576	356	327	17,5/2,30	14,5/2,84	15/2,79
	Увеличение числа эпизодов						
1	Архангельск	180	226	285	**7**/1,57	**11,5**/1,75	**16**/1,70
2	Салехард	165	241	254	17,5/2,44	18,5/2,44	16,5/2,78
3	Ульяновск	119	128	148	16/2,62	33/2,62	16/2,32
4	Норильск	417	469	516	27,5/3,11	18,5/2,78	35,5/2,88
5	Челябинск	173	185	257	25/**2,17**	33/**2,07**	15/**1,76**
6	Кемерово	154	170	229	14,5/2,63	28,5/2,34	19/2,50
7	Барнаул	153	172	243	15,5/2,24	27/2,60	16/2,23
8	Благовещенск	122	143	169	**7,5/1,95**	**10,5/2,24**	**14/2,63**

Примечание. Здесь и в табл. 4 монотонные изменения продолжительности выделены жирным шрифтом.

чение числа дней с метелями отмечалось всего на трех аэродромах — в Ставрополе, Николаевске-на-Амуре и Кемерово (в 1,4; 1,7 и 2,2 раза соответственно).

Гололед, проявляющийся в виде отложений льда как на взлетно-посадочной полосе, так и на плоскостях воздушного судна, оказывает негативное влияние на взлет и посадку, уменьшая сцепление колес шасси с полосой и увеличивая массу самолета. Выпадение замерзающих осадков способствует формированию гололеда и затрудняет работу аэропортов, приводя к задержкам вылетов из-за необходимости проведения процедур очистки полосы и обработки воздушных судов противообледенительным составом. По этим причинам информация о гололедных явлениях является важной частью климатического описания аэродрома. В данной работе были проанализированы число случаев и продолжительность эпизодов с замерзающими осадками (табл. 4). Было установлено, что максимальная повторяемость замерзающих осадков в аэропортах России наблюдается на европейской части в Минеральных Водах (главным образом, замерзающая морось), а также на Урале (Челябинск) и в Западной Сибири (Омск). Максимальная продолжительность замерзающих осадков была зарегистрирована

Таблица 3

Число дней с метелями в год, осредненное по данным за 5-летний период

№	Город	2001—2005 гг.	2006—2010 гг.	2011—2015 гг.
	Тенденция к уменьшению			
1	Санкт-Петербург	27,6	15	11,8
2	Нижний Новгород	40,4	14,6	14,2
3	Москва, Внуково	19,0	8,4	8,2
4	Москва, Домодедово	26,0	9,8	5,8
5	Уфа	17,0	10,8	9,0
6	Самара	24,4	16,2	15,6
7	Симферополь	4,6	3,8	2,4
8	Воронеж	29,8	26,8	22,2
9	Волгоград	24,0	15,6	14,2
10	Ростов-на-Дону	18,6	9,2	7,4
11	Краснодар	4,0	2,0	1,0
12	Архангельск	27,8	19,8	19,8
13	Салехард	56,4	43,8	37,8
14	Благовещенск	7,6	4,6	2,4
15	Хабаровск	8,2	6,8	4,8
16	Южно-Сахалинск	36,4	26,8	26,7
17	Владивосток	10,6	8,6	6,4
18	Улан-Удэ	9,6	6,2	3,8
19	Сыктывкар	35,2	19,8	11,4
	Тенденция к увеличению			
1	Ставрополь	9,6	12,6	13,8
2	Николаевск-на-Амуре	13,4	18,2	23,0
3	Кемерово	3,4	4,0	7,6

на аэродроме Минеральные Воды в феврале 2011 г. (68 *ч*), в азиатской части страны — в Омске осенью 2007 г. (37 *ч*).

Учитывая предыдущие исследования [11], стоит отметить, что на аэродроме Минеральные Воды в XXI в. был перекрыт максимум продолжительности выпадения замерзающих осадков (44 *ч* по данным 1986—1995 гг.). Увеличение максимальной продолжительности в сравнении с прежними данными наблюдалось также на московском аэродроме Внуково (21,5 *ч* в 2010 г. против 17,5 *ч* в период 1986—1995 гг.). К сожалению, предыдущая климатология замерзающих осадков в России была рассчитана только для аэродромов Москвы [10], Нижнего Новгорода [9] и Минеральных Вод [11].

Изменение числа эпизодов с замерзающими осадками в период 2001—2015 гг. произошло, главным образом, на аэродромах Европейской России, причем в основном в сторону уменьшения (рис. 2*в*); наиболее существенно — почти в три раза — на аэродромах Воронежа и Сыктывкара. На аэродроме Братск в последнее пятилетие анализируемого периода не было зафиксировано ни одного случая выпадения замерзающих осадков, хотя в 2001—2005 гг. таких эпизодов было 20. Увеличение повторяемости замерзающих осадков произошло только на аэродромах Симферополя и Ставрополя (в 1,6 и 1,4 раза соответственно).

Таблица 4

Число и продолжительность эпизодов с замерзающими осадками на аэродромах за пятилетние периоды с 2001 по 2015 г.

№	Город	Число эпизодов за 5 лет			Максимальная продолжительность, *ч*		
		2001—2005	2006—2010	2011—2015	2001—2005	2006—2010	2011—2015
	Уменьшение числа эпизодов						
1	Астрахань	91	51	33	15,5	9,5	13
2	Волгоград	125	98	88	20	18	39
3	Москва, Домодедово	142	139	99	**6,6**	**10,5**	**18,5**
4	Самара	53	47	38	7	5	7
5	Санкт-Петербург	40	24	21	7	3,5	5,5
6	Саратов	120	98	78	15	11	16,5
7	Сыктывкар	204	117	75	7,5	31	8,5
8	Ростов-на-Дону	160	96	89	13,5	12	19
9	Воронеж	194	119	66	14,5	15,5	8
10	Сургут	37	29	15	3,5	4	5
11	Челябинск	31	22	17	11,5	7,5	15,5
12	Братск	20	2	0	3	6,5	0
	Увеличение числа эпизодов						
1	Симферополь	37	48	61	12	18	10,5
2	Ставрополь	78	80	110	17,5	16,5	22,5

Гроза — опасное явление, приближение которого вносит коррективы в деятельность всех аэродромных служб. Следует отметить, что в сообщениях METAR указывается гроза как на аэродроме, так и в его окрестностях (VC — “in vicinity”). Однако понятие “окрестность аэродрома” с точки зрения наблюдателя довольно трудно конкретизировать. Согласно Федеральным авиационным правилам [7], “на аэродроме” означает “в радиусе от 0 до 8 *км* от контрольной точки аэродрома”, а определение “окрестности аэродрома”, введенное в инструктивном материале по составлению сводок METAR [2], трактуется как пространство в радиусе от 8 до 16 *км* от контрольной точки аэродрома. Грозопеленгаторы, которыми оснащены некоторые (например, столичные) аэродромы, определяют ближайшую окрестность как кольцо между окружностями с радиусами 9 и 19 *км* от места установки прибора. При этом на большинстве отечественных аэродромов синоптик должен определять понятие “in vicinity” довольно приблизительно, руководствуясь местными ориентирами. Это приводит к тому, что число случаев с грозой на аэродроме и в окрестности может кардинально различаться. Так, в Сочи, где с места наблюдателя открывается обзор на море (отсутствие местных ориентиров), число гроз на аэродроме и в его окрестности отличается более чем в 4 раза; поэтому при анализе было решено руководствоваться только фактом наблюдения грозы на аэродроме.

На рис. 2*г* отмечается в основном уменьшение числа дней с грозами на аэродромах Европейской России. Однако для самых загруженных столичных аэропортов Шереметьево и Домодедово характерно увеличение грозо-

Таблица 5

Число дней с грозами на аэродроме в год, осредненное по данным за 5-летние периоды

№	Город	2001—2005 гг.	2006—2010 гг.	2011—2015 гг.
	Тенденция к уменьшению			
1	Санкт-Петербург	9,8	7,4	6,6
2	Казань	16,4	13,6	11,4
3	Симферополь	24,4	21,0	16,4
4	Воронеж	26,8	12,4	10,8
5	Ростов-на-Дону	73,4	12,2	10,2
6	Краснодар	23,4	11,4	10,2
7	Салехард	1,0	1,2	4,0
8	Владивосток	24,6	5,2	2,8
9	Улан-Удэ	9,8	8,2	6,8
10	Красноярск	23,6	12,8	9,6
11	Сыктывкар	9,2	7,2	6,6
	Тенденция к увеличению			
1	Москва, Шереметьево	11,2	11,4	15,0
2	Москва, Домодедово	20,6	22,4	24,0
3	Уфа	4,2	5,2	13,8
4	Якутск	4,6	5,2	8,2
5	Сургут	2,2	7,6	9,2
6	Екатеринбург	8,2	10,8	15,0

вой активности — в 1,3 и 1,2 раза соответственно (табл. 5). Максимальное увеличение повторяемости гроз произошло в Сургуте (в 4,2 раза). Самое значительное уменьшение годового числа дней с грозой на аэродроме отмечалось во Владивостоке и Ростове-на-Дону (в 9 и 7 раз соответственно).

Отдельно отметим такое опасное явление, как смерч. Это явление отмечается в сводках наблюдений только аэропорта Сочи, причем не каждый год (рис. 3). Число случаев смерчей в окрестности аэродрома г. Сочи в последние годы уменьшилось (2 случая в 2011—2015 гг. против 19 в 2006—2010 гг. и 16 в 2001—2005 гг.).

Гораздо чаще наблюдатели фиксируют прохождение шквалов (преимущественно также “в окрестности аэродрома”). Наибольшая повторяемость этого явления отмечается на аэродромах юга Европейской России. Так, аэродром Симферополь посылал 45 сообщений о шквалах в целом за период 2001—2015 гг., 25 из них — в 2006—2010 гг. Особо продолжительные периоды со шквалами, сопровождающие очень интенсивные грозы, были характерны для аэродрома Нижний Новгород, особенно в 2006 г.: 18 июня они регистрировались каждые полчаса в течение 7 *ч* и 2 сентября — в течение 4,5 *ч*.

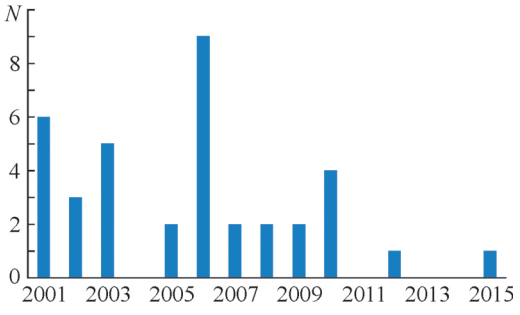


Рис. 3. Случаи наблюдения смерчей в окрестности аэродрома Сочи в 2001—2015 гг.

Заключение

На основании базы ежечасных (получасовых) данных аэродромных наблюдений за 2001—2015 гг. изучены изменения некоторых характеристик из состава аэродромного климатического описания для 51 аэродрома Российской Федерации. Анализ позволил выявить аэродромы с определенными тенденциями в изменении числа дней с экстремальными значениями температуры, а также со значениями скорости и порывов ветра, влияющими на взлет и посадку воздушных судов. При сравнении климатических характеристик, определенных для трех последовательных 5-летних периодов, на ряде аэродромов европейской и азиатской частей России удалось выявить монотонные изменения повторяемости и продолжительности опасных явлений, таких как туманы, метели, замерзающие осадки, грозы.

Согласно проведенному анализу, подобные тенденции отмечаются на ~25—40% общего числа аэродромов, чаще расположенных на европейской части России. В целом здесь на каждом аэродроме, за исключением Анапы и Сочи, было отмечено хотя бы одно из таких изменений. На фоне глобального потепления в период 2001—2015 гг. для ряда аэродромов было зафиксировано уменьшение числа жарких дней, а для других — увеличение числа очень холодных. Изменение ветрового режима на аэродромах России характеризуется значительной неоднородностью. Что касается явлений, неблагоприятно воздействующих на взлет и посадку воздушных судов (за исключением гроз), чаще можно наблюдать тенденцию к уменьшению их повторяемости, особенно на аэродромах европейской части нашей страны.

На отдельных аэродромах наблюдаются комплексные климатические изменения. Так, для московского аэродрома Домодедово характерно увеличение повторяемости гроз и уменьшение повторяемости и продолжительности эпизодов с туманами, метелями и замерзающими осадками. На аэродроме Якутска, наряду с обновлением абсолютного максимума температуры в 2011 г., возросло число очень холодных дней, увеличилась повторяемость скорости ветра 10 *м/с* и гроз. Число эпизодов с туманами здесь сократилось, зато их продолжительность увеличилась почти на 2 *ч*. На аэродромах Пулково (Санкт-Петербург) и Восточный (Улан-Удэ) уменьшилась повторяемость туманов, метелей, гроз, на первом — еще и замерзающих осадков.

Авторы благодарят заведующего отделом долгосрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России В. А. Тищенко за предоставленную информацию об экстремальных значениях температуры на ряде синоптических станций Российской Федерации.

Литература

1. Аэродром-Аэропорт-Авиакомпании 2005 (Россия, страны СНГ). Контактный справочник. — М., ООО "Аэронавигационное консалтинговое агентство", 2005, 600 с.

2. Инструктивный материал по METAR, SPECI, TAF. — Утвержден приказом Росгидромета № 16 от 06.03.2015.

3. Комиссия по авиационной метеорологии. Пятнадцатая сессия. Монреаль 15—16 июля 2014 г. Сокращенный окончательный отчет с резолюциями и рекомендациями. ВМО-№ 1139, 2014.

4. Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации. Приложение 3 к Конвенции о Международной гражданской авиации. — Издание 18, июль 2013.

5. Метеорологическое обслуживание международной аэронавигации. Технический регламент ВМО. Том II. ВМО-№49, 2013.

6. Требования к составлению климатического описания аэродрома. РД 52.21.692-2007. — М., Метеоагентство Росгидромета, 2007, 37 с.

7. Федеральные авиационные правила "Предоставление метеорологической информации для обеспечения полетов воздушных судов". Утверждены приказом Минтранса России № 60 от 3 марта 2014 г.

8. Шакина Н. П., Иванова А. Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации. — М., Триада ЛТД, 2016, 312 с.

9. Шакина Н. П., Скриптунова Е. Н., Завьялова А. А. Условия выпадения замерзающих осадков в некоторых аэропортах России и СНГ. IV. Аэропорт Нижний Новгород. — Метеорология и гидрология, 2007, № 7, с. 25—39.

10. Шакина Н. П., Скриптунова Е. Н., Иванова А. Р. Условия выпадения замерзающих осадков в некоторых аэропортах России и СНГ. I. Аэропорты московского аэроузла. — Метеорология и гидрология, 2003, № 4, с. 40—58.

11. Шакина Н. П., Скриптунова Е. Н., Иванова А. Р. Условия выпадения замерзающих осадков в некоторых аэропортах России и СНГ. II. Аэропорт Минеральные Воды. — Метеорология и гидрология, 2005, № 2, с. 27—42.

12. Coffel E. and Horton R. Climate change and the impact of extreme temperature on aviation. — Wea. Climate and Soc., 2015, vol. 7, pp. 94—102.

13. Riahi K., Rao S., Krey V., Cho C. , Chirkov V., Fischer G., Kindermann G., Nakicenovic N., and Rafaj P. RCP8.5—a scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. — Climate Change, 2011, vol. 109, pp. 33— 57.

Поступила в редакцию 14 II 2017 г., после доработки 15 V 2017 г.

VARIATIONS IN SEVERAL CLIMATOLOGICAL CHARACTERISTICS AT AERODROMES IN THE RUSSIAN FEDERATION IN 2001–2015

A. R. Ivanova and E. N. Skriptunova

The variations in several climatological characteristics are studied on the basis of hourly (half-hourly) meteorological terminal observations at 51 aerodromes of the Russian Federation in 2001–2015. For every aerodrome extreme temperature, wind speed and gusts, QNH are analyzed for the above period. Using data for three consecutive 5-year periods the variations in the number of days with temperature above 30°C or below –30°C, with wind speed of 10 m/s and gusts of 15 m/s are considered. The occurrence frequency of significant weather affecting the takeoff and landing (fog, blizzard, freezing precipitation, thunderstorm) is investigated. The results for aerodromes with positive or negative trends in the occurrence frequency of weather phenomena in 2001–2015 are presented.