

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 55.509.5

## Оценка успешности прогноза обледенения ВС на основе дистанционного способа радиометрирования атмосферы

В.В. Зуев<sup>1,2</sup>, Д.П. Мордус<sup>1,3</sup>, А.В. Павлинский<sup>1\*</sup>

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

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет  
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

<sup>3</sup>Западно-Сибирский филиал ФГБУ Авиаметтелеком Росгидромета  
630099, г. Новосибирск, ул. Депутатская, 1

Поступила в редакцию 15.03.2019 г.

Представлены результаты оценки успешности прогноза обледенения воздушного судна (ВС) при использовании дистанционного способа определения зон его возможного обледенения в нижнем километровом слое. Оценка проводилась на основе расчета предупрежденности наличия опасного метеорологического явления, в данном случае обледенения ВС. Описана методика расчета предупрежденности наличия явления, которая соответствует методике, используемой в авиационных прогностических подразделениях для расчета оправдываемости. Эта методика учитывает не только время, но и высоту. Проведенные расчеты показали, что предложенный дистанционный способ успешно спрогнозировал обледенение ВС как по формуле Годске, так и по модели Шульца–Политович.

*Ключевые слова:* обледенения воздушных судов, предупрежденность наличия явления, успешность прогноза, формула Годске, модель Шульца–Политович; aircraft icing, phenomenon presence warning, forecast accuracy, the Godske formula, the Schulz–Politovich model.

Одной из особенностей прогнозирования метеорологического состояния атмосферы во время взлета и посадки воздушного судна (ВС) является то, что ВС летит с огромной скоростью на высотах, близких к поверхности земли, и на принятие решений экипажу остается мало времени. Поэтому информация о состоянии атмосферы должна быть точной и полученной с высоким пространственно-временным разрешением [1, 2].

Метеорологический температурный профилимер МТР-5РЕ, который представляет собой радиометрический прибор дистанционного зондирования атмосферы [3], позволяет получить требуемое пространственно-временное разрешение, соответствующее изменениям атмосферных условий во время обледенения при взлете и посадке. В работе [4] предложен дистанционный способ определения пространственных зон вероятного обледенения при взлете и посадке ВС с использованием формулы Годске [5] и модели Шульца–Политович [6].

В настоящем сообщении представлены результаты исследований предупрежденности, которая

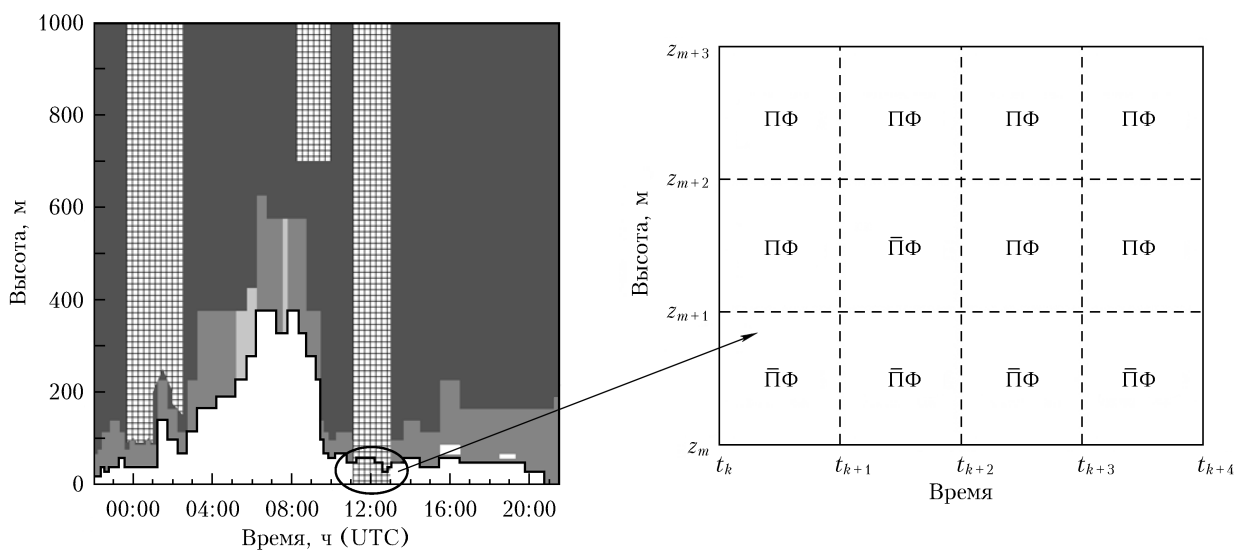
может служить количественным критерием успешности прогноза опасного явления с помощью данного дистанционного способа [7].

Рассмотрим в качестве примера прогноз по модели Шульца–Политович обледенения ВС, которое фактически наблюдалось 17.03.2013 г. в международном аэропорту Томска. Результаты прогноза представлены на рисунке, где показаны пространственные зоны возможного обледенения ВС. Прогноз получен для равномерной сетки по высоте и во времени с использованием технологии экстраполяции измерений профиля температуры с помощью МТР-5РЕ.

Будем считать прогноз успешным в конкретной ячейке, если прогноз обледенения (П) совпал с фактической погодой (Ф), т.е. наличием обледенения ВС, а неуспешным при ошибочном прогнозе ( $\bar{П}$ ). Количественной оценкой прогноза обледенения ВС, выполненного с использованием дистанционного способа [7] по формуле Годске [5] или модели Шульца–Политович [6], является предупрежденность случаев с явлением  $П_я$ , выраженная в процентах:

$$П_я = \frac{n_{ПФ}}{n_Ф} \cdot 100\%, \quad (1)$$

\* Владимир Владимирович Зуев (vvzuev@imces.ru); Дарья Петровна Мордус (Dariymordus@gmail.com); Алексей Валерьевич Павлинский (wf@inbox.ru).



Прогноз пространственных зон возможного обледенения ВС (серый, темно-серый и светло-серый цвет, см. [4]) и фактическое обледенение ВС (сетка) (слева) и схема расчета предупрежденности наличия явления (обледенения) (справа)

где  $n_{\text{ПФ}}$  — число ячеек, в которых оправдался прогноз обледенения ВС;  $n_{\text{Ф}}$  — фактическое число ячеек, в которых наблюдалось явление. Предупрежденность случаев с явлением — это наиболее объективный параметр оценки качества прогноза, отражающий успешность прогноза обледенения ВС. Определение (1) в полной мере совпадает с методикой, принятой АМСГ Томск и ЗАМЦ Новосибирск для оценки успешности прогноза обледенения ВС с интервалом времени 12 ч. Расчет данного показателя соответствует руководящему документу РД 52.27.284-91 [8].

На рисунке слева видно, что 17.03.2013 г. в международном аэропорту Томска были зафиксированы три периода обледенения ВС. В первые два периода количество успешно спрогнозированных опасных метеорологических явлений совпадает с количеством наблюдавшихся случаев обледенения ВС. Третий период характеризуется тем, что обледенение наблюдалось в области от поверхности земли до высоты 1000 м, а прогнозировалось от 30–60 м до высот 1000 м в зависимости от времени. На рисунке слева эллипсом показана данная область, ячейки сетки которой схематически представлены на рисунке справа. Видно, что в ячейках, близких к поверхности земли, спрогнозировать правильно явления обледенения ВС не удалось, т.е. реализовалась ситуация П, Ф, а выше наблюдался успешный прогноз П, Ф.

При вычислении предупрежденности случаев с явлением обледенения ВС преобразуем формулу (1), введя размер подсеточной ячейки прогноза на рисунке справа  $\Delta s = \Delta z \Delta t$ , где  $\Delta z = z_{m+1} - z_m$  — шаг по высоте;  $\Delta t = t_{k+1} - t_k$  — шаг по времени, соответствующие вертикальному и временному разрешению измеряемого профиля температуры:

$$P_{\text{я}} = \frac{n_{\text{ПФ}}}{n_{\text{Ф}}} \cdot 100\% = \frac{n_{\text{ПФ}} \Delta s}{n_{\text{Ф}} \Delta s} \cdot 100\% = \frac{S_{\text{ПФ}}}{S_{\text{Ф}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $S_{\text{ПФ}}$  — площадь ячеек, в которых оправдался прогноз обледенения ВС;  $S_{\text{Ф}}$  — площадь ячеек, в которых наблюдалось явление.

Из формулы (2) следует: для определения величины предупрежденности достаточно рассчитать площади ячеек, в которых успешно спрогнозировано опасное метеорологическое явление, и площади ячеек наблюдавшихся случаев обледенения ВС. Результаты расчета предупрежденности случаев с обледенением ВС получены для аэропорта Томска за один год (с октября 2012 г. по сентябрь 2013 г.) и аэропорта Новосибирска за январь 2015 г. и представлены в таблице. Выбор временных промежутков связан с проведением экспериментов в данных аэропортах. Видно, что предупрежденность этого явления, рассчитанная по формуле Годске, имеет порядок 80%, а для модели Шульца–Политович — 90% и выше.

Степень предупрежденности случаев с обледенением ВС, %

Метод расчета	Томск	Новосибирск
Формула Годске	83,4	78,7
Модель Шульца–Политович	88,7	99,6

Таким образом, предложенный дистанционный способ [7] имеет высокую степень надежности при прогнозировании пространственных зон вероятного обледенения при взлете и посадке ВС.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-80051.

1. Reehorst A.L., Brinker D.J., Ratvasky T.P. The NASA Icing Remote Sensing System // 11th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology. 2005. P. 80776.
2. 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.
3. *Kadygrov E.N., Pick D.R.* The potential for temperature retrieval from an angular-scanning single-channel microwave radiometer and some comparisons with *in situ* observations // *Meteorol. Appl.* 1998. V. 5, N 4. P. 393–404.
  4. *Зуев В.В., Нахтигалова Д.П., Шелехов А.П., Шелехова Е.А., Павлинский А.В., Баранов Н.А., Кижнер Л.И.* Применение метеорологического температурного профилера 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.
  5. *Богаткин О.Г.* *Авиационная метеорология: учеб.* СПб.: РГГМУ, 2005. 328 с.
  6. *Schultz P., Politovich M.K.* Toward the Improvement of Aircraft-Icing Forecasts for the Continental United States // *Weather Forecast.* 1992. V. 7. P. 491–500.
  7. *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.; Ин-т мониторинга климатических и экологических систем СО РАН. № 2014154535/28; Заявл. 30.12.14; Опубл. 10.04.16. Бюл. № 10.
  8. *РД 52.27.284-91.* Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200068360> (дата обращения: 4.03.2019).

*V.V. Zuev, D.P. Mordus, A.V. Pavlinskii.* **Verification of aircraft icing forecast based on the atmospheric radiometry remote method.**

The results of verification of the aircraft icing forecast based on the remote method for determining the areas of potential icing in the lower kilometer layer, are presented. The evaluation was carried out on the basis of the calculation of the presence warning of the dangerous meteorological phenomenon, in this case, the icing of the aircraft. The method of calculating of the phenomenon presence warning, which corresponds to the method used in the aviation forecasting units for the calculation of accuracy, is described. The proposed method takes into account not only time but also height. The calculations showed that the proposed remote method successfully predicted aircraft icing hazard, both using the Godske formula and the Schulz–Politovich model.