

УДК 551.5

## АНАЛИЗ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В УСЛОВИЯХ ОБЛЕДЕНЕНИЯ И ГОЛОЛЕДА

Ю. А. ГЛЕДКО<sup>1)</sup>, Е. С. БЕРЕЖКОВА<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

<sup>2)</sup>Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь

Исследована проблема обеспечения безопасности воздушных судов на территории Республики Беларусь и непосредственно на территории аэродрома Минск. Обледенение и гололед – одни из наиболее опасных метеорологических явлений для авиации. В целях предупреждения авиационных происшествий, связанных с ними, необходимо иметь четкое представление о закономерностях их возникновения и распределения, а также об их взаимосвязи между собой. Для исследования пространственно-временных закономерностей распределения гололеда выполнена обработка фактических метеорологических данных Белгидромета за 1989–2016 гг. по всем метеорологическим станциям Республики Беларусь. Построены и проанализированы графики хронологического хода среднемесячного количества дней с гололедом и среднегодового количества дней с гололедом по всем метеорологическим станциям на территории Республики Беларусь за вышеуказанный период. Изучена тенденция изменения среднегодового количества дней с гололедом за 1989–2016 гг. По данным авиационной метеорологической станции гражданской «Минск», проведен анализ обледенения за 2014–2018 гг. Рассмотрены сопутствующие метеорологические элементы, такие как форма облаков, направление и сила ветра, температура воздуха, а также синоптическая ситуация. Карта пространственно-временного распределения гололеда построена с помощью ArcGIS методом равных интервалов.

**Ключевые слова:** авиационная метеорология; обледенение воздушного судна; гололед; безопасность полетов; обледенение.

## ANALYSIS OF THE METEOROLOGICAL SITUATION IN THE CONDITIONS OF ICING AND ICE

Y. A. HLEDKO<sup>a</sup>, K. S. BERAZHKOVA<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Belarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

<sup>b</sup>Republican Center for Hydrometeorology of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring,  
110 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus

Corresponding author: K. S. Berazhkova (katarina0704@tut.by)

The article is devoted to the study of the problem of ensuring the safety of aircraft on the territory of the Republic of Belarus and, directly, on the territory of the Minsk airfield. Icing and ice are some of the most dangerous meteorological

### Образец цитирования:

Гледко ЮА, Бережкова ЕС. Анализ метеорологической обстановки в условиях обледенения и гололеда. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2020;2:14–25.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-14-25>

### For citation:

Hledko YA, Berazhkova KS. Analysis of the meteorological situation in the conditions of icing and ice. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2020;2:14–25. Russian.  
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-2-14-25>

### Авторы:

**Юлия Александровна Гледко** – кандидат географических наук, доцент; заведующий кафедрой общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.

**Екатерина Сергеевна Бережкова** – ведущий инженер-синоптик.

### Authors:

**Yulia A. Hledko**, PhD (geography), docent; head of the department of Earth science and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.

[hledko@bsu.by](mailto:hledko@bsu.by)

**Katsiaryna S. Berazhkova**, leading engineer-forecaster.  
[katarina0704@tut.by](mailto:katarina0704@tut.by)

phenomena for aviation. In order to prevent accidents related to these phenomena, it is necessary to have a clear idea of the laws of their occurrence and distribution, as well as their relationship to each other. To study the spatial and temporal patterns of ice distribution, the actual meteorological data of Belhydromet for 1989–2016 were processed at all meteorological stations of the Republic of Belarus. Also, charts of the chronological progress of the average monthly number of days with ice and the average annual number of days with ice at all meteorological stations on the territory of the Republic of Belarus for the above period were constructed and analyzed. The tendency to change the average annual number of days with ice over the period from 1989 to 2016 is analysed. The icing analysis for 2014–2018 was also carried out according to the data of the Civil Aviation Meteorological Station «Minsk». The accompanying meteorological elements, such as the shape of the clouds, the direction and strength of the wind, air temperature, as well as the synoptic situation, are analysed. The map of the spatio-temporal distribution of ice is constructed using *ArcGIS* by the method of equal intervals.

**Keywords:** aviation meteorology; icing of aircraft; ice; flight safety; icing.

## Введение

Возникновение обледенения<sup>1</sup> и гололеда на территории аэродрома создает опасность для совершения взлета-посадки воздушного судна. При наличии данных явлений оно крайне редко сможет совершить посадку и в 99 % случаев уходит на запасной аэродром. Однако обледенение и гололед оказывают негативное влияние не только на воздушные суда, но и наземные объекты, в частности на наземные инженерные сооружения аэродрома. При этом создается определенный ряд трудностей в обеспечении полетов гражданской авиации, безаварийной эксплуатации авиационной техники и других транспортных средств. Поддержание в эксплуатационном состоянии аэродромных и дорожных покрытий в данных условиях влечет за собой увеличение затрат, материальных и людских ресурсов. В целом данная ситуация может оказывать негативное воздействие на регулярность, эффективность и безопасность полетов воздушных судов. Степень ущерба снижается при своевременном доведении информации метеорологическим органом до потребителей. Проблеме наземного обледенения (гололедообразования) посвящен большой цикл работ отечественных и зарубежных авторов, особенно в 1970–80-х гг. Однако, несмотря на определенные научные и технические достижения в ее решении, имеются задачи, которые требуют совершенствования знаний о физических процессах обледенения наземных объектов, выявления и учета факторов, способствующих возникновению этого явления.

Цель исследования – проведение анализа метеорологической обстановки в условиях обледенения и гололедных явлений на территории Республики Беларусь.

К основным задачам относятся:

- анализ метеорологических условий и синоптической ситуации, обуславливающих возникновение обледенения;
- изучение взаимосвязи возникновения гололедных явлений и обледенения воздушных судов на территории авиационной метеорологической станции гражданской «Минск»;
- изучение закономерностей пространственно-временного распределения гололедных явлений на территории Беларуси.

## Методика исследования

В Республике Беларусь вопросам пространственно-временного распределения гололедных явлений уделялось немало внимания [2; 3]. Следует отметить, что исследования носили агрометеорологическое направление, их результаты нашли широкое применение в сельском хозяйстве. Однако при этом не изучалась область авиационной метеорологии, что снижало уровень метеорологического обслуживания полетов гражданской авиации, обеспечивающего безопасность. А также не была проанализирована связь метеорологических условий возникновения гололеда на взлетно-посадочной полосе и обледенения воздушных судов на территории аэродрома Минск. В зарубежных странах проводились исследования обледенения воздушных судов [4; 5]. Полученные результаты применимы для подготовки к осенне-зимнему навигационному периоду диспетчерского и летного составов.

В данном исследовании авторы использовали такие методы, как исторический, аналитический, радиолокационный, статистический и математический (частотный и факторный анализы), а также методы изучения и обобщения отечественной и зарубежной практики, сравнения, классификации и метод равных интервалов в *ArcGIS*.

<sup>1</sup>Руководство по противообледенительной защите воздушных судов на земле (Doc9640-AN/940) [Электронный ресурс]. 2-е изд. [Б. м.] : Международная организация гражданской авиации, 2000. 38 с. URL: <https://docplayer.ru/29563011-Rukovodstvo-pro-protivoobledenitelnoy-zashchite-vozdushnyh-sudov-na-zemle.html> (дата обращения: 21.02.2017).

Для анализа и составления пространственно-временной карты гололедных явлений применялись фактические метеорологические данные Белгидромета за 1989–2016 гг. по 49 метеорологическим станциям (рис. 1). Исследование синоптической ситуации, сопутствующей обледенению, а также взаимосвязи гололедных явлений и обледенения воздушных судов в приземном слое проводилось на основании фактических данных за 2014–2018 гг. (этот период использован в связи с отсутствием базы более ранних наблюдений на аэродроме Минск).

Полученные материалы были обработаны с помощью статистических и математических методов, позволивших получить достоверные пространственно-временные характеристики пространственно-временного распределения изучаемых опасных явлений и представить их в виде графиков, диаграмм, таблиц [6].

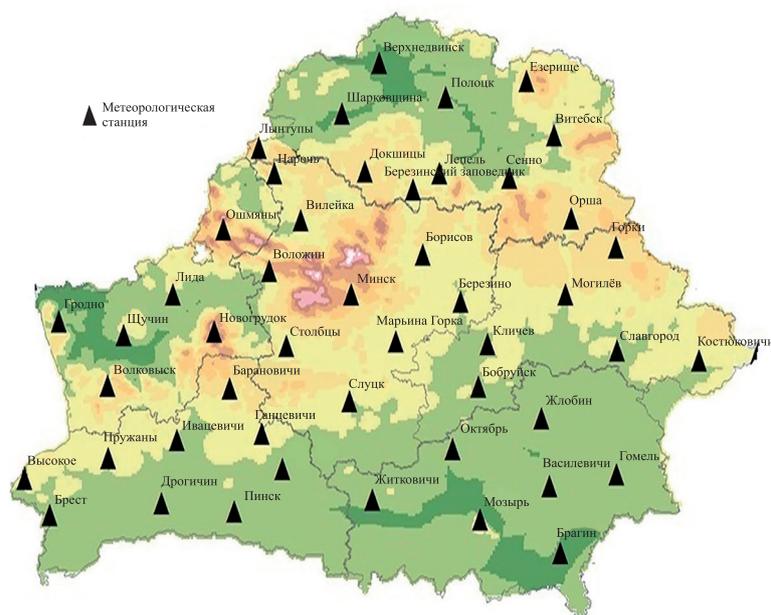


Рис. 1. Схема расположения метеорологических станций Белгидромета (составлена по данным информационно-справочного портала *Pogoda.by* за 2016 г.)

Fig. 1. Layout of meteorological stations of Belhydromet (compiled by the author based on Belhydromet data for 2016)

Подбор и обработка фактических метеорологических данных Белгидромета проводились в соответствии с метеорологическими сроками в электронном виде. Визуализация фактических метеорологических данных выполнена с помощью программного продукта *ArcGIS* методом равных интервалов.

### Результаты исследования и их обсуждение

К опасным для авиации явлениям погоды, связанным с замерзающими осадками, относятся обледенение и гололед.

Обледенение – одно из наиболее неблагоприятных метеорологических явлений, от которого зависит безопасность и регулярность полетов воздушных судов. Обледенение представляет собой любое отложение или покрытие изо льда на поверхности воздушного судна, вызванное столкновением и замерзанием жидких гидрометеоров. Данные отложения льда могут создать угрозу безопасности полета и даже привести к опасному происшествию. В результате обледенения ухудшаются аэродинамические и летные характеристики самолетов:

- уменьшается подъемная сила;
- снижаются потолок и максимальная скорость полета;
- понижается вертикальная скорость набора высоты;
- возрастает потребная мощность для полета на заданной скорости;
- увеличивается расход топлива [7].

Причинами обледенения являются два основных процесса:

1) сублимация водяного пара на поверхности воздушных судов (образуется в тех случаях, когда температура поверхности воздушного судна ниже температуры воздуха). Данное отложение льда не является существенным;

2) замерзание переохлажденных капель, сталкивающихся с лобовыми частями воздушного судна при полете в облаках, осадках, тумане.

Для обоих случаев обязательным условием является отрицательная температура поверхности самолета.

Отложения льда могут вызвать нарушение работы карбюратора, приемника воздушного давления, воздухозаборников, стабилизатора и др. В результате обледенения крыла нарушается нормальное обтекание его воздушным потоком, происходит преждевременный срыв потока и снижение подъемной силы крыла, образуется на передней кромке стабилизатора лед, ухудшается устойчивость самолета и управляемость им в режиме предпосадочного планирования. Из-за обледенения наружных антенн нарушается радиосвязь. Лед на окнах кабины сильно ухудшает обзор, затрудняет заход на посадку и саму посадку. При обледенении воздухозаборников могут повреждаться элементы конструкции двигателей. Попадание льда в компрессор некоторых типов газотурбинных двигателей может привести к их самопроизвольному выключению.

В зависимости от типа самолета варьируется чувствительность к обледенению. Воздушные суда с поршневыми и турбовинтовыми двигателями в наибольшей степени подвержены обледенению, а современные реактивные самолеты – в наименьшей. Если обледенение наблюдается в полете, то чаще всего льдом покрываются лобовые части деталей воздушных судов, а во время стоянки на земле – верхние части крыльев, хвостовое оперение, фюзеляж и лопасти винтов вертолета [8].

На основе данных с авиационной метеорологической станции гражданской «Минск» на территории аэродрома в 2014–2018 гг. было зафиксировано 917 случаев обледенения воздушных судов, из которых только 48 произошли в приземном слое, т. е. 869 случаев – во время полета, а это 95 % всех случаев.

В зависимости от интенсивности обледенения воздушного судна выделяются следующие его типы:

- слабое – скорость отложения не более 0,5 мм/мин, скорость нарастания льда может создавать проблемы, если полет в таких условиях продолжается более 1 ч;
- умеренное – скорость отложения от 0,5 до 1,0 мм/мин, скорость нарастания льда такова, что даже кратковременное обледенение потенциально опасно и необходимо применение антиобледенительного оборудования;
- сильное – скорость отложения более 1,0 мм/мин, скорость нарастания льда такова, что применения антиобледенительного оборудования недостаточно, необходим немедленный выход самолета из зоны обледенения.

Количество случаев обледенения воздушных судов и их процентное соотношение за 2014–2018 гг. представлены на рис. 2 и 3.

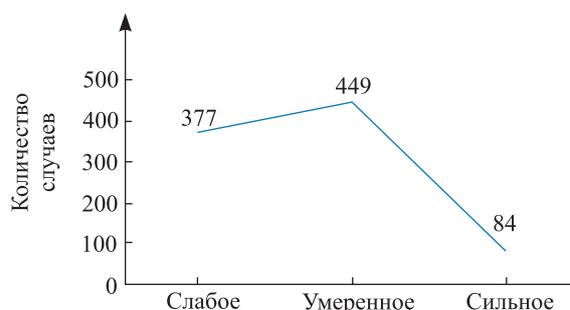


Рис. 2. Количество случаев обледенения воздушных судов (2014–2018)

Fig. 2. The number of aircraft icing events and specific gravity (2014–2018)

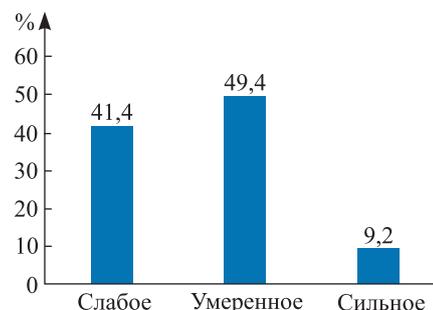


Рис. 3. Удельный вес случаев обледенения воздушных судов (2014–2018)

Fig. 3. The proportion of aircraft icing cases (2014–2018)

Анализируя рис. 2 и 3, можно отметить, что наибольшее количество случаев обледенения (49,4 %), зафиксированных на аэродроме Минск, приходится на обледенение с умеренной интенсивностью, немногим менее (41,4 %) – на обледенение со слабой интенсивностью, которое не считается опасным для движения воздушных судов. В этих случаях не выписываются предупреждения по аэродрому и не вносятся информация в полетную документацию. Наиболее опасно обледенение с сильной интенсивностью, оно составляет 9,2 %, однако данное явление случается намного реже.

Среднемесячное распределение случаев обледенения за 2014–2018 гг. и их удельный вес представлены на рис. 4 и 5 соответственно. Количественные показатели указаны в табл. 1.

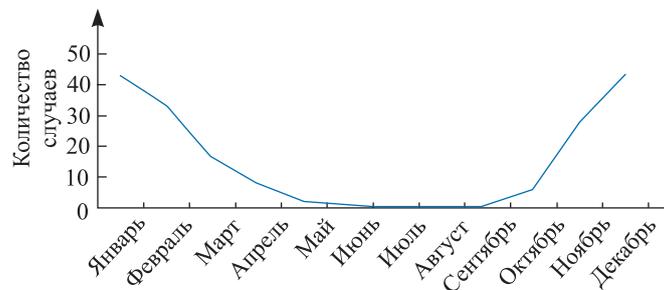


Рис. 4. Среднемесячное количество случаев обледенения за 2014–2018 гг.

Fig. 4. The average monthly number of icing events for the period from 2014 to 2018

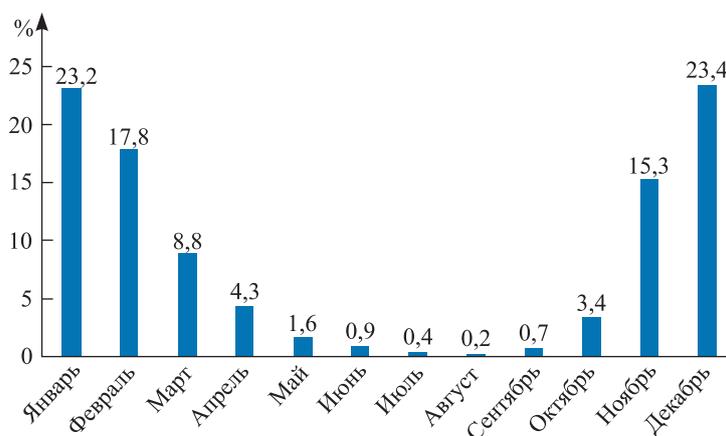


Рис. 5. Удельный вес среднемесячного количества случаев обледенения воздушных судов (2014–2018)

Fig. 5. Percentage of average monthly number of aircraft icing events (2014–2018)

В результате анализа рис. 4 и 5 можно сделать вывод о том, что общая тенденция среднемесячного количества случаев с обледенением воздушных судов за год не меняется. Количественные различия наблюдаются только в зимние месяцы: максимальное число случаев зафиксировано в январе и декабре – 213 и 215 соответственно. И наоборот – в теплые месяцы случаи обледенения редки, минимальный показатель зарегистрирован в августе. За 5 лет было отмечено всего 2 случая (0,2 %) обледенения.

Синоптические условия, являющиеся причиной обледенения, связаны в первую очередь с развитием фронтальной облачности. Во фронтальных облаках вероятность умеренного и сильного обледенения в несколько раз больше по сравнению с внутримассовыми облаками. Сильное обледенение отмечается в узкой полосе шириной 150–200 км вблизи линии фронта у земной поверхности. В зоне активных теплых фронтов сильное обледенение наблюдается в 300–350 км от линии фронта. Во внутримассовых облаках вертикального развития может встречаться как умеренное, так и сильное обледенение [9].

Анализ облачности, сопутствующей обледенению воздушных судов, представлен в табл. 1 и на рис. 6.

Таблица 1

**Формы облаков при обледенении (2014–2018)**

Table 1

**The shapes of the clouds during icing (2014–2018)**

Формы облаков		Последствия	Число случаев	%
СВ	Кучево-дождевые	Возможен сильный прозрачный лед	186	19,2
Ac	Высококучевые	Изморозь от легкой до умеренной	62	6,4
Sc	Слоисто-кучевые	Умеренный иней, когда уровень замерзания достаточно низкий	348	35,9

Окончание табл. 1  
Ending table 1

Формы облаков		Последствия	Число случаев	%
Ns	Слоисто-дождевые	Умеренная смешанная глазурь на нижних уровнях	154	15,8
St	Слоистые	Нет угрозы обледенения или легкий иней	220	22,7
Итого			970	100

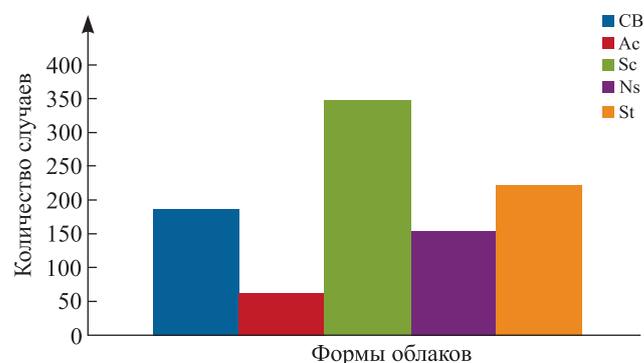


Рис. 6. Формы облаков, сопутствующие случаям обледенения (2014–2018)

Fig. 6. Cloud shapes associated with icing events (2014–2018)

В табл. 1 представлены различные формы облаков, которые являлись сопутствующими при случаях обледенения и были представлены как в качестве доминантных, так и в совокупности с другими. Из табл. 1 и рис. 6 видно, что наиболее часто сопровождающими обледенение облаками являются слоисто-кучевые. Реже других в этом случае отмечаются высококучевые облака.

Для более детального рассмотрения зависимости наличия и интенсивности обледенения от синоптической ситуации были рассмотрены все случаи возникновения явления (2014–2018), они представлены в табл. 2 и на рис. 7.

Как видно из табл. 2, оптимальные условия для образования сильного обледенения воздушных судов наблюдаются во фронтальных облаках (80 %). Во внутримассовых облаках преобладает слабое и умеренное обледенение (20 %).

Для более детального рассмотрения метеорологических условий необходимо проанализировать преобладающее направление ветра во время обледенения воздушных судов. С этой целью была построена роза ветров (рис. 8).

Таблица 2

**Удельный вес разной интенсивности обледенения самолетов при различных синоптических ситуациях (2014–2018), %**

Table 2

**The specific gravity of different intensities of icing of airplanes in various synoptic situations (2014–2018), %**

Синоптическая ситуация	Интенсивность обледенения			Удельный вес в общем объеме случаев обледенения, %	
	Общее количество случаев обледенения в соответствии с синоптической ситуацией	Слабое	Умеренное		Сильное
<i>Фронтальные облака</i>					
Теплый фронт	100	44	49	7	30
Теплый сектор	100	39	54	7	5
Холодный фронт	100	37	52	11	25
Фронт окклюзии	100	40	50	10	20
Итого					80

Окончание табл. 2  
 Ending table 2

Синоптическая ситуация	Интенсивность обледенения			Удельный вес в общем объеме случаев обледенения, %	
	Общее количество случаев обледенения в соответствии с синоптической ситуацией	Слабое	Умеренное		Сильное
<i>Внутримассовые облака</i>					
Циклон	100	61	29	10	4
Антициклон	100	42	52	6	6
Седловина	100	43	43	14	7
Передняя часть ложбины	100	33	53	14	2
Тыловая часть ложбины	100	30	62	8	1
Итого					20

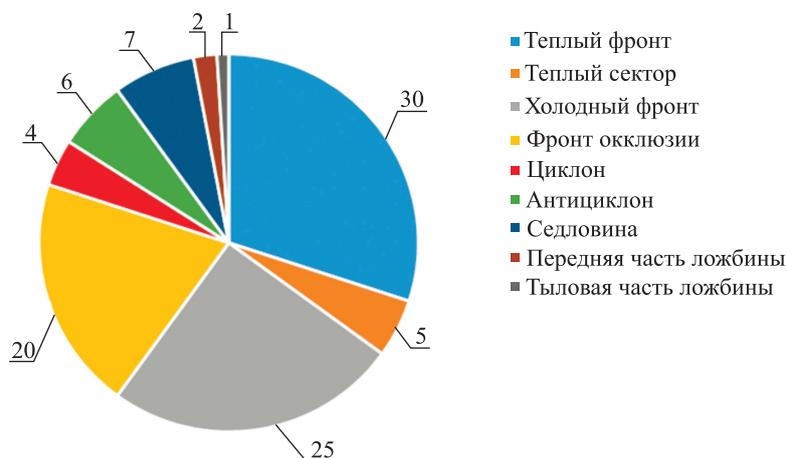


Рис. 7. Удельный вес количества случаев обледенения в зависимости от синоптической ситуации (2014–2018), %

Fig. 7. The proportion of the number of cases of icing, depending on the synoptic situation (2014–2018), %

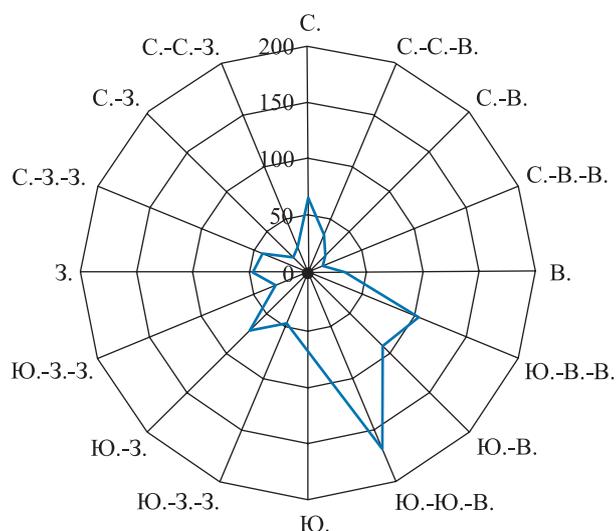


Рис. 8. Роза ветров, сопутствующая случаям обледенения воздушных судов (2014–2018)

Fig. 8. Wind rose associated with aircraft icing (2014–2018)

При анализе рис. 8 видно, что преобладающим направлением ветра в условиях образования обледенения является от юго-востока-востока (107 случаев) до юго-юго-востока (170 случаев), что как раз и есть одна из причин образования ледяной корки (теплый воздух).

Кроме того, обледенение воздушного судна обуславливает наличие отрицательной температуры поверхности воздушного судна и присутствие в воздухе сконденсированной влаги. Помимо этого, температура вместе с размером капель влияет на вид и плотность нарастающего льда.

Согласно экспериментальным данным обледенение воздушного судна чаще всего наблюдается, когда температура воздуха снижается до  $-24...-25$  °С. На территории аэродрома Минск обледенение наиболее часто образовывалось при температурах от 0 до  $-12$  °С (табл. 3). Такая температура соответствует жидкокапельным облакам.

Таблица 3

**Повторяемость температуры воздуха во время обледенения**

Table 3

**Repeatability of air temperature during icing of aircraft**

Температура воздуха, °С	Количество случаев	Повторяемость, %
>+12	8	0,87
От 0 до +12	235	25,63
От 0 до -12	663	72,30
<-12	11	1,20

Источник: [10].

Чем ниже температура воздуха, тем больше вероятность того, что переохлажденная капля замерзнет при ударе о поверхность самолета, а это приведет к образованию изморози. Обледенение может образовываться, когда температура воздуха фактически выше нуля и температура поверхности самолета ниже нуля. Данное условие может иметь место, если самолет недавно снизился от более низких температур.

Как упоминалось ранее, 20 % случаев обледенения воздушного судна наблюдаются на поверхности земли. Хотя они не так опасны в связи с нахождением воздушного судна в покое и возможностью устранения ледяной корки с помощью обработки специальными растворами, необходимо рассмотреть причины их возникновения. Метеорологические условия появления обледенения у земли схожи с теми, при которых образуется гололед, косвенно влияющий на его возникновение. В целях более детального рассмотрения взаимосвязи таких опасных явлений для авиации, как гололед и обледенение, представлен рис. 9. На нем отображена информация о количестве дней с обледенением и гололедом в январе, феврале, ноябре и декабре 2014–2016 гг.

При анализе рис. 9 видно, что кривые обледенения и гололеда практически идентичны, что говорит о взаимосвязи исследуемых опасных метеорологических явлений. Для построения графика, представленного на рис. 9, использовались количественные показатели случаев наступления опасных явлений.

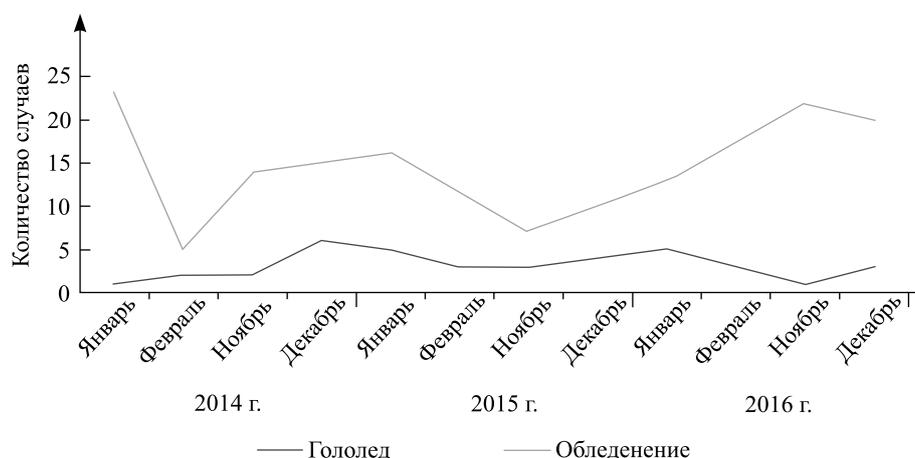


Рис. 9. Количественные показатели опасных явлений (2014–2016)

Fig. 9. Quantitative indicators of hazardous events (2014–2016)

Расчеты, проведенные на основании данных рис. 9, свидетельствуют о том, что на указанный период было отмечено 39 дней с гололедом и 27 дней с обледенением (от земли и выше), что соответствует 70 % наличия опасных явлений. Отсутствие случаев обледенения воздушных судов в остальные 30 % дней с гололедом не говорит об их невозможности, а может быть результатом заблаговременного проведения противообледенительной обработки воздушных судов. К сожалению, фактическое наличие случаев обледенения вне аэродрома зафиксировать практически невозможно, особенно в соответствии с метеорологическими сроками. Однако, опираясь на факт взаимосвязи обледенения и гололеда, можно частично пользоваться картой пространственно-временного распределения гололедных явлений на территории Беларуси.

Гололед – это образование корки льда на поверхности земли, ветках деревьев, проводах и опорах линий электропередач или на любых других поверхностях. Он образуется в результате замерзания атмосферных осадков (дождь, туман, изморозь, мокрый снег или снег с дождем), попадающих на холодную поверхность, которая еще не успела согреться за время кратковременного вторжения теплых воздушных масс. Чаще всего гололед имеет место при южных и юго-западных ветрах. В холодное время гололед образуется вблизи незамерзших водоемов. Иными словами, при формировании гололеда атмосферная влага имеет температуру чуть выше 0 °С, а ветви деревьев, провода, металлические конструкции (или поверхность земли) еще не согрелись и характеризуются отрицательными температурами (от –3 до –15 °С) [9].

Образование гололеда происходит исключительно при перепадах температур. Он опасен для движущихся транспортных средств и людей. Но кроме этого, гололед, обуславливающий ледяные наросты на проводах линий электропередач, создает дополнительные весовые и ветровые нагрузки и может привести к обрыву проводов [2; 3]. Пространственно-временное распределение гололедных явлений по территории республики представлено на рис. 10.

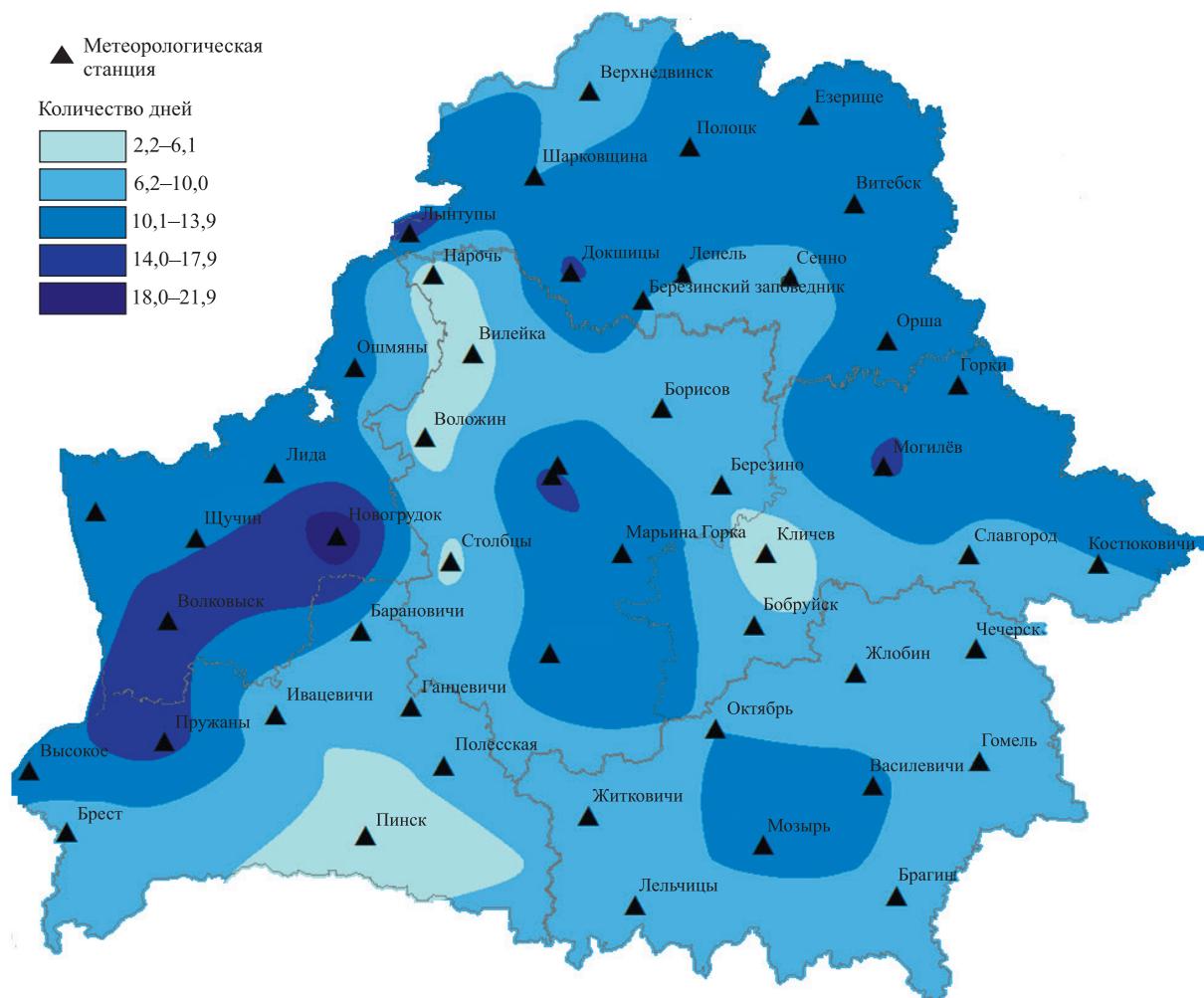


Рис. 10. Пространственное распределение среднегодового количества дней с гололедом по республике (1989–2016)

Fig. 10. Spatial distribution of the average annual number of days with ice in the republic (1989–2016)

Анализируя рис. 10, необходимо отметить, что наиболее частое возникновение гололеда наблюдается на востоке Гродненской области (метеорологическая станция «Новогрудок» – 22,4 дня в году), несколько меньшим показателем характеризуется Могилёвская область, юго-восточная часть Минской и северная часть Гомельской области. Наиболее редко гололед отмечается на метеорологической станции Кличева и длится 2,5 дня в году, примерно такие же показатели характерны для южной части Брестской области, а также северо-западной части Минской области.

На рис. 11 представлен хронологический ход среднемесячного количества дней с гололедом с 1989 по 2016 г.

Гололедные явления наблюдаются в холодное время года. На рис. 11 хорошо видно, что наиболее характерны они для декабря – 3,1 дня, а минимальное их число отмечается в мае и сентябре и составляет 0,001 и 0,004 соответственно благодаря редким понижениям температуры. Среднемесячный показатель – 0,8 дня.

На рис. 12 отражен хронологический ход среднегодового количества дней с гололедом на территории республики за 1989–2016 гг.

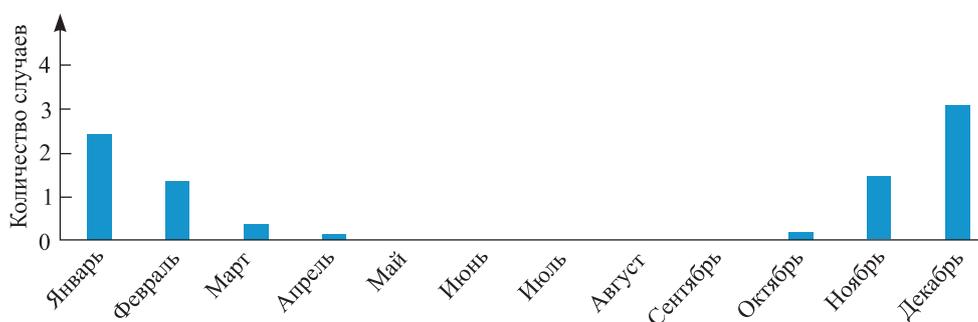


Рис. 11. Хронологический ход среднемесячного количества дней с гололедом по Беларуси (1989–2016)

Fig. 11. Chronological progress of the average monthly number of days with ice in the Republic of Belarus (1989–2016)

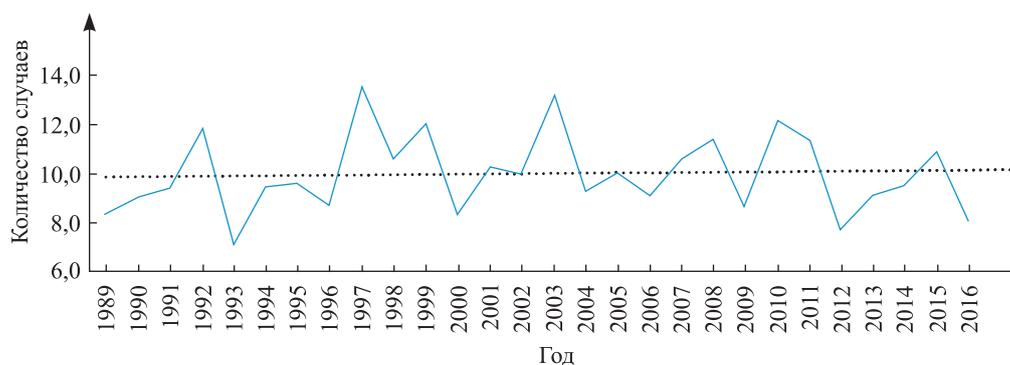


Рис. 12. Хронологический ход среднегодового количества дней с гололедом на территории республики (1989–2016)

Fig. 12. Chronological progress of the average annual number of days with ice on the territory of the republic (1989–2016)

Как следует из рис. 12, максимальное количество случаев с гололедом отмечалось в 1997 г. – 13,6 дня, немногим менее – 13,3 дня – зафиксировано в 2003 г. Минимальный же показатель характерен для 1993 г. – 7,1 дня, для 2012 г. – 7,7 дня. Среднегодовой показатель составил 10,0 дня. График показывает отсутствие тенденции или совсем незначительный рост.

Наибольшее количество дней с гололедом на территории республики отмечается с ноября по февраль, реже в апреле и сентябре. В теплый период года данное явление не наблюдается в связи с отсутствием отрицательных температур.

Гололед сильно ухудшает тормозную способность воздушного судна и сцепные качества взлетно-посадочной полосы, тем самым обуславливая выталкивание воздушного судна за пределы взлетно-посадочной полосы.

## Заключение

При возникновении обледенения воздушных судов и гололедных явлений на аэродроме в условиях отсутствия заблаговременной прогностической метеорологической информации появляется опасность человеческих и экономических потерь. Во избежание подобной ситуации необходимо не только исследование самого процесса их возникновения и рассмотрение сопутствующей синоптической ситуации, но и детальное изучение особенностей аэродрома непосредственно. Анализируя полученную информацию в ходе исследования, можно сделать следующие выводы.

1. Обледенение воздушных судов, находящихся в непосредственной близости к земной поверхности, напрямую взаимосвязано с сопутствующими гололедными явлениями на территории аэродрома. На основании фактических метеорологических данных, использованных при исследовании, установлено, что 70 % дней со случаями обледенения сопровождались наличием гололеда на аэродроме. Однако стоит отметить, что в общий расчет не вносились данные о наличии обледенения воздушных судов на аэродроме, у которых была проведена обработка противообледенительными составами, т. е. предотвращались случаи обледенения воздушных судов. Анализ приведенной информации проведен по фактическим метеорологическим данным авиационной метеорологической станции гражданской «Минск» за 2014–2016 гг.

2. Пространственно-временное распределение гололедных явлений на территории Республики Беларусь свидетельствует о том, что максимальный показатель имел место на метеорологической станции Новогрудка и составил 22,4 дня в году, а минимальный зафиксирован на метеорологической станции Кличева – 2,5 дня. Также отмечается наличие незначительной положительной тенденции при анализе изменения среднегодового количества дней с гололедом за 1989–2016 гг. Годовое распределение остается классическим с ярко выраженным зимним максимумом и отсутствием гололедных явлений в летнее время. Распределение по площади имеет следующие особенности. Зона максимальных значений наблюдается по контуру территории республики с запада на северо-восток. Зоны минимальных значений расположены «пятнами» на северо-западе Минской области, на юге Брестской и юго-западе Могилёвской области.

Картографические материалы целесообразно использовать при составлении прогнозов опасных явлений на более ранней стадии их подготовки в целях обеспечения безопасности полетов.

## Библиографические ссылки

1. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси. *Природопользование*. 2006;12:33–40.
2. Мельник ВИ, Герменчук МГ, Комаровская ЕВ. Изменения основных климатических параметров и повторяемость опасных гидрометеорологических явлений в Республике Беларусь. В: Стрельченко СГ, редактор. *Парламентские органы межгосударственных объединений на пространстве СНГ. Парламентское собрание Союза Беларуси и России. Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства (заседание двадцать второе, 8–10 декабря 2010 года, г. Смоленск)*. Минск: Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси; 2010. с. 135–146.
3. Шакина НП, Иванова АР. *Прогнозирование метеорологических условий для авиации*. Москва: Триада лтд.; 2016. 312 с.
4. Brasseur G, Cox R, Hauglustaine D, Isaksen I, Lelieveld J, Lister DH, et al. European scientific assessment of the atmospheric effects of aircraft emissions. *Atmospheric Environment*. 1998;32:2329–2418. DOI: 10.1016/S1352-2310(97)00486-X.
5. Politovich MK. Aircraft icing. In: Holton JR, editor. *Encyclopedia of atmospheric sciences*. [S. l.]: Elsevier; 2003. p. 68–75. DOI: 10.1016/B0-12-227090-8/00055-5.
6. Аргучинцева АВ. *Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений*. Иркутск: Иркутский государственный университет; 2007. 106 с.
7. Демидов АИ, Шишелова ТИ. Проблема обледенения летательных аппаратов и применяемые методы борьбы с ней. *Международный журнал экспериментального образования*. 2014;8(часть 2):88–89.
8. Астапенко ПД, Баранов АМ, Шварев ИМ. *Авиационная метеорология*. Москва: Транспорт; 1985. 433 с.
9. Баранов АМ, Солонин СВ. *Авиационная метеорология*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1981. 384 с.
10. Гледко ЮА, Сенькив КА. Метеорологические условия образования обледенения воздушных судов (на примере территории Беларуси). В: Кабанова МВ, редактор. *Тринадцатое Сибирское совещание и школа молодых ученых по климато-экологическому мониторингу; 15–19 октября 2019 г.; Томск, Россия* [тезисы докладов]. Томск: Аграф-Пресс; 2019. с. 35–36.

## References

1. Loginov VF, Volchek AA, Shpoka IN. [Dangerous meteorological phenomena in the territory of Belarus]. *Prirodopol'zovanie*. 2006;12:33–40. Russian.
2. Melnik VI, Germenchuk MG, Komarovskaya EV. [Changes in the main climatic parameters and the recurrence of dangerous hydrometeorological phenomena in the Republic of Belarus]. In: Strel'chenko SG, editor. *Parlamentskie organy mezhgosudarstvennykh ob'edinenii na prostranstve SNG. Parlamentskoe sobranie Soyuzu Belarusi i Rossii. Materialy postoyanno deistvuyushchego*

*seminara pri Parlamentskom sobranii Soyuzna Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Soyuznogo gosudarstva (zasedanie dvadtsat' vtoroe, 8–10 dekabrya 2010 goda, g. Smolensk)* [Parliamentary bodies of interstate associations in the CIS space. Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia. Materials of the permanent seminar at the Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia on the construction of the Union State (session twenty-second, 2010 December 8–10, Smolensk)]. Minsk: Center for System Analysis and Strategic Studies of the National Academy of Sciences of Belarus; 2010. p. 135–146. Russian.

3. Shakina NP, Ivanova AR. *Prognozirovaniye meteorologicheskikh uslovii dlya aviatsii* [Weather forecasting for aviation]. Moscow: Triada ltd.; 2016. 312 p. Russian.

4. Brasseur G, Cox R, Hauglustaine D, Isaksen I, Lelieveld J, Lister DH, et al. European scientific assessment of the atmospheric effects of aircraft emissions. *Atmospheric Environment*. 1998;32:2329–2418. DOI: 10.1016/S1352-2310(97)00486-X.

5. Politovich MK. Aircraft icing. In: Holton JR, editor. *Encyclopedia of atmospheric sciences*. [S. l.]: Elsevier; 2003. p. 68–75. DOI: 10.1016/B0-12-227090-8/00055-5.

6. Arguchintseva AV. *Metody statisticheskoi obrabotki i analiza gidrometeorologicheskikh nablyudenii* [Methods of statistical processing and analysis of hydrometeorological observations]. Irkutsk: Irkutsk State University; 2007. 106 p. Russian.

7. Demidov AI, Shishelova TI. [The problem of icing of aircraft and applied methods of dealing with it]. *International Journal of Experimental Education*. 2014;8(part 2):88–89. Russian.

8. Astapenko PD, Baranov AM, Shvarev IM. *Aviation meteorology*. Moscow: Transport; 1985. 433 p. Russian.

9. Baranov AM, Solonin SV. *Aviation meteorology*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1981. 384 p. Russian.

10. Gledko YuA, Senkiv KA. [Meteorological conditions for the formation of aircraft (for example, the territory of Belarus)]. In: Kabanova MV, editor. *Trinadtsatoye Sibirskoye soveshchaniye i shkola molodykh uchenykh po klimato-ekologicheskomy monitoringu; 15–19 oktyabrya 2019 g.; Tomsk, Rossiya* [The thirteenth Siberian conference and the school of young scientists on climate ecological monitoring; 2019 October 15–19; Tomsk, Russia] [abstracts]. Tomsk: Agraf-Press; 2019. p. 35–36. Russian.

*Статья поступила в редколлегию 19.05.2020.*

*Received by editorial board 19.05.2020.*