 © Авторы статьи / Authors of the article

НАУКИ ОБ АТМОСФЕРЕ И КЛИМАТЕ/ATMOSPHERIC AND CLIMATE SCIENCES

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.29 EDN: HMTBSY

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОРНИТОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ В РАЙОНЕ АЭРОПОРТА ПУЛКОВО

Научная статья

Заболотников Г.В.[1, *], Константинов О.Д.[2], Моисеева Н.О.[3]

[1, 2, 3] Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (zabolotnicovgv[at]mail.ru)

Предложена: 17.09.2026; Принята: 10.11.2026; Опубликована: 17.11.2026

Аннотация

В статье проанализирована совокупность метеорологических условий и явлений погоды, влияющих характер орнитологической обстановки в районе аэропорта. В целях разработки подходов к прогнозу орнитологической обстановки на основе учета влияния погодных факторов в исследовании на примере аэропорта Пулково произведена оценка зависимости зарегистрированных событий столкновений воздушных судов с птицами от сопутствующих метеорологических условий и явлений погоды. Дальнейшие исследования в направлении снижения рисков и последствий столкновения самолетов с птицами, предполагают совершенствование существующих методов оперативного прогноза орнитологической обстановки на основе использования полученных зависимостей.

Ключевые слова: метеорологические условия, столкновение ВС с птицами, орнитологическая обстановка, орнитологическое обеспечение полетов, безопасность полетов.

ANALYSIS OF THE IMPACT OF METEOROLOGICAL CONDITIONS ON THE ORNITHOLOGICAL SITUATION IN THE AREA AROUND PULKOVO AIRPORT

Research article

Zabolotnikov G.V.[1, *], Konstantinov O.D.[2], Moiseeva N.O.[3]

[1, 2, 3] Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (zabolotnicovgv[at]mail.ru)

Suggested: 17.09.2026; Accepted: 10.11.2026; Published: 17.11.2026

Abstract

The article analyses the range of meteorological conditions and weather phenomena that influence the nature of the ornithological situation near the airport. With a goal of developing approaches to forecasting the ornithological situation by considering the influence of weather factors, this research, using Pulkovo Airport as a case study, assesses the relationship between recorded bird strikes and the accompanying meteorological conditions and weather phenomena. Further research aimed at reducing the risks and consequences of bird strikes with aircraft involves refining existing methods for the operational forecasting of the ornithological situation, based on the correlations identified.

Keywords: weather conditions, bird strikes, ornithological situation, ornithological flight support, flight safety.

Введение

Среди множества факторов, представляющих угрозу для функционирования воздушного транспорта выделяется ряд событий, которые по причине биологической составляющей их возникновения не могут быть с достаточной точностью спрогнозированы. Одним из видов такого рода происшествий являются столкновения воздушного судна (ВС) с птицами (международное профессиональное обозначение таких фактов — *Bird Strike)*. [1]. Статистика авиационных происшествий орнитологического характера определяется комплексом взаимосвязанных, а зачастую взаимообусловленных технологических, биологических, экологических, физико-географических, временных (сезонных) и климатических факторов, которые непосредственно влияют как на вероятность, так и на тяжесть последствий событий Bird Strike [2], [3]. Несмотря на усилия, предпринимаемые мировым авиационным сообществом начиная с 60-х годов прошлого века по решению проблемы снижения рисков и опасностей, обусловленных столкновением ВС с птицами, проблема Bird Strike еще далека от решения. Более того, по мере увеличения объемов перевозок воздушным транспортом, увеличения интенсивности воздушного движения, открытия авиамаршрутов, она становится более острой. Так, по информации Международной организации гражданской авиации (International Civil Aviation Organization, (ICAO)), за семь лет в 105 государствах мира зарегистрировано 97 751 случаев столкновения ВС с представителями пернатых. Примерно в половине случаев (56 093 инцидента) сообщается о наличии повреждений воздушных судов различного характера после встречи с животными [4]. По некоторым оценкам, ежегодный ущерб от столкновений воздушных судов с птицами составляет порядка 610 млн долларов США [5]. Негативная тенденция увеличения количества случаев столкновения ВС с птицами наблюдается и в нашей стране. Так по данным Федерального агентства воздушного транспорта Российской Федерации (Росавиации) количество событий *Bird Strike* с ВС ГА на территории РФ стабильно росло в последние годы. Так, в 2022 году в Росавиации зарегистрировано 941

 © Авторы статьи / Authors of the article

сообщений о случаях столкновения ВС с птицами, в 2023 году — 1094, в 2024-м — 1576 и в 2025 году — 1848 сообщений соответственно [6]. Частота столкновений ВС с птицами имеет прямую нелинейную зависимость от интенсивности (плотности) полетов птиц по причине того, что с увеличением количества птиц в воздухе риски и фактическое число событий Bird Strike резко возрастают. При этом необходимо учитывать, что интенсивность (плотность) полетов (пролета) птиц как количественный показатель, отражающий число птиц, пересекающих определенный объем воздушного пространства за единицу времени, применительно к конкретному виду самолетоопасных птиц зависит от множества факторов. С точки зрения комплексного учета рисков, обусловленных с характером поведения и интенсивностью полетов птиц, в задачах обеспечения безопасности полетов ГА широко используется понятие «Орнитологическая обстановка». В этом контексте орнитологическая обстановка представляет собой совокупность условий в определенном районе полетов (преимущественно в пределах аэродрома и на прилегающей к нему территории), определяемая наличием, численностью, размещением и характером поведения птиц, которые в процессе своей жизнедеятельности могут представлять угрозу летных происшествий вследствие столкновения ВС с представителями пернатых. Как следует из проведенного авторами анализа совокупности факторов, влияющих на характер текущей орнитологической обстановки, большинство из них взаимозависимы и взаимообусловлены. В первую очередь это относится к метеорологическим условиям, которые прямо или косвенно, в той или иной степени обуславливают характер и степень воздействия практически каждого из рассмотренных выше факторов на текущее состояние орнитологической обстановки в районе аэропорта.

Состояние исследуемой проблемы

Непосредственной причиной влияния метеорологических факторов на степень опасности, обусловленной столкновениями ВС с птицами, является то, что они в значительной степени определяют поведение, высоту полета, активность и маршруты миграции пернатых. Изменения метеорологических условий способны как резко повысить вероятность событий Bird Strike в районе аэродромов и на маршрутах полетов ВС по причине увеличения интенсивности полетов и сезонных перелетов пернатых, так и существенно сократить риски столкновения самолетов с птицами вследствие снижения активности птиц до минимума. Например, в условиях сильного тумана, интенсивного и продолжительного дождя и т.п. [7].

Из всей совокупности метеорологических условий и явлений погоды к ключевым метеорологическим факторам влияющих на интенсивность полетов птиц, в первую очередь необходимо отнести:

- ветер у земли и на высотах;
- вертикальные потоки воздуха в нижнем слое атмосферы;
- характеристики облачности;
- полетную видимость;
- вид и интенсивность осадков;
- температуру воздуха.

Исходя из этого по мнению авторов, одним из перспективных направлений совершенствования существующей системы орнитологического обеспечения полетов гражданской авиации [8], [9] в направлении реализации биологического подхода к решению сложной биотехнической проблемы обеспечения безопасности полетов в орнитологическом отношении, является учет текущих и прогнозируемых метеорологических условий как при организации орнитологического обеспечения полетов, так и воздушного движения в районе аэропорта в целом. Применительно к задачам для обеспечения безопасности и регулярности полетов, снижения колоссальных финансовых издержек авиакомпаний [1], [10] актуальность прогноза орнитологической обстановки обусловлена возможностью снижения рисков столкновения воздушных судов с птицами.

Актуальность проведения исследований по совершенствованию методик прогноза орнитологической обстановки критически важна для обеспечения безопасности полетов по следующими причинам.

Во-первых, своевременное оперативное информирование (предупреждение) экипажей ВС и специалистов ОрВД об усложнении орнитологической обстановки позволяет своевременно корректировать маршруты, эшелоны полетов, траектории взлета и заходы на посадку ВС.

Во-вторых, появляется возможность управления рисками в отношении событий Bird Strike. Прогнозы всплеска активности местных полетов птиц и усиление сезонного пролета мигрирующих пернатых позволяют операторам аэродромов оперативно корректировать программы обеспечения безопасности полетов, принимать экстренные меры по активации системы борьбы с птицами, привлекать дополнительный наряд сил и средств для отпугивания птиц.

В связи с тем, что одним из ключевых факторов, оказывающим непосредственное влияние на состояние орнитологической обстановки в районе аэродрома, являются погодные условия, представляется целесообразным разработать методику прогноза орнитологической ситуации на основе учета метеоусловий. Для этого в первую очередь целесообразно проанализировать влияние как отдельных явлений погоды, так и метеорологических условий в целом на повторяемость событий Bird Strike. При этом следует учитывать тот факт, что каждый конкретный аэропорт с точки зрения складывающейся на его территории и примыкающей к нему части воздушного пространства орнитологической обстановки во многом уникален. Причинами это являются совокупность специфических физико-географических, климатических, экологических и техногенных условий, определяемых преимущественно его месторасположением. В данном исследовании предпринята попытка провести оценку влияния метеорологических факторов на орнитологическую обстановку на примере аэропорта Пулково. В ранее проведенных исследованиях подобного рода преимущественно оценивалось влияние метеорологических условий на интенсивность перелетов птиц в период сезонных миграций. Выводы данных исследований неоднозначны, а зачастую и противоречивы [11].

В настоящее время за рубежом активно развивается новое направление орнитологического обеспечения безопасности полетов, заключающееся в разработке прогнозов риска столкновений воздушных судов с птицами (Bird

 © Авторы статьи / Authors of the article

Strike) на основе использования методов машинного обучения (Machine Learning, ML) и глубокого обучения (Deep Learning, DL). В качестве предикторов, напрямую влияющих на суточную активность и интенсивность миграции птиц, используются такие метеорологические параметры как температура и влажность воздуха, атмосферное давление, направление и скорость ветра [12], [13].

Наиболее релевантными работами по данному направлению исследований, являются публикации [13], [14]. В ходе работы авторы объединили 12 пространственно-временных метеорологических параметров с историческими данными о столкновениях ВС с птицами на четырех различных аэродромах. Целевая переменная риска классифицировалась по трем уровням (низкий, умеренный, критический) на основе моделей ВВС США (AHAS NEXRAD). В рамках исследования были использованы рекуррентные нейросети с долгой краткосрочной памятью (LSTM-RNN), деревья решений XGBoost и Байесовские сети (BNN). Наивысшую эффективность показала ансамблевая модель (LSTM-RNN + XGBoost), которая обеспечила точность от 80% до 93% при прогнозировании риска событий Bird Strike на 3 часа вперед. Сеть LSTM отлично улавливала временные зависимости в метеорологических рядах, а XGBoost компенсировал несбалансированность выборки редких событий [13], [14].

В работах [15], [16] описана система поддержки принятия решений для воздушного транспорта. Модель на базе калиброванных вероятностей интервенции обучалась на массиве данных Европейского агентства безопасности авиации (EASA) за период с 2019 по 2024 год. В качестве входных переменных был использован комплекс метеорологических данных, астрономические параметры (фазы луны) и интенсивность трафика воздушного движения. Алгоритм сфокусирован на прогнозировании краткосрочной вероятности столкновения ВС с птицами и оценке потенциального масштаба ущерба.

Другим перспективным направлением современных исследований по предотвращению столкновений ВС с птицами является не просто оценка абстрактного риска, а пошаговое прогнозирование координат траектории движения птиц в районе ВПП посредством LSTM [17]. Использование LSTM-модели позволило предсказывать траекторию полета птиц с минимальной средней абсолютной ошибкой (MAE менее 100 метров), значительно превзойдя классические регрессионные методы. Интеграция данных о фиксации стай с такими метеорологическими предикторами как характеристики ветра и термических потоков воздуха позволяет предотвращать столкновения ВС с птицами в зонах аэропортов на основе динамического моделирования безопасных интервалов между вылетами в периоды повышенной активности птиц (например, в международном аэропорту Кливленда Хопкинс).

В настоящее время ведущими орнитологами мира активно исследуется проблема влияния глобального потепления климата на миграцию птиц. Все ключевые исследования влияния в этой области можно условно разделить следующим по направлениям.

1. Изменение сроков (фенологии) миграции и гнездования. Основополагающими считаются работы ведущего российского орнитолога Л. В. Соколова. В частности, его исследование [18], в котором на основе многолетних данных изучения миграции птиц на Куршской косе подробно описано, как весеннее потепление сдвигает прилет птиц на более ранние даты. Кроме того, в ставшей классической по данному направлению работе [19], описан феномен «экологического рассинхрона» (phenological mismatch). Птицы прилетают позже того момента, когда из-за раннего потепления происходит пик появления гусениц, что лишает птенцов корма.

2. Изменение графиков миграционных перелетов птиц в Арктике. В работе [20] ученые проанализировав более 500 миграций казарок и гусей, выяснили, что из-за быстрого таяния снегов в Арктике в период весенней миграции птицам приходится лететь значительно быстрее, сокращая время остановок на кормежку и отдых.

3. Сокращение расстояний миграции птиц. Так, в работе [21] исследователи доказали, что за последние 70 лет из-за более мягких зим в Северо-Западной Европе многие виды птиц стали выбирать места для зимовки гораздо ближе к своим местам гнездования. Более того, в ходе масштабных международных научных исследований на основе анализа данных за последние 50 лет (период с 1970 по 2019 годы), произведена оценка влияния глобального потепления климата на размножение птиц [22]. Ключевой вывод работы состоит в том, что из-за происходящих изменений климата общее производство потомства у птиц снижается. Сильнее всего из-за повышения температуры атмосферы страдают как крупные виды (из-за медленной адаптации), так и перелетные (мигрирующие) птицы (по причине влияния факторов риска, обусловленных возвратными весенними заморозками).

Одним из недостатков предыдущих исследований является то, что интенсивность (активность) полетов птиц оценивалась преимущественно по данным визуальных наблюдений за поведением пернатых, имеющих ряд ограничений с точки зрения объективности и качества наблюдений. Визуальные наблюдения — как классический метод учета и мониторинга активности птиц применительно к оценке орнитологической обстановки на объектах повышенной опасности, включая аэродромы, имеет следующие недостатки:

- человеческий фактор при производстве исследований;
- временные ограничения при проведении мониторинга;
- зависимость от погодных условий;
- ограниченный сектор наблюдений;
- трудности обнаружения и идентификации представителей пернатых;
- субъективность оценок;
- интервальность (фрагментарность) наблюдений и др. [23].

Исходя из вышесказанного можно констатировать, что визуальные наблюдения во многом являются качественными (но не количественными), субъективными и носят секторный характер. В том числе по причине отсутствия объективных круглосуточных данных визуальных наблюдений за орнитологической обстановкой в исследовании предпринята попытка оценки влияния погодных факторов на орнитологическую обстановку на основе комплексных исследований статистических данных столкновений самолетов с птицами на примере аэропорта Пулково. При этом необходимо учитывать, что статистика столкновений ВС с птицами отражает реальные

 © Авторы статьи / Authors of the article

авиационные инциденты. В то время как мониторинг полетной активности птиц посредством проведения визуальных наблюдений показывает потенциальную угрозу полетам самолетов в воздушном пространстве аэропорта. Хотя эти два понятия тесно связаны, они имеют принципиальные различия в целях анализа, методах сбора данных и практическом применении полученной информации.

Тем не менее интенсивность полетов птиц в воздушном пространстве аэропорта является определяющим фактором характера орнитологической обстановки. Основными причинами высокой степени корреляции между высокой активностью (интенсивностью) полетов птиц и повышенными показателями статистических данных столкновений самолетов с птицами являются:

1. Фактор высоты и времени: птицы могут совершать массовые миграционные перелеты на высотах порядка 1500–3000 м, создавая пик активности, например, в ночное время. Однако самолеты пересекают при наборе высоты или снижении этот слой относительно быстро, поэтому статистика столкновений для данных высот ниже, чем у земли, где птиц в темное время суток птиц значительно меньше, но вероятность столкновения выше по причине высокой плотности ВС в приземном слое, совершающих операции взлетно-посадочного цикла.

2. Эффективность орнитологического обеспечения безопасности полетов в аэропорту. При качественном, научно обоснованном проведении оператором аэропорта мероприятий по снижению численности птиц и активной работе всех средств их отпугивания — даже в периоды высокой активности пернатых в регионе — большинство из них избегает полетов в воздушном пространстве аэродрома и его пересечения. В итоге статистика инцидентов, связанных со столкновениями с птицами, в районе аэропорта снижается до минимальных значений.

3. Смещения пиков активности полетов птиц и летной работы аэропорта. Максимум активности полетов птиц зависят от времени суток, хода весенней и осенней миграции, жизненного цикла пернатых, временных периодов становления на крыло молодых птиц. В то же время пики активности летной работы аэропорта распределяются по нескольким временным циклам: суточному, недельному и сезонному. Основная нагрузка приходится на периоды массовых отпусков, праздничных и выходных дней, а также на утренние и вечерние часы. Поэтому, даже в периоды низкой полетной активности птиц, но интенсивной работы аэропорта по причине большого количества выполняемых ВС взлетно-посадочных операций, риски столкновения самолетов птиц остаются достаточно высокими.

Орнитологическую обстановку с точки зрения влияния на безопасность полетов воздушных судов (ВС) ранжируют на три основные категории: благоприятная, удовлетворительная и сложная. Оценка базируется на учете интенсивности миграционных перелетов, плотности видового распределения птиц, а также их локализации критических зон аэродрома [24]. Детальная классификация орнитологической обстановки по степени опасности для полетов ВС определяется следующим:

· Благоприятная, когда наблюдаются незначительные перемещения птиц или вовсе отсутствуют. Плотность распределения птиц в воздушном пространстве аэродрома и прилегающей к нему территории не создает значительных угроз для столкновения с ВС. Специальные меры реагирования по отпугиванию птиц на аэродроме не требуются. Необходимо проведение регулярного мониторинга активности и интенсивности местных полетов птиц.

· Удовлетворительная (нейтральная), при которой интенсивность полетов и перемещений птиц находится в пределах средних значений. В светлое время суток отмечаются локальные скопления птиц и умеренный поток сезонных перелетов стай мигрантов. В качестве мер реагирования требуется эпизодическое проведение дополнительных мероприятия по отпугиванию птиц и отдельные мероприятия по снижению привлекательности территории аэропорта для птиц (например, корректировка высоты скашивания травы) [24].

· Сложная — характеризуется массовым скоплением пернатых как в районе ВПП, МРД, РД, а также в воздушном пространстве аэродрома, подходах к нему, на траекториях набора высоты и на глиссадах снижения ВС. Включает присутствие крупных стай самолетоопасных птиц (чайковых, врановых, утиных, гусиных и т.п.), совершающих местные полеты и перелеты в приземном слое, а также интенсивный транзитный перелет стай мигрантов. Требуется активная реализация всего спектра мероприятий по орнитологическому обеспечению полетов в целях предотвращения столкновений ВС с птицами [24], [25].

С другой стороны, ранжирование метеорологических условий по принципу их влияния на степень сложности орнитологической обстановки диктует необходимость их деления на несколько основных категорий по степени влияния погодных факторов на активность жизнедеятельности птиц. При этом необходимо учитывать, что метеорологические условия напрямую определяют характер поведения птиц в районе аэродрома, интенсивность и высоту как местных полетов птиц в районе аэродрома, так и сезонных перелетов птиц, а также ход миграций птиц (прохождение волн миграции) в целом. Метеоусловия по степени опасности (уровню угроз) для полетов ВС в орнитологическом отношении условно можно разделить на:

· Благоприятные, создающие минимальные риски угрозы столкновения ВС с птицами. К этой категории необходимо отнести следующие явления погоды:

- сильный порывистый ветер (для миграционных перелетов — сильный ветер встречных направлений на традиционных высотах, используемых птицами для совершения сезонных перелетов);
- все явления (интенсивный туман, осадки, мгла и т. п.), ограничивающие полетную видимость в приземном слое;
- интенсивные продолжительные осадки, способствующие намоканию перьев большинства видов птиц;
- сплошная низкая облачность с выпадающими осадками.

В такую погоду птицы сокращают интенсивность полетов до минимальных значений, совершая отдельные непродолжительные перелеты у самой земли, или прекращают полеты, прячась в укрытиях, что в целом снижает риски событий *Bird Strike* на всех эшелонах полета ВС.

· Умеренно опасные, при которых птицы совершают обычные для текущего периода годовой активности кормовые и местные полеты и перелеты. К этому классу относятся следующие условия погоды: переменная и незначительная облачность нижнего яруса, слабый ветер, отсутствие или слабые осадки с перерывами.

 © Авторы статьи / Authors of the article

· Повышенной опасности (критические). К этому типу погодных условий целесообразно отнести: – слабый ветер у земли и на высотах, – ясная и малооблачная теплая погода (в течение всего года), – весной и осенью слабый попутный ветер на основных эшелонах сезонных маршрутов перелетов мигрирующих птиц. Данные метеорологические условия в общем способствуют как повышению интенсивности полетов местных птиц, так и активизации хода миграции: прохождения волн весенней миграции птиц и пиковую активность осеннего пролета отдельных видов птиц на различных высотах.

При этом отдельно необходимо учитывать влияние метеорологических условий на активность птиц с различными типами полета. Условия погоды, благоприятные для активных полетов крупных птиц (сухопутных хищников, падальщиков, аистов, пеликанов), использующих преимущественно парящий тип полета, наблюдаются в неустойчивых воздушных массах, в которых интенсивный прогрев подстилающей поверхности в дневное время способствует развитию конвекции и образованию внутримассовой облачности кучевых форм. В таких условиях крупные птицы-парители, используя интенсивные восходящие потоки воздуха на больших участках территории, в поисках пищи или при выполнении сезонных перелетов поднимаются на высоты до 1–3 км. Благоприятными условиями для полетов мелких и водоплавающих птиц, с характерным для данных видов пернатых машущим полетом, являются: устойчивые воздушные массы и отсутствие сильной турбулентности. В то же время необходимо акцентировать внимание на том, что предложенная классификация представляет собой полную противоположность (является антиподом) традиционной классификации метеорологических условий по степени сложности для выполнения полетов ВС на Простые метеоусловия (ПМУ) и Сложные метеоусловия (СМУ).

Материалы и методы исследования

На первом этапе для оценки взаимосвязи текущих метеоусловий со складывающейся орнитологической обстановкой в районе аэродрома в целях выработки подходов к разработке оперативных прогнозов орнитологической обстановки на основе учета влияния погодных факторов, целесообразно проанализировать влияние отдельных явлений погоды и метеорологических условий на частоту столкновений ВС с птицами. Для этого в представленном исследовании проанализирована корреляция повторяемости столкновений ВС с птицами в районе аэропорта Пулково по отношению к следующим метеорологическим явлениям и условиями погоды в зависимости от:

· скорости ветра у земли;
· атмосферного давления;
· количества облачности верхнего и среднего яруса;
· количества облачности нижнего яруса и вертикального развития;
· высоты нижней границы облаков;
· видимости у земли;
· наблюдаемых явлений погоды.

Для исследования взаимосвязей столкновений ВС с птицами в районе аэропорта Пулково с погодными факторами использовалась база данных зафиксированных событий Bird Strike за период с 2021 по 2025 гг., предоставленная Группой Авиационной Орнитологии ООО «Воздушные Ворота Серной Столицы». Используемая выборка случаев столкновения репрезентативна, соответствует требованиям непрерывности, полноты собираемых параметров и методологическим основам для дальнейших исследований. Общий объем выборки событий обусловлен количеством зарегистрированных случаев столкновения ВС с птицами в районе аэропорта Пулково за период 2021 – 2025 гг. и составил 298 событий Bird Strike. При этом авторы допускают наличие потенциальных ограничений в используемой выборке. Исходная база содержит только официально зарегистрированные инциденты, в то время как часть столкновений самолетов с птицами может оставаться неучтенной по субъективным причинам. Например, когда ВС не получило видимых повреждений. Точное количество незарегистрированных случаев определить невозможно из-за отсутствия официальной статистики. Поэтому необходимо учитывать, что скрытые инциденты в определенной степени влияют на точность и качество полученных результатов.

Для исследования зависимостей столкновений ВС с птицами в районе аэропорта Пулково в привязке к сопутствующим условиям погоды использовались данные метеонаблюдений из дневника погоды АВ-6 АМЦ аэропорта Пулково за период с 2021 по 2025 гг. Используемая выборка метеорологических параметров полностью соответствует требованиям Всемирной метеорологической организацией (ВМО) по обеспечению репрезентативности, дискретизации, статистической однородности, непрерывности и точности метеорологических измерений.

Полученные результаты и их обсуждение

Из анализа повторяемости столкновений самолетов с птицами в зависимости от количества облачности верхнего и среднего яруса выявлены следующие зависимости (Рис. 1).

 © Авторы статьи / Authors of the article

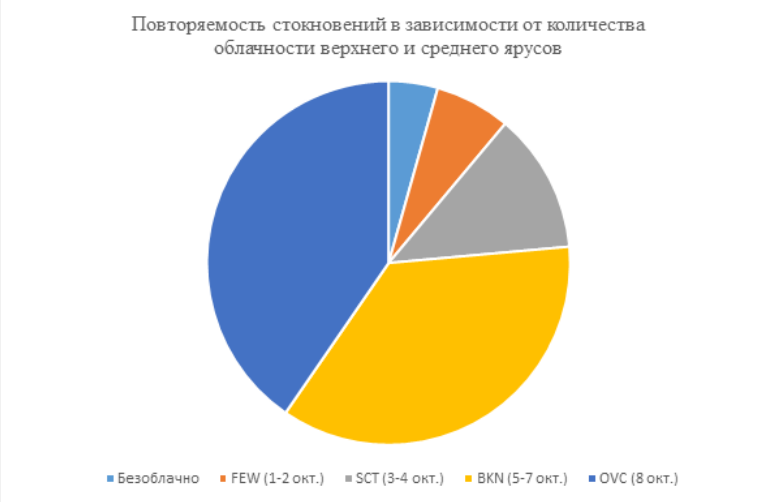


Рисунок 1 - Зависимость повторяемости столкновений ВС с птицами от количества облачности верхнего и среднего яруса в аэропорту Пулково в градациях сводок погоды METAR и TAF
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.29.1

Полученные в ходе проведенного математического анализа значения коэффициентов Пирсона и Спирмена свидетельствуют о статистически значимой тесной положительной связи между количеством облачности верхнего и среднего яруса и повторяемостью столкновений ВС с птицами в аэропорту Пулково (r=0,787; r_s=0,817 соответственно). Анализ данных показал, что при количестве облачности верхнего и среднего яруса 0–5 октантов повторяемость столкновений относительно стабильна и невысока. Резкий рост начинается с 6 октантов и особенно выражен при сплошной облачности (8 октантов). Что позволяет сделать вывод о нелинейном характере зависимости. Наибольшее количество столкновений ВС с птицами наблюдается при сплошной облачности (*OVC* — 8 окт.): до 40% и более. При таком состоянии небосвода, полностью закрытого облачностью верхнего и среднего яруса, значительно возрастают риски столкновения ВС с птицами, обостряя (усугубляя) характер орнитологической обстановки в районе аэродрома до категории «сложной». При значительной (разорванной) облачности *(BKN* — 5–7 окт.) – в совокупности происходит до 35 % всех случаев столкновений самолетов с птицами. Такое состояние небосвода по количеству облачности верхнего и среднего яруса как фактор погоды снижает степень опасности орнитологической обстановки до категории «удовлетворительная». При состоянии небосвода, при котором облачностью верхнего и среднего яруса закрыто до 4 октанов его площади (*SCT* и менее), отмечена повторяемость до 22% всех случаев событий *Bird Strike*. Исходя из предложенной идеологии классификации сложности орнитологической обстановки в зависимости от условий погоды, такое количество облачности верхнего и среднего яруса можно рассматривать как фактор погоды, определяющий степень ее опасности соответствующий категории «благоприятная».

Из анализа повторяемости столкновений самолетов с птицами в зависимости от количества облачности нижнего яруса выявлены следующие взаимосвязи (Рис. 2).

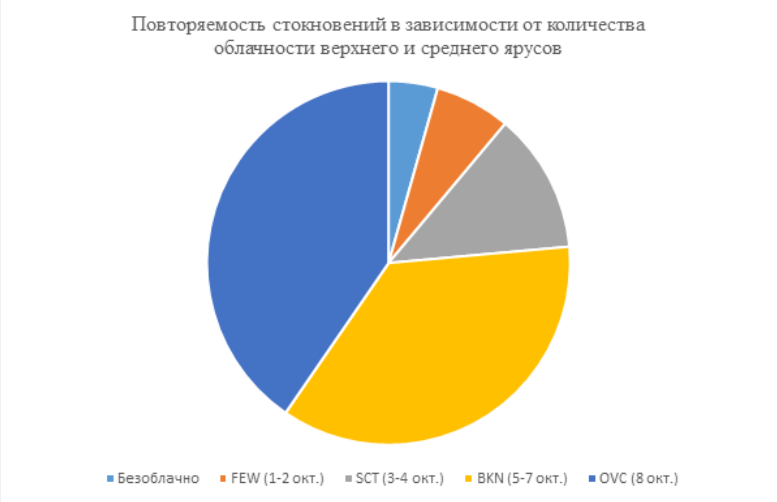


Рисунок 2 - Зависимость повторяемости столкновений ВС с птицами от количества облачности нижнего яруса и вертикального развития в аэропорту Пулково в градациях сводок погоды METAR и TAF
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.29.2

 © Авторы статьи / Authors of the article

Результаты выполненного корреляционного анализа зависимости повторяемости столкновений ВС с птицами от количества облачности нижнего яруса в аэропорту Пулково в отличие от степени покрытия небесного свода облаками верхнего и среднего яруса, не подтверждают наличие статистически значимой связи. При этом наибольшее количество столкновений ВС с птицами наблюдается при отсутствии облачности нижнего яруса: порядка 39% всех случаев. Как следствие, при полном отсутствии облачности нижнего яруса, риски столкновения ВС с птицами достигают максимальных значений. Что позволяет отнести соответствующую данному погодному фактору орнитологическую обстановку в районе аэродрома к категории «сложной». Явной закономерности зависимости повторяемости случаев столкновения самолетов с птицами от количества облачности нижнего яруса не прослеживается (не выявлено). Повторяемость событий Bird Strike бессистемно распределяется во всем диапазоне вариантов присутствия облачности нижнего яруса и вертикального развития в пределах от 3,5% при ее количестве в 1 окт. до 14% при количестве 2 октанта. Поэтому, присутствие на небосводе любого количества облачности нижнего яруса от «незначительной» (1–2 октанта) до «сплошной» (8 октантов) можно рассматривать как фактор погоды, определяющий степень опасности орнитологической обстановки по категории «удовлетворительная».

С точки зрения влияния нижней облачности на характер орнитологической обстановки представляется более актуальным исследование зависимости повторяемости столкновений самолетов с птицами от высоты нижней границы облачности нижнего яруса. В ходе исследования выявлено следующее (Рис. 3).



Рисунок 3 - Зависимость повторяемости столкновений ВС с птицами от высоты нижней границы облачности нижнего яруса и вертикального развития в аэропорту Пулково

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.29.3

Для оценки связи повторяемости столкновений ВС с птицами и высотой нижней границы облачности (ВНГО) нижнего яруса в районе аэропорта Пулково был использован метод аппроксимации. Для описания распределения данных использовалась полиноминальная регрессия второй степени. Полученное значение коэффициента детерминации свидетельствует о том, что более 90% изменений в повторяемости столкновений связано именно с изменением высоты НГО по нелинейному (параболическому закону). Математически доказано, что эта связь не случайная — присутствует четкая колоколообразная зависимость с пиком повторяемости, соответствующей градации высоты НГО 601–1 000 м. Из анализа графика прослеживается хорошо выраженная корреляция повышения повторяемости случаев столкновения самолетов с птицами в зависимости от повышения высоты нижней границы облачности нижнего яруса и вертикального развития. Наибольшее количество столкновений ВС с птицами наблюдается при высоте нижней границы облачности самого низкого яруса более 2500 м над уровнем земли: порядка 43% всех случаев. Как следствие, при полном отсутствии облачности с нижней границей менее 2500 м, риски столкновения ВС с птицами достигают максимальных значений. Что позволяет отнести соответствующую данному погодному фактору орнитологическую обстановку в районе аэродрома к категории «сложной». Градациям высоты нижней границы облачности в пределах от 300–600 м до 1000–1500 м соответствует более 43% повторяемости всех случаев событий Bird Strike. Учитывая это, орнитологическую обстановку по такому погодному фактору, как высота нижней границы облачности, находящаяся в пределах от 300 до 1500 м над уровнем земли, целесообразно отнести к категории «умеренной сложности». С учетом того, что суммарная повторяемость столкновений самолетов с птицами при высоте нижней границы облачности менее 300 м по всем представленным градациям не превышает 13% всех случаев, с учетом значительного снижения рисков событий Bird Strike целесообразно отнести соответствующую орнитологическую обстановку к категории «благоприятная».

Из анализа взаимосвязи повторяемости столкновений самолетов с птицами с таким метеорологическим фактором, как дальность видимости у поверхности земли выявлены следующие зависимости (Рис. 4).

 © Авторы статьи / Authors of the article



Рисунок 4 - Зависимость повторяемости столкновений ВС с птицами от видимости у земли в аэропорту Пулково
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.29.4

Математический анализ исходных данных по аэропорту Пулково выявил монотонную положительную зависимость между повторяемостью столкновений ВС с птицами и видимостью у земли. Рассчитанный коэффициент корреляции Спермина подтверждает наличие сильной положительной связи. Что свидетельствует о том, что с улучшением видимости риск с событий Bird Strike монотонно возрастает, достигая пика повторяемости событий Bird Strike при значениях дальности от 4 до 10 км. Т.е. подавляющее число событий Bird Strike произошло при дальности видимости у земли более 4 км, когда повторяемость столкновений ВС с птицами от умеренной (удовлетворительной) и лучше составила порядка ~ 95%. В качестве вывода необходимо отметить, что погодные условия на аэродроме с видимостью у земли более 4 км земли являются критическим фактором с точки зрения безопасности полетов в орнитологическом отношении. И в этом отношении значительно повышают риски столкновения ВС с птицами, обостряя (усугубляя) характер орнитологической обстановки в районе аэродрома до категории «сложной». Ограниченная (менее 4 км) различными явлениями погоды видимость у земли, как фактор погоды, значительно снижающий интенсивность полетов птиц, уменьшает степень опасности орнитологической обстановки. Суммарная повторяемость случаев столкновения самолетов с птицами по всем градациям видимости у земли в пределах 4 км не превышает 5%. С учетом того, что ограниченная видимость у земли менее 4 км в значительной степени блокирует полеты птиц, целесообразно по интенсивности данного погодного фактора определить категорию орнитологической обстановки как «благоприятная».

Зависимость повторяемости столкновений ВС с птицами аэропорту Пулково при различных явлениях погоды представлена на Рис. 5. Для оценки связи между повторяемостью столкновений ВС с птицами и явлениями погоды, по причине категориального типа данных, был использован бинарный подход и рассчитан коэффициент корреляции Пирсона для бинарных переменных. Полученное значение коэффициент корреляции $R = 0,92$ указывает на очень сильную положительную связь между отсутствием явлений погоды и повторяемостью столкновения с птицами.



Рисунок 5 - Зависимость повторяемости столкновений ВС с птицами аэропорту Пулково при различных явлениях погоды
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.29.5

При этом из анализа рассматриваемой взаимосвязи установлено, что подавляющее количество событий Bird Strike произошло при отсутствии каких-либо явлений погоды (Рис. 5), когда повторяемость столкновений ВС с птицами при отсутствии метеоявлений составила порядка ~ 90%. В качестве вывода необходимо отметить, что погодные условия с отсутствием каких-либо метеорологических явлений у земли являются критическим фактором с точки зрения

 © Авторы статьи / Authors of the article

безопасности полетов по причине значительных рисков столкновения ВС с птицами. Полное отсутствие значимых явлений погоды повышает степень опасности орнитологической обстановки в районе аэродрома до категории «сложная». Учитывая факт, что наличие в районе аэродрома большинства явлений погоды (за исключением гроз с дождем (FZRA) и переохлажденного (замерзающего) дождя (FZRA) (замерзающей мороси (FZDZ) — гололеда)) в сумме составляет менее 1% повторяемости событий Bird Strike целесообразно их рассматривать как фактор погоды, снижающий степень опасности орнитологической обстановки на аэродроме до категории «удовлетворительная» и даже — «благоприятная». С учетом того, что в течение исследуемого периода случаев столкновения ВС с птицами в метеоусловиях на аэродроме в виде грозы с дождем (FZRA) и гололеда (переохлажденного (замерзающего) дождя (FZRA) и замерзающей мороси (FZDZ)) не отмечено, можно утверждать, что данные явления погоды практически блокируют полеты птиц. При этом риски событий Bird Strike снижаются до минимальных значений, упрощая орнитологическую обстановку в районе аэродрома до категории «благоприятная». При этом следует помнить, что данный факт обусловлен не только снижением полетной активности птиц до минимальных значений, но и приостановкой (прекращением) полетов в аэропорту в целях обеспечения безопасности полетов в метеорологическом отношении.

В целях более подробного изучения влияния конкретных явлений погоды на состояние орнитологической обстановки в аэропорту в исследовании произведена оценка повторяемости столкновений ВС с птицами аэропорту Пулково относительно различных явлений погоды, при исключении случаев отсутствия метеоявлений (Рис. 6).



Рисунок 6 - Зависимость повторяемости столкновений ВС с птицами аэропорту Пулково относительно различных явлений погоды, при исключении случаев отсутствия метеорологических явлений

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.29.6

Проведенный математический анализ зависимости случаев столкновения ВС с птицами выявил наличие опосредованной связи.

Кроме того, анализ Рис. 6 подтвердил ранее сделанный вывод о том, что такие наблюдающиеся на аэродроме явления погоды как гроза с дождем (*FZRA*) и гололед в виде переохлажденного (замерзающего) дождя (*FZRA*) и замерзающей мороси (*FZDZ*) являются блокирующим метеофакторам для полетов птиц, упрощая орнитологическую обстановку в районе аэродрома до категории «благоприятная». Наибольшая повторяемость столкновений ВС с птицами (2.7%) наблюдается при дожде (*SHRA*) и снеге (*SHSN*) ливневого характера. Этот факт можно объяснить тем, что осадки данного вида имея кратковременный, локальный (очаговый) характер, достаточно легко обходятся стороной птицами при совершении полетов и перелетов, не оказывая существенного влияния на полетную активность пернатых. С учетом достаточно интенсивных полетов птиц в данных метеорологических условиях целесообразно отнести орнитологическую обстановку по фактору погоды к категории «удовлетворительная». Средний уровень повторяемости столкновений ВС с птицами при таких явлениях погоды как морось (*DZ*) — 0.7%, дождь (*RA*) и снег (SN)/снег с дождем (SNRA) — по 1,3% можно объяснить тем, что данные осадки являются обложными и продолжительными. Их длительное воздействие даже при слабой интенсивности со временем вызывает намокание оперения большинства видов пернатых, лишая их летательных способностей. Что наряду с ухудшением видимости в приземном слое в целом снижает летную активность птиц. С учетом вышесказанного по данным явлениям погоды напряженность орнитологической обстановки в аэропорту целесообразно отнести к категории «удовлетворительная». Относительно высокая суммарная повторяемость событий Bird Strike порядка 4% при таких явлениях погоды, ограничивающих видимость в приземном слое, как туман (FG) и дымка (*BR*), в том числе объясняется фактом, что в данных явлениях оперенье птиц существенно не намокает. Птицы сохраняют способность совершать местные перелеты в районе аэропорта на малых высотах. Орнитологическую обстановку на аэродроме по степени сложности по данным явлениям погоды целесообразно отнести к категории «удовлетворительная». Относительно низкая суммарная повторяемость столкновений самолетов с птицами (порядка 0,3%) при низовой метели (*BLSN*) и снежном поземке (*DRSN*) объясняется тем, что данные явления в первую очередь обусловлены сильным порывистым ветром у поверхности земли, составляющим более 5–7 м/с, что наряду с ограниченной видимостью в приземном слое существенно снижает активность полетов птиц. Влияние данных погодных факторов снижает напряженность орнитологической обстановки до категории «благоприятная». Однако необходимо помнить, что наличие

 © Авторы статьи / Authors of the article

рассмотренных явлений погоды снижает риски столкновения ВС с птицами до минимальных значений, но не исключает их полностью.

В представленной работе проведено исследование столкновений самолетов с птицами в зависимости от фактического значения атмосферного давления в аэропорту Пулково в момент столкновения в период с 20021 по 2025 гг. (Рис. 7).



Рисунок 7 - Зависимость столкновений ВС с птицами аэропорту Пулково относительно значения атмосферного давления приведенного к уровню моря

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.29.7

На протяжении 5 лет исследования столкновения ВС с птицами происходили в диапазоне значений атмосферного давления на аэродроме в пределах от 978 до 1041 ГПа. В качестве результата исследования, можно отметить, что закономерностей повторяемости столкновений ВС с птицами от величины атмосферного давления в аэропорту Пулково не выявлено. Это положение входит в противоречие с выводами некоторых исследователей о существовании зависимости интенсивности полетов и перелетов птиц от значения атмосферного давления в регионе изучения поведения пернатых [13], [14]. В целях разрешения этого противоречия можно выдвинуть следующую гипотезу относительно влияния атмосферного давления на характер поведения и интенсивность полетов птиц. Активность полетов и перелетов птиц зависит не от абсолютного значения атмосферного давления в исследуемом регионе, а от характера и интенсивности его изменения с течением времени, т.е. барической тенденции. Возможно, на подсознательном уровне по характеру и скорости изменения атмосферного давления, пернатые «чувствуют» изменение хода синоптических процессов, а также краткосрочной и среднесрочной перспективе сопутствующее ухудшение (улучшение) метеорологических условий для полетов и жизнедеятельности в целом. Что заставляет пернатых в целях уклонения от воздействия неблагоприятных погодных условий сработать на опережение: заблаговременно покинуть регион или найти укрытие от непогоды.

В специализированной научно-технической литературе [15], [16], [17], посвященной вопросам орнитологического обеспечения полетов авиации ВС РФ (СССР), в систематизированной форме представлена оценка влияния метеорологических условий на интенсивность и высоту полетов птиц в различные периоды года.

В задачах оценки и прогноза орнитологической обстановки в районе аэропорта гражданской авиации существенным недостатком данной оценки является следующее:

· При определении характера поведения птиц учитывается влияние только ограниченного количества метеорологических явлений, подлежащих наблюдению и регистрации.

· В краткосрочной перспективе не учитывается воздействие синоптических процессов (прежде всего адвекция тепла/холода в регионе, характер и величина барической тенденции и т.п.) на местные полеты и ход миграционных перелетов птиц.

· Учитывается влияние метеофакторов на представителей орнитофауны в целом, без учета их воздействия на конкретные виды самолетоопасных птиц района аэродрома. Что может привести к неверной оценке текущего состояния и прогноза орнитологической обстановки в районе аэропорта. Например, длительные обложные осадки снижают активность полетов большинства птиц по причине намокания оперения. Но при условии сохранения хорошей видимости в приземном слое не влияют на интенсивность перелетов представителей водоплавающих птиц (утиных, гусиных, чайковых и т.п.).

· Оценка влияния метеорологических условий только на полеты птиц. При этом, не учитывается их влияние на другие факторы (гидрологические, экологические, технологические, антропогенных и т.п.), обуславливающие характер орнитологической обстановки в районе аэропорта, вместе с тем оказывающим на нее разнонаправленное воздействие.

В целях использования результатов оценки влияния метеоусловий на повторяемость столкновений ВС с птицами в аэропорту Пулково при анализе текущей и разработке прогнозируемой орнитологической обстановки в районе аэродрома была разработана табличная форма представления данных проведенного исследования. В ней в систематизированном виде отражено влияние факторов погоды на состояние орнитологической обстановки на аэродроме и полетную активность птиц. В связи с ограничениями по нормативному объему публикации в качестве

 © Авторы статьи / Authors of the article

примера ниже приводится фрагмент разработанной таблицы о влиянии высоты нижней границы облачности (ВНГО) на сложность орнитологической обстановки, характер поведения и интенсивность полетов птиц (табл. 1)

Таблица 1 - Влияние фактров погоды на сложность орнитологической обстановки, характери поведения и интенсивность полетов птиц

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.173.29.8

Метеорологические условия	**Состояние орнитологической обстановки/характеристика поведения и интенсивности полетов и перелетов птиц**		
	Сложная	**Удовлетворительная (нейтральная)**	**Простая (благоприятная)**
……	…..	……	…..
1. Влияние высоты нижней границы облачности (ВНГО):			
ВНГО ≤ 300 м		-	Снижение полетной активности птиц. Прекращение интенсивной массовой миграции птиц.
300 м ≤ ВНГО ≤ 600 м		Умеренная интенсивность местных полетов и перелетов птиц. Отказ от использования птицами при выполнении транзитных перелетов высоких эшелонов в пользу выполнения полетов в приземном слое строго ниже нижней границы облачности.	
600 м ≤ ВНГО	Высокая летная активность птиц. Комфортные условия для активной миграции и интенсивных перелетов птиц с использованием всего диапазона традиционно используемых высот.		
……	…….	……	…….

Примечание: фрагмент таблицы

Заключение

Перспективы дальнейших исследований связаны с накоплением и анализом данных о столкновениях воздушных судов (ВС) с птицами в районе аэропорта Пулково за 2026 и последующие годы. Расширение выборки позволит преодолеть ограничения исходных данных и повысить точность расчетов. Этому способствует как позитивная тенденция повсеместного увеличения числа добровольных сообщений в Росавиацию о событиях Bird Strike в аэропортах страны, так и повышение ответственности руководителей операторов аэропортов за строгое выполнение нормативов по обязательному учету всех реальных и потенциальных случаев столкновений ВС с объектами животного мира. Кроме того, с целью всесторонней оценки зависимости орнитологической обстановки от метеорологических условий авторами предполагается продолжить проведение подобных исследований для аэропортов страны с большой повторяемостью событий Bird Strike.

Другим перспективным направлением использования предложенного авторами подхода учета метеорологических факторов при прогнозе орнитологической обстановки является его интеграция с современными радиолокационными системами мониторинга полетной активности птиц. Например, комплексом ORNI — передовой российской автоматизированной системой обеспечения орнитологической безопасности полетов, разработанной холдингом «Росэлектроника» Госкорпорации Ростех. Система ORNI предназначена для непрерывного круглосуточного мониторинга воздушного пространства в районе аэродрома и автоматического предотвращения столкновений самолетов с птицами. Комплекс в ходе многолетних испытаний в период 2023–2024 годов показал высокую эффективность при решении задач снижения рисков столкновения ВС с птицами и в настоящее время перешел в режим постоянной эксплуатации. На данный момент происходит накопление информации о полетной активности птиц на основе круглосуточного мониторинга воздушного пространства аэропорта в радиусе до 10–20 км. Наполнение банка данных контентом о точных координатах, направлении, высоте и скорости движения птиц в привязке к сопутствующим метеорологическим условиям за статистически значимый временной период позволит на основе предложенного подхода выполнить детальный количественный анализ зависимостей полетной активности птиц от метеорологических условий. Это в будущем позволит значительно повысить точность и детализацию прогнозов суточных полетов и сезонных миграций птиц и в целом обеспечит качественно новый уровень прогнозов характера орнитологической обстановки в районе аэропорта

Полученные результаты исследования предполагается использовать при разработке алгоритмов краткосрочных прогнозов орнитологической обстановки в районе аэропорта Пулково на основе учета прогнозируемых метеорологических условий как предикторов в целях повышения эффективности орнитологического обеспечения полетов. Проведение подобного рода исследований в аэропортах страны с наиболее сложной орнитологической обстановкой, наряду с выработкой научно-обоснованных подходов к совершенствованию системы орнитологического обеспечения полетов позволит использовать их результаты для уточнения и адекватного понимания влияния погодных

 © Авторы статьи / Authors of the article

факторов на летную активность птиц. Кроме того, в задачах дальнейших исследованиях с целью выхода на разработку прогноза орнитологической обстановки предполагается оценить зависимость повторяемости столкновений ВС с птицами не только от фактических метеорологических условий на аэродроме, но и от синоптических ситуаций, их обуславливающих.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность руководству группы авиационной орнитологии аэродромной службы ООО «Воздушные Ворота Северной Столицы» (управляющей компании аэропорта Пулково) в лице Будкина Максима Борисовича за предоставление информации, послужившей основой для проведения данного исследования. Авторы выражают глубокую благодарность Северо-Западному филиалу ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» в лице директора Полухина Сергея Митрофановича, заместителя директора Ольховой Оксаны Евгеньевны и начальника АМЦ аэропорта Пулково Любицкой Жанны Владимировны, за предоставление архивных данных метеорологических наблюдений, использованных при выполнении данной работы.

Acknowledgement

The authors express their deepest gratitude to the management of the aviation ornithology group of the aerodrome service at Vozduzhnye Vorota Severnoy Stolitsy LLC (the managing company of Pulkovo Airport), represented by Maxim Borisovich Budkin, for providing the information that formed the basis for this study. The authors extend their sincere thanks to the North-West branch of the FSBI ‘Aviametelecom Roshydromet’, represented by Director Sergey Mitrofanovich Polukhin, Deputy Director Oksana Evgenievna Olkhova and Head of the Pulkovo Airport Meteorological Centre Zhanna Vladimirovna Lyubitskaya, for providing the archived meteorological observation data used in this study.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Хачикян П.П. Орнитологическое обеспечение безопасности полетов как задача принятия решений в условиях неопределенности / П.П. Хачикян // Научный вестник МГТУ ГА. — 2024. — Т. 27. — № 2. — С. 25–42. — DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-2-25-42.

2. Metz I.C. The Bird Strike Challenge / I.C. Metz, E. Joost, Th. Mühlhausen [et al.] // Aerospace. — 2020. — Vol. 7. — № 5. — URL: https://elib.dlr.de/134450/1/The_Bird_Strike_Challenge_final_.pdf (accessed: 29.06.2026). — DOI: 10.3390/aerospace7010005.

3. Elaheh S.V. Bird strikes in aviation: A systematic review for informing future directions / S.V. Elaheh, S.A.M. Shihab // Aerospace Science and Technology. — 2025. — № 1. — P. 163. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1270963825003748 (accessed: 29.06.2026).

4. ICAO Electronic Bulletin: 2008–2015 Wildlife strike analyses (IBIS) // ICAO. — 2017. — 30 p. — URL: https://www.icao.int/SAM/eDocuments/EB %202017.25. E %20(IBIS).pdf (accessed: 29.06.2026).

5. Meer Ahmad A.M. Bird-strike aircraftaccidents and their prevention / A.M. Meer Ahmad // Asian Journal of Science and Technology. — 2019. — Vol. 10. — Iss. 1. — P. 9251–9257. — URL: https://www.journalajst.com/bird-strikeaircraft-accidents-and-their-prevention (accessed: 29.06.2026).

6. Информация по безопасности полетов N 8. Письмо Росавиации от 28.08.2025 N Исх-31267/02 Исх N -31267/0 2 от 28 августа 2025 г. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_513651/ (дата обращения: 21.06.2026).

7. Нестерова А.О. Анализ метеорологических условий для эффективного орнитологического мониторинга в авиации / А.О. Нестерова, О.В. Волобуева, Н.Д. Цыцорин // Материалы III Международной научно-практической конференции «Авиационная и спутниковая метеорология», посвященной 95-летию образования РГГМУ. — Санкт-Петербург: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2025. — С. 113–117.

8. Федеральные авиационные правила «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации», утверждены приказом Минтранса России № 128 от 31. 07.2026 года, с изменениями от 29.05.2023 г. — П. 8.24.4

9. Федеральные авиационные правила «Правила борьбы с опасностью, создаваемой объектами животного мира на аэродромах гражданской авиации», утверждены приказом Минтранса России № 331. от 2 октября 2023 г. — П. 4.

10. Лебедева Е.С. Мероприятия по выявлению и ликвидации условий, способствующие концентрации птиц на аэродромах / Е.С. Лебедева // Актуальные исследования. — 2024. — № 9 (121). — С. 20–24. — URL: https://apni.ru/article/8603-meropriyatiya-po-viyavleniyu-i-likvidatsii (дата обращения: 21.06.26).

11. Мацюра А.В. Миграция птиц и метеорологические параметры: краткий обзор. Часть I / А.В. Мацюра // Acta Biologica Sibirica. — 2015. — Т. 1. — № 1–2. — С. 117–131. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/migratsiya-ptits-i-meteorologicheskie-parametry-kratkiy-obzor-chast-i/viewer (дата обращения: 21.06.26).

 © Авторы статьи / Authors of the article

12. Qunyu Xu. Quantitative Bird Activity Characterization and Prediction Using Multivariable Weather Parameters and Avian Radar Datasets / Qunyu Xu, Jia Liu, Min Su [et al.] // Aerospace. — 2023. — № 10 (5). — P. 462. — DOI: 10.3390/aerospace10050462.

13. Powell J.A. Embry-Riddle Aircraft Bird Strike Risk Prediction Using Machine Learning and Analytic Hierarchy Process. Aeronautical University Follow / J.A.Powell. — URL: https://commons.erau.edu/edt/923 (accessed: 29.06.2026).

14. Powell J. Aircraft Bird Strike Risk Prediction Using LSTM-RNN, XGBoost, and BNN / J. Powell, D. Liu, Y. Liu [et al.]. — 2026. — URL: https://www.researchgate.net/publication/401538900_Aircraft_Bird_Strike_Risk_Prediction_Using_LSTM-RNN_XGBoost_and_BNN (accessed: 29.06.2026). — DOI:10.2139/ssrn.6340226.

15. Elaheh S.V. Bird Movement Prediction Using Long Short-Term Memory Networks to Prevent Bird Strikes with Low Altitude Aircaft / S.V. Elaheh, S.A.M. Shihab // arXiv:2312.12461v1 [cs.LG]. — 2023. — URL: https://info.arxiv.org/help/license/index.html#licenses-available (accessed: 29.06.2026).

16. Luís F. Bird Strike Risk in Aviation: A Calibrated Threshold-Optimized Machine Learning Decision Support / F. Luís, F.M. Santos, Victor Tavares // Mathematics. — 2026. — № 14 (14). — P. 2604. — DOI: 10.3390/math14142604.

17. Joey Paul E. Engineering Informatics for Aviation Safety: Machine Learning-Based Prediction of Bird Strikes Using a Model-Based CPSS Design. December 2025ASME / E.H. Joey Paul, M.J. Bhalerao, W. Honeycutt [et al.] // Open Journal of Engineering 5. — URL: https://www.researchgate.net/publication/398746035_Engineering_Informatics_for_Aviation_Safety_Machine_Learning-Based_Prediction_of_Bird_Strikes_Using_a_Model-Based_CPSS_Design (accessed: 29.06.2026). — DOI:10.1115/1.4070542.

18. Соколов Л.Н. Влияние глобального потепления климата на сроки миграции и гнездования воробьиных птиц в XX веке / Л.Н. Соколов // Зоологический журнал. — 2006. — Т. 85. — № 3. — С. 317–341.

19. Both C. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird / C. Both, S. Bouwhuis, C. Lessells [et al.] // Nature. — 2006. — № 441. — P. 81–83. — DOI: 10.1038/nature04539.

20. Lameris T.K. Migratory Birds Advance Spring Arrival and Egg-Laying in the Arctic, Mostly by Travelling Faster / T.K. Lameris, M.P. Boom, R.J.M. Nuijten [et al.] // Global Change Biology. — 2025. — DOI: 10.1111/gcb.70158.

21. Visser M.E. Climate change leads to decreasing bird migration distances / M.E. Visser, C. A. Perdeck, J.H. Van Balen [et al.] // Global Change Biology. — 2009. — Vol. 15. — Iss. 8. — P. 1859–1865.— DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01865.x.

22. Halupka L. The effect of climate change on avian offspring production: A global meta-analysis / L. Halupka, M. Borowiec, C.C. Bilgin [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2023. — № 120 (19). — Art. e2208389120.

23. Богачёва А.М. Проблема экспансии врановых птиц в городах и пути решения / А.М. Богачёва, А.В. Хандогий // Электронный ресурс. Минск, ИВЦ Минфина. Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века. — Минск: ИВЦ Минфина, 2021. — С. 335–337.

24. Юдкин В.А. Количественный метод оценки орнитологической обстановки на аэродроме / В.А. Юдкин, М.А. Грабовский // Научный Вестник МГТУ ГА. — 2018. — Т. 21. — № 04. — С. 48–51. — DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-4-48-59.

25. Молодовский А.В. Орнитологическая обстановка и безопасность полетов воздушных судов в районе Нижегородского международного аэропорта / А.В. Молодовский, Д.В. Залозны // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. — 1999. — Вып. 1. — С. 39–47.

26. Андреев В.А. Экологические особенности миграции гусеобразных в устьевой области Северной Двины: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Андреев Валерий Аркадьевич. — Москва, 2005. — 20 с.

27. Оценка и прогнозирование орнитологической обстановки. В сборнике Методические рекомендации метеоподразделениям авиации Вооруженных Сил СССР / МО СССР. ВВС. — Москва: Воениздат, 1975. — 76 с.

28. Богатырев Б.П. Оценка орнитологической обстановки и обеспечение безопасности полетов в орнитологическом отношении: методическое пособие / Б.П. Богатырев, Е.А. Панин, В.А. Ременсон [и др.] // Военный инженерный Краснознаменный институт имени А. Ф. Можайского. — Ленинград: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1981. — 87 с.

29. Орнитологическое обеспечение полетов // Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации Вооруженных сил. — Москва: Военное издательство, 1992. — С. 345–377.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Khachikyan P.P. Ornitologicheskoe obespechenie bezopasnosti poletov kak zadacha prinyatiya reshenii v usloviyakh neopredelennosti [Ornithological flight safety assurance as a decision-making task under uncertainty] / P.P. Khachikyan // Nauchnii vestnik MGTU GA [Scientific bulletin of MSTU GA]. — 2024. — Vol. 27. — № 2. — P. 25–42. — DOI: 10.26467/2079-0619-2024-27-2-25-42. [in Russian]

2. Metz I.C. The Bird Strike Challenge / I.C. Metz, E. Joost, Th. Mühlhausen [et al.] // Aerospace. — 2020. — Vol. 7. — № 5. — URL: https://elib.dlr.de/134450/1/The_Bird_Strike_Challenge_final_.pdf (accessed: 29.06.2026). — DOI: 10.3390/aerospace7010005.

3. Elaheh S.V. Bird strikes in aviation: A systematic review for informing future directions / S.V. Elaheh, S.A.M. Shihab // Aerospace Science and Technology. — 2025. — № 1. — P. 163. — URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1270963825003748 (accessed: 29.06.2026).

4. ICAO Electronic Bulletin: 2008–2015 Wildlife strike analyses (IBIS) // ICAO. — 2017. — 30 p. — URL: https://www.icao.int/SAM/eDocuments/EB %202017.25. E %20(IBIS).pdf (accessed: 29.06.2026).

 © Авторы статьи / Authors of the article

5. Meer Ahmad A.M. Bird-strike aircraftaccidents and their prevention / A.M. Meer Ahmad // Asian Journal of Science and Technology. — 2019. — Vol. 10. — Iss. 1. — P. 9251–9257. — URL: https://www.journalajst.com/bird-strikeaircraft-accidents-and-their-prevention (accessed: 29.06.2026).

6. Informacija po bezopasnosti poletov N 8. Pis'mo Rosaviacii ot 28.08.2025 N Ish-31267/02 Ish N -31267/0 2ot 28 avgusta 2025 g. [Flight Safety Information No. 8. Rosaviatsia Letter No. Исх-31267/02 dated August 28, 2025]. — URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_513651/ (accessed: 21.06.2026). [in Russian]

7. Nesterova A.O. Analiz meteorologicheskikh uslovii dlya effektivnogo ornitologicheskogo monitoringa v aviatsii [Analysis of meteorological conditions for effective ornithological monitoring in aviation] / A.O. Nesterova, O.V. Volobueva, N.D. Tsitsorin // Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference "Aviation and Satellite Meteorology," dedicated to the 95th anniversary of the founding of RSHU. — Saint Petersburg: Publishing and Printing Association of Higher Educational Institutions, 2025. — P. 113–117. [in Russian]

8. Federal'nye aviacionnye pravila «Podgotovka i vypolnenie poletov v grazhdanskoj aviacii Rossijskoj Federacii» [Federal Aviation Regulations "Preparation and Execution of Flights in Civil Aviation of the Russian Federation,"] approved by Order of the Ministry of Transport of Russia No. 128 dated June 31, 2026, as amended on May 29, 2023. — Clause 8.24.4. [in Russian]

9. Federal'nye aviacionnye pravila "Pravila bor'by s opasnost'ju, sozdavaemoj ob#ektami zhivotnogo mira na ajerodromah grazhdanskoj aviacii" [Federal Aviation Regulations "Rules for Mitigating Hazards Posed by Wildlife at Civil Aviation Airfields,"] approved by Order of the Ministry of Transport of Russia No. 331 dated October 2, 2023. — Clause 4. [in Russian]

10. Lebedeva E.S. Meropriyatiya po vy'yavleniyu i likvidacii uslovij, sposobstvuyushhie koncentracii pticz na ae'rodromax [Measures to identify and eliminate conditions conducive to the concentration of birds at airfields] / E.S. Lebedeva // Current Research. — 2024. — № 9 (121). — P. 20–24. — URL: https://apni.ru/article/8603-meropriyatiya-po-viyavleniyu-i-likvidatsii (accessed: 21.06.26). [in Russian]

11. Matsyura A.V. Migratsiya ptits i meteorologicheskie parametri: kratkii obzor. Chast I [Bird migration and meteorological parameters: a brief overview] / A.V. Matsyura // Acta Biologisa Sibirica [Acta Biologica Sibirica]. — 2015. — Vol. 1. — № 1–2. — P. 117–131. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/migratsiya-ptits-i-meteorologicheskie-parametry-kratkiy-obzor-chast-i/viewer (accessed: 21.06.26). [in Russian]

12. Qunyu Xu. Quantitative Bird Activity Characterization and Prediction Using Multivariable Weather Parameters and Avian Radar Datasets / Qunyu Xu, Jia Liu, Min Su [et al.] // Aerospace. — 2023. — № 10 (5). — P. 462. — DOI: 10.3390/aerospace10050462.

13. Powell J.A. Embry-Riddle Aircraft Bird Strike Risk Prediction Using Machine Learning and Analytic Hierarchy Process. Aeronautical University Follow / J.A.Powell. — URL: https://commons.erau.edu/edt/923 (accessed: 29.06.2026).

14. Powell J. Aircraft Bird Strike Risk Prediction Using LSTM-RNN, XGBoost, and BNN / J. Powell, D. Liu, Y. Liu [et al.]. — 2026. — URL: https://www.researchgate.net/publication/401538900_Aircraft_Bird_Strike_Risk_Prediction_Using_LSTM-RNN_XGBoost_and_BNN (accessed: 29.06.2026). — DOI:10.2139/ssrn.6340226.

15. Elaheh S.V. Bird Movement Prediction Using Long Short-Term Memory Networks to Prevent Bird Strikes with Low Altitude Aircaft / S.V. Elaheh, S.A.M. Shihab // arXiv:2312.12461v1 [cs.LG]. — 2023. — URL: https://info.arxiv.org/help/license/index.html#licenses-available (accessed: 29.06.2026).

16. Luís F. Bird Strike Risk in Aviation: A Calibrated Threshold-Optimized Machine Learning Decision Support / F. Luís, F.M. Santos, Victor Tavares // Mathematics. — 2026. — № 14 (14). — P. 2604. — DOI: 10.3390/math14142604.

17. Joey Paul E. Engineering Informatics for Aviation Safety: Machine Learning-Based Prediction of Bird Strikes Using a Model-Based CPSS Design. December 2025ASME / E.H. Joey Paul, M.J. Bhalerao, W. Honeycutt [et al.] // Open Journal of Engineering 5. — URL: https://www.researchgate.net/publication/398746035_Engineering_Informatics_for_Aviation_Safety_Machine_Learning-Based_Prediction_of_Bird_Strikes_Using_a_Model-Based_CPSS_Design (accessed: 29.06.2026). — DOI:10.1115/1.4070542.

18. Sokolov L.N. Vliyanie globalnogo potepleniya klimata na sroki migratsii i gnezdovaniya vorobinikh ptits v XX veke [The impact of global climate warming on the timing of migration and nesting in passerine birds during the 20th century] / L.N. Sokolov // Zoologicheskii zhurnal [Zoological Journal]. — 2006. — Vol. 85. — № 3. — P. 317–341. [in Russian]

19. Both C. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird / C. Both, S. Bouwhuis, C. Lessells [et al.] // Nature. — 2006. — № 441. — P. 81–83. — DOI: 10.1038/nature04539.

20. Lameris T.K. Migratory Birds Advance Spring Arrival and Egg-Laying in the Arctic, Mostly by Travelling Faster / T.K. Lameris, M.P. Boom, R.J.M. Nuijten [et al.] // Global Change Biology. — 2025. — DOI: 10.1111/gcb.70158.

21. Visser M.E. Climate change leads to decreasing bird migration distances / M.E. Visser, C. A. Perdeck, J.H. Van Balen [et al.] // Global Change Biology. — 2009. — Vol. 15. — Iss. 8. — P. 1859–1865.— DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.01865.x.

22. Halupka L. The effect of climate change on avian offspring production: A global meta-analysis / L. Halupka, M. Borowiec, C.C. Bilgin [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2023. — № 120 (19). — Art. e2208389120.

23. Bogachyova A.M. Problema ekspansii vranovikh ptits v gorodakh i puti resheniya [The Problem of Corvids Expanding into Urban Areas and Ways to Address It] / A.M. Bogachyova, A.V. Khandogii // Electronic resource. Minsk, Information and Computing Center of the Ministry of Finance. Sakharov Readings 2021: Environmental Problems of the 21st Century. — Minsk: IVC of the Ministry of Finance, 2021. — P. 335–337. [in Russian]

24. Yudkin V.A. Kolichestvennii metod otsenki ornitologicheskoi obstanovki na aerodrome [Quantitative method for assessing the ornithological situation at an airfield] / V.A. Yudkin, M.A. Grabovskii // Nauchnii Vestnik MGTU GA [Scientific

 © Авторы статьи / Authors of the article

Bulletin of MSTU GA]. — 2018. — Vol. 21. — № 04. — P. 48–51. — DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-4-48-59. [in Russian]

25. Molodovskii A.V. Ornitologicheskaya obstanovka i bezopasnost poletov vozdushnikh sudov v raione Nizhegorodskogo mezhdunarodnogo aeroporta [Ornithological conditions and aircraft flight safety in the vicinity of Nizhny Novgorod International Airport] / A.V. Molodovskii, D.V. Zalozni // Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo [Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod. Aircraft flight operations and safety in the vicinity of Nizhny Novgorod International Airport]. — 1999. — Iss. 1. — P. 39–47. [in Russian]

26. Andreev V.A. Jekologicheskie osobennosti migracii guseobraznyh v ust'evoj oblasti Severnoj Dviny [Ecological characteristics of waterfowl migration in the Northern Dvina estuary]: abstract dis. ... of PhD in Biological Sciences / Andreev Valery Arkadievich. — Moscow, 2005. — 20 p. [in Russian]

27. Ocenka i prognozirovanie ornitologicheskoj obstanovki [Assessment and forecasting of the ornithological situation]. In: Methodological Recommendations for Aviation Meteorological Units of the USSR Armed Forces / USSR Ministry of Defense, Air Force. — Moscow: Voenizdat, 1975. — 76 p. [in Russian]

28. Bogatyrev B.P. Ocenka ornitologicheskoj obstanovki i obespechenie bezopasnosti poletov v ornitologicheskom otnoshenii: metodicheskoe posobie [Assessment of the ornithological situation and ensuring flight safety from an ornithological perspective: a methodological guide] / B.P. Bogatyrev, E.A. Panin, V.A. Remenson [et al.] // A.F. Mozhaisky Military Engineering Red Banner Institute. — Leningrad: A.F. Mozhaisky VIKI, 1981. — 87 p. [in Russian]

29. Ornitologicheskoe obespechenie poletov [Ornithological support for flight operations] // Handbook on Practical Procedures for Meteorological Units of the Armed Forces Aviation. — Moscow: Military Publishing House, 1992. — P. 345–377. [in Russian]