

Особенности обледенения воздушных судов в районе международного аэропорта Томск

В.В. Зуев^{1,2}, Д.П. Нахтигалова^{1,3}, А.П. Шелехов¹, Л.И. Кижнер²,
А.В. Павлинский¹, Е.А. Шелехова¹, Н.А. Баранов^{4*}

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634055, г. Томск, пр. Академический, 10/3

²Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

³ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета»
630099, г. Новосибирск, ул. Депутатская, 1

⁴Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН
119333, г. Москва, ул. Вавилова, 40

Поступила в редакцию 28.07.2016 г.

Представлены результаты исследования повторяемости обледенения воздушного судна (ВС) в зависимости от сезона и высоты в международном аэропорту Томск за период с 2011 по 2015 гг. Показано, что в районе аэропорта г. Томска в осенний период максимум повторяемости обледенения ВС составляет 43% от всех случаев. В зимний и весенний периоды повторяемость обледенения равна 26%, а летом ВС может подвергаться обледенению только в 5% случаев. Установлено, что в среднем за данный период 89,6% случаев обледенения приходится на высоты от поверхности земли до 2999 м, а выше 6000 м данное явление не фиксируется. В зимний период максимум повторяемости обледенения ВС наблюдается на высотах от 0 до 999 м. В осенний и весенний периоды максимальное количество случаев с обледенением фиксируется в слое от 1000 до 1999 м. Летом максимум повторяемости обледенения находится в слое высот от 1000 до 1999 м, но он не ярко выражен. Высотный ход повторяемости обледенения в районе международного аэропорта Томск отличается от результатов исследований данного явления, опубликованных ранее для континентальных штатов США и Европейской территории СССР.

Ключевые слова: обледенение воздушных судов, бортовая погода, повторяемость обледенения; aircraft icing, inflight weather, icing occurrence.

Введение

Обледенение воздушного судна (ВС) является одним из неблагоприятных метеорологических явлений, от которых зависят безопасность и регулярность полетов самолетов и вертолетов. На регулярных авиалиниях стран – членов международной организации гражданской авиации неоднократно фиксировались аварии транспортных самолетов из-за обледенения в сложных метеорологических условиях [1, 2]. По донесениям об авиационных происшествиях и инцидентах [3], за 2015 г. на территории РФ произошло 18 авиационных аварий, из них две аварии (11,1%) были связаны с обледенением ВС (рис. 1). В частности, в марте 2015 г. в Новосибирской области по этой причине потерпел аварию вертолет Robinson-44. При вынужденной посадке

вертолет упал на правый бок, были повреждены несущий и хвостовой винты и хвостовая балка [3].

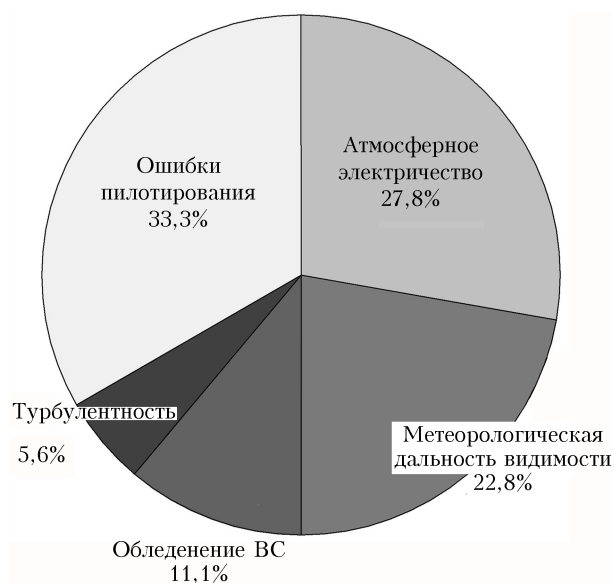


Рис. 1. Причины авиационных аварий, зафиксированных в 2015 г. на территории России

* Владимир Владимирович Зуев (vvzuev@imces.ru); Дарья Петровна Нахтигалова (amila88@inbox.ru); Александр Петрович Шелехов (ash@imces.ru); Любовь Ильинична Кижнер (kdm@mail.tsu.ru); Алексей Валерьевич Павлинский (wf@inbox.ru); Евгения Александровна Шелехова (sea1125@mail.ru); Николай Алексеевич Баранов (baranov@ccas.ru).

Повторяемость обледенения ВС – это одна из основных характеристик рассматриваемого метеорологического явления; ее исследование для разных высотных слоев и времен года является важным направлением авиационной метеорологии. Результаты изучения повторяемости обледенения представлены для территории бывшего СССР в работах [2, 4], а для континентальных штатов США в работе [5]. Опыт верификации численных прогнозов пространственных зон обледенения ВС изложен в работе [6]. Работы [7–9] посвящены использованию метеорологического температурного профилямера МТР-5РЕ при дистанционном мониторинге пространственных зон возможного обледенения ВС в аэропорту г. Томска.

Исходным материалом для анализа в настоящей статье послужили сообщения об обледенении, полученные с бортов ВС, находящихся в районе аэропорта г. Томска, в радиусе примерно 100 км. Как правило, данные бортовой погоды поступают от ВС, заходящих на посадку. За период с октября 2011 г. по декабрь 2015 г. аэропорт обслужил такие ВС, как Ан-12, -24, -26; Ил-18, Ил-76; Ту-134, -154, -204; Як-40, -42; А-319, А-320, А-321; Б-737; Б-757-200; Б-767; АTR-42, АTR-72; CRJ-100/200; RRJ-95; SAAB-2000, SAAB-340; BAe-125-700; Cessna 208B Grand Caravan; Л-410; Challenger, Glex, Falcon, Gulfstream, и некоторые типы вертолетов [10]. Все перечисленные ВС подвержены обледенению. В первой части статьи рассмотрены климатические и синоптические условия обледенения ВС. Во второй части приведены результаты расчета повторяемости обледенения ВС в разное время года и для различных высотных слоев. Сравнение полученных результатов с данными, опубликованными в работах [2, 4, 5], представлено в третьей части. Основные выводы изложены в заключительной части статьи.

1. Климатические и синоптические условия обледенения ВС

Климат г. Томска и, соответственно, района международного аэропорта Томск оценивается как континентальный, умеренно-теплый и влажный. Одним из наиболее важных факторов, определяющих циркуляционные процессы в Томской области, влияющие на климат, является преобладание западного переноса воздушных масс [11]. На формирование погодных условий особое воздействие оказывают воздушные массы со стороны арктического бассейна и тропиков. Активная циклоническая деятельность приводит к достаточно быстрым и резким изменениям погоды [12].

Основные циркуляционные процессы, определяющие погодные условия на территории Томской области, значительно отличаются в зависимости от сезона. В период с декабря по февраль устанавливается зимний режим погоды, развивается и усиливается Сибирский антициклон.

Летний характер распределения атмосферного давления и других метеорологических величин ус-

танавливается с июля. Над Сибирью располагается обширная область низкого давления, обусловленная возросшей циклонической деятельностью и нагреванием земной поверхности.

В переходные сезоны происходит смена циркуляционных процессов. Азиатский антициклон весной ослабевает, устанавливается западный перенос воздуха. Осенью происходит постепенная смена циркуляционных процессов, над сушей устанавливается повышенное давление [11]. Для г. Томска также характерно то, что в течение года нередки отклонения от свойственных рассматриваемому району синоптических процессов, что приводит к возникновению опасных явлений погоды. Одно из них – обледенение воздушного судна, которое возникает, если в воздухе на высоте полета имеются переохлажденные капли, а поверхность воздушного судна имеет отрицательную температуру. Обледенение может возникнуть при полете в облаках, тумане или мокром снеге.

Возможность обледенения воздушных судов главным образом зависит от синоптических условий. Здесь в первую очередь нужно отметить, что в зоне атмосферных фронтов обледенение ВС встречается чаще. Чем активнее фронт, чем четче в зоне фронта прослеживаются все фронтальные характеристики и признаки, тем интенсивнее обледенение. Температурный слой, в котором обледенение ВС возникает наиболее часто, на всех фронтах остается примерно одинаковым: от 0 до -20 °C [1, 2]. Чаще всего обледенение наблюдается в слоистых и кучво-дождевых облаках [13, 14].

2. Анализ повторяемости обледенения ВС

В табл. 1 представлены количество сообщений об обледенении, полученных с бортов ВС, и повторяемости (%) обледенения ВС в зависимости от сезона в аэропорту Томска за период с октября 2011 г. по декабрь 2015 г. За рассмотренный промежуток времени количество сообщений об обледенении ВС в районе аэропорта составило 233. Максимум повторяемости обледенения приходится на осенний сезон – это 43% всех случаев. В зимний и весенний периоды повторяемость обледенения ВС имеет равную вероятность 26%, что меньше, чем в осенний период. Летом ВС может подвергаться обледенению только в 5% всех случаев.

В табл. 2 показано количество сообщений об обледенении и повторяемость (%) обледенения ВС по высотным слоям за четыре года с января 2012 г. по декабрь 2015 г. Видно, что наибольшее количество сообщений об обледенении было зафиксировано в 2013 г., в остальные годы оно было примерно одинаковое.

Из табл. 2 видно, что количество сообщений об обледенении ВС и повторяемость (%) обледенения по высотным слоям неодинаковые. Наибольшее количество сообщений, кроме 2015 г., в районе аэропорта отмечается на высотах ниже 2000 м. В слое

от земли до 1000 м количество сообщений и повторяемость изменяются в пределах от 18 (2012 г., повторяемость обледенения 21,7%) до 49 (2013 г., повторяемость обледенения 36,0%). Кроме 2015 г., наибольшее количество сообщений фиксируется на высотах от 1000 до 2000 м. Например, в 2012 и 2013 гг. было зарегистрировано 31 и 54 сообщения, что соответствует повторяемости обледенения 37,3% и 39,7%. В целом обледенение ВС отмечается преимущественно в слое атмосферы до 3000 м, где повторяемость составляет 77,1% в 2012 г. и свыше 90% в остальные годы. Начиная с высотного слоя 3000–3999 м повторяемость обледенения резко падает; выше 6000 м оно не фиксировалось.

Повторяемость обледенения ВС в зависимости от высоты, усредненная за период с октября 2011 г. по декабрь 2015 г. (51 месяц), представлена на рис. 2.

Видно, что 89,6% случаев обледенения приходится на высоты от земли до 2999 м, а выше обледенение ВС в районе аэропорта встречается всего в 10,4% от общего количества случаев. Максимальное количество случаев обледенения (37,5%) отмеча-

лось на высотах от 1000 м до 1999 м; также высока повторяемость в слое высот от 0 до 999 м (32,1%).

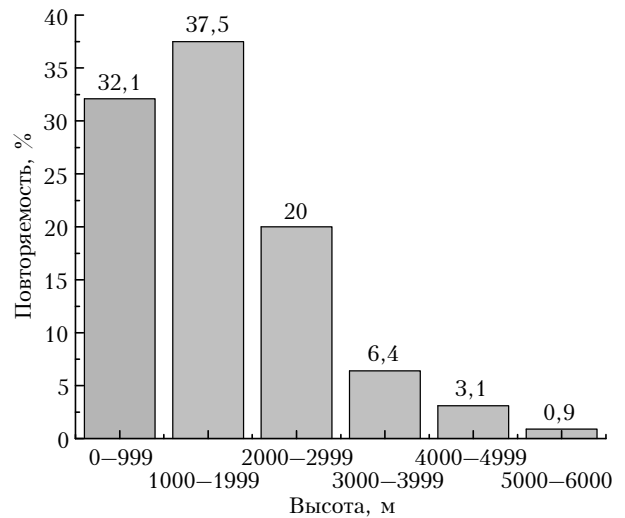


Рис. 2. Средняя повторяемость обледенения самолетов в разных высотных слоях

Таблица 1

Количество сообщений об обледенении и повторяемость (%) обледенения ВС в зависимости от сезона в международном аэропорту Томск

Повторяемость/Сезон	Зима	Весна	Лето	Осень	Октябрь 2011 – декабрь 2015 гг.
Количество сообщений	61	60	12	100	233
Повторяемость, %	26	26	5	43	100

Таблица 2

Количество сообщений об обледенении и повторяемость (%) обледенения ВС по высотным слоям за 2012–2015 гг.

Год	Количество сообщений об обледенении	Высотный слой, м	Количество сообщений об обледенении по высотным слоям	Повторяемость (%) обледенения по высотным слоям
2012	83	0–999	18	21,7
		1000–1999	31	37,3
		2000–2999	15	18,1
		3000–3999	11	13,3
		4000–4999	7	8,4
2013	136	0–999	49	36,0
		1000–1999	54	39,7
		2000–2999	25	18,4
		3000–3999	5	3,7
		4000–4999	2	1,5
2014	100	0–999	32	32,0
		1000–1999	39	39,0
		2000–2999	20	20,0
		3000–3999	6	6,0
		4000–4999	2	2,0
2015	89	0–999	34	38,2
		1000–1999	32	36,0
		2000–2999	19	21,4
		3000–3999	2	2,2
		4000–4999	1	1,1
		5000–6000	1	1,1

Рассмотрим повторяемость обледенения ВС в зависимости от сезона и высоты, усредненную за период с октября 2011 г. по декабрь 2015 г. Данная зависимость представлена на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что в зимний период максимум повторяемости обледенения наблюдается в 44% всех случаев на высотах от 0 до 999 м. С высотой количество случаев обледенения ВС уменьшается; выше 5000 м обледенение не отмечалось. В отличие от зимнего периода, летом обледенение наблюдается практически с равной вероятностью на высотах от 0 до 4999 м. Максимум обледенения находится в слое высот от 1000 до 1999 м, но он не ярко выражен. На высотах ниже 2000 м обледенение наблюдается в 39,1% случаев, а начиная с 2000 до 6000 м – в 60,8% всех случаев. В осенний и весенний периоды максимальное количество случаев обледенения фиксируется на высотах ниже 2000 м с максимумом в слое от 1000 до 1999 м. С высотой вероятность обледенения резко падает, и в диапа-

зоне высот от 4000 до 6000 м повторяемость составляет 5,2% осенью и 1,6% весной.

3. Сравнение полученных результатов с данными [2, 4, 5]

Повторяемость обледенения на разных высотах в январе в аэропорту г. Томска отличается от частоты появления данного явления в континентальных штатах США [5] и от результатов, опубликованных в [2, 4]. Из работы [5] следует, что в слое от 0 до 1500 км обледенение фактически не наблюдается, в то время как в районе аэропорта г. Томска данным высотам соответствует зона риска в течение всего года. В континентальных штатах США максимум повторяемости обледенения фиксируется в слое от 1500 м до 4000 м, а для Томска характерно уменьшение повторяемости обледенения на высотах начиная с 2000 м.

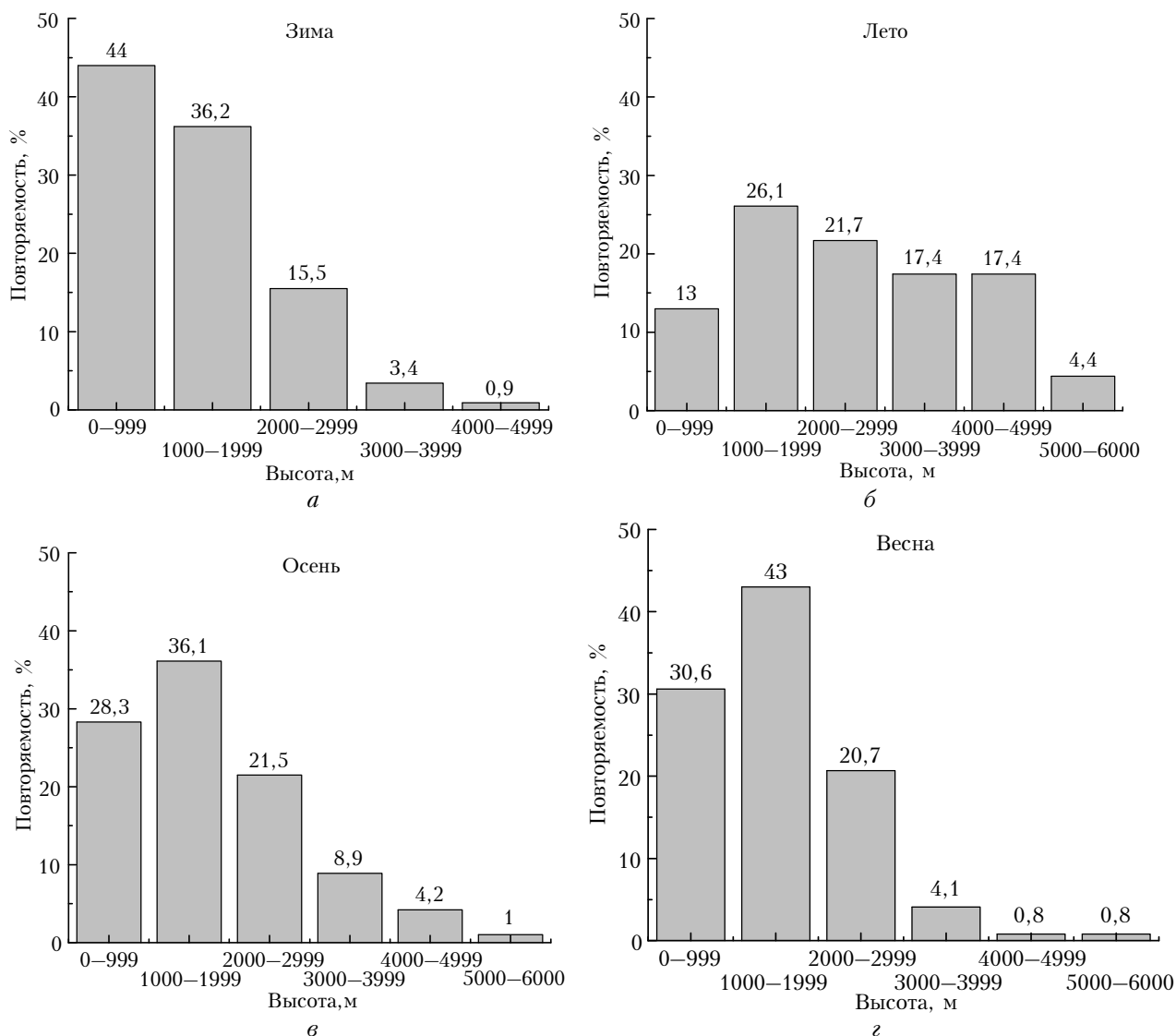


Рис. 3. Средняя повторяемость обледенения самолетов на разных высотных слоях в зависимости от сезона

Сравним полученные результаты с данными, опубликованными в [2, 4]. Согласно исследованиям повторяемости обледенения различных типов самолетов гражданской авиации (по О.К. Трунову и С.П. Хачатрян), рассматриваемое явление наблюдалось наиболее часто в осенне-зимний период [2]. В отличие от этих исследований, по данным сообщений с бортов ВС, для аэропорта г. Томска повторяемость обледенения высокая только в осенний период, а весной и зимой, как это видно из табл. 1, она уменьшается фактически в два раза.

В работе [2] также приведены результаты исследования повторяемости обледенения различных типов самолетов гражданской авиации для различных высотных слоев (по О.К. Трунову и С.П. Хачатрян). Например, в слое от 0 до 3000 м в зимний период обледенение фиксируется в 55,8% всех случаев, а в весенний и осенний периоды — в 43,6% и 44,0% случаев. Летом в данном слое обледенение ВС не наблюдалось. Начиная со слоя высот от 3001 до 6000 м и выше повторяемость обледенения падает во все сезоны, кроме летнего периода, до значений 19,8–23,0%. Летом повторяемость обледенения растет с высотой. В целом за год повторяемость обледенения незначительно отличается от ее значений в весенний или осенний периоды.

Анализ статистических данных по обледенению реактивных самолетов в полетах на территории бывшего СССР [4] показал, что в холодное время года повторяемость обледенения (по И.Г. Пчелко) оценивается в 60% на высотах менее 3000 м. Повторяемость обледенения на высотах, превышающих 5000 м, резко падает и на высоте порядка 8000 м составляет 7%. Подобные результаты были получены О.К. Труновым для самолетов с турбореактивными и турбовинтовыми двигателями на территории центральной части Европейской территории СССР [4]. Согласно [4] максимальная повторяемость обледенения фиксировалась на высоте 3000 м и понижалась до 5% на высотах 1000 м и 6000 м.

Для аэропорта г. Томска характерна сильная концентрация повторяемости обледенения на высотах 0 до 3000 м в весенний, летний, осенний и зимний периоды — это 94,3%, 60,8%, 85,9% и 95,7% соответственно. Из рис. 3 видно, что также высока повторяемость обледенения на высотах до 1000 м во все сезоны. Особо следует отметить, что летом для аэропорта не наблюдается рост повторяемости обледенения с высотой: данная величина равна 4,4% уже в слое 5000–6000 м.

Заключение

В настоящее время развитие транспортной системы РФ во многом зависит от развития воздушного транспорта и, прежде всего, малой авиации [15]. Прогресс транспортной системы Томской области, формирование рынка логистических услуг, ее интегрирование в опорный транспортный каркас России также предполагает ускоренное развитие воздушного транспорта с упором на малую авиацию при создании регулярных сообщений внутри облас-

ти. Поэтому изучение особенностей условий обледенения ВС в пределах приземного слоя атмосферы в районе международного аэропорта Томск является важной задачей для обеспечения безопасного взлета и посадки ВС, включая малую авиацию.

На основе анализа бортовой погоды в районе аэропорта исследована повторяемость обледенения ВС, которая является важной характеристикой рассматриваемого метеорологического явления. Результаты проведенного исследования показывают, что наиболее опасным временем года с точки зрения обледенения ВС в данном районе является осенний сезон. В зимний и весенний периоды повторяемость имеет равную вероятность, меньше, чем в осенний период, а в летний сезон ВС подвергаются обледенению незначительно. Летом велика повторяемость случаев обледенения в средней тропосфере на высотах от 3 до 6 км.

Для аэропорта г. Томска средняя повторяемость обледенения ВС по высотным слоям неодинаковая. В основном данное метеорологическое явление происходит в слое высот от 0 до 2999 м. Максимальное количество случаев обледенения отмечается на высотах от 1000 м до 1999 м; также высока повторяемость в слое высот от 0 до 999 м.

Повторяемость обледенения на разных высотах в январе в районе международного аэропорта Томск отличается от частоты появления данного явления в континентальных штатах США [5] и от результатов, опубликованных в [2, 4].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Администрации Томской области (государственный контракт № 109 на выполнение научно-исследовательской работы от 3.10.2016 г.).

1. Богаткин О.Г. Авиационная метеорология: Учебник. СПб.: РГГМУ, 2005. 328 с.
2. Баранов А.М., Солонин С.В. Авиационная метеорология. Л.: Гидрометиздат, 1981. 383 с.
3. Официальный сайт Авиаметтелеком Росгидромета. URL: http://www.aviamettelecom.ru/index.php?id_top=34 (дата обращения 17.05.2016).
4. Трунов О.К. Обледенение самолетов и средства борьбы с ними. М.: Машиностроение, 1965. 946 с.
5. Schultz P., Politovich M.K. Toward the Improvement of Aircraft-Icing Forecasts for the Continental United States // Weather Forecasting. 1992. V. 7. P. 491–500.
6. Иванова А.Р. Опыт верификации численных прогнозов влажности и оценка их пригодности для прогноза зон обледенения воздушных судов // Метеорол. и гидрол. 2009. № 6. С. 33–46.
7. Zuev V.V., Nakhtigalova D.P., Shelekhov A.P., Shelekhova E.A., Baranov N.A., Kizhner L.I. Remote sensing of potential aircraft icing areas // Proc. SPIE. 2015. V. 9680. P. 96806Q–1–8.
8. Zuev V.V., Нактигалова Д.П., Шелехов А.П., Шелехова Е.А., Павлинский А.В., Баранов Н.А., Кижнер Л.И. Применение метеорологического температурного профиломера МТР-5РЕ в аэропорту для определения пространственных зон возможного обледенения воздушного судна // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 11. С. 1029–1034; Zuev V.V., Nakhtigalova D.P., Shelekhov A.P., Shelekhova E.A., Pavlinskii A.V., Baranov N.A., Kizhner L.I. Application of

- MTP-5PE meteorological temperature profiler in an airport for determining spatial zones of possible aircraft icing // *Atmos. Ocean. Opt.* 2016. V. 29, N 2. P. 186–190.
9. *Дистанционный* способ определения пространственных зон вероятного обледенения воздушных судов в режиме реального времени: Пат. 2580375. Россия, МПК, G01W 1/10, B64D 15/20. Зуев В.В., Нахтигалова Д.П., Шелехов А.П., Шелехова Е.А.; ИМКЭС СО РАН. № 2014154535/28; Заявл. 30.12.14; Оpubл. 10.04.16. Бюл. № 10.
 10. *Официальный* сайт Томского аэропорта. URL: <http://tomskairport.ru/airport/info/> (дата обращения 11.04.2016).
 11. *Слуцкий В.И.* Климатическая характеристика аэропорта Томск (Богашево). Справочник. Томск: ТГУ, 2005. 222 с.
 12. *Зверев А.С.* Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометиздат, 1977. 711 с.
 13. *Боровиков А.М., Гайворонский И.И., Зак Е.Г., Костарев В.В., Мазин И.П., Минервин В.Е., Хргиан А.Х., Шметер С.М.* Физика облаков. Л.: Гидрометиздат, 1961. 459 с.
 14. *Рыбакова Ж.В.* Облака. Томск: ТГУ, 2009. 176 с.
 15. *Стратегия* развития транспортной системы Томской области в 2008–2025 годах. URL: <http://www.gosbook.ru/node/77525> (дата обращения 21.07.2016).

V.V. Zuev, D.P. Nakhtigalova, A.P. Shelekhov, L.I. Kizhner, A.V. Pavlinskii, E.A. Shelekhova, N.A. Baranov. **Peculiarities of aircraft icing in the area of Tomsk International Airport.**

The results of the study of aircraft icing occurrence are presented, depending on the season and altitude, for Tomsk International Airport in the period from 2011 to 2015. It is shown that in the vicinity of the Tomsk International Airport in autumn the maximum icing occurrence is 43% of all cases. In winter and spring, the icing occurrence has an equal probability of 26%, and in summer, an aircraft can be exposed to icing only in 5% of all cases. It was found that, on average over the period, 89.6% of the icing events were recorded at altitudes from the ground level to 2999 m, and above 6000 m icing has not been reported. In winter, the maximum number of icing events was recorded at altitudes from 0 to 999 m. In autumn and spring, the maximum number of icing events was accounted in the layer from 1000 to 1999 m. In summer, the maximum of icing occurrence is in the altitude layer from 1000 to 1999 m, but it is not pronounced. Altitude dependencies of icing occurrence for the Tomsk airport is different from the results previously published for the continental United States and European territory of the USSR.