

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

ФГБОУ ВО СПбГУ ГА им. А.А. Новикова

Д.Э.Н., К.Т.Н., доцент Ю.Ю. Михальчевский

«15» сентября 2025 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова»

на диссертационную работу Шишова Андрея Евгеньевича

«ОБНАРУЖЕНИЕ И НАУКАСТИНГ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ УСЛОВИЙ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ САМОЛЕТОВ В ЗОНАХ ГЛУБОКОЙ КОНВЕКЦИИ»,

представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате

Диссертационная работа Шишова Андрея Евгеньевича посвящена разработке методик диагностирования и прогнозирования облачности глубокой конвекции по спутниковым данным с применением машинного обучения, а также условий обледенения двигателей воздушных судов в случае выполнения полета в верхней части кучево-дождевых облаков, состоящих из кристаллов.

Актуальность темы исследования

Обледенение воздушных судов, а также двигателей, является одним из опасных явлений погоды, связанным с активной конвективной деятельностью. Поэтому настоящее исследование, направленное на решение задач по обнаружению, диагнозу и последующему прогнозу обледенения в кучево-дождевых облаках глубокой конвекции является, несомненно, актуальным, так как имеет прямое отношение к обеспечению безопасности полетов.

Целью исследования является разработка алгоритмов автоматического использования данных метеорологических искусственных спутников Земли (МИСЗ) и выходных данных разных моделей численного прогноза погоды с применением методов машинного обучения для идентификации областей глубокой конвекции, их последующего развития и оценки вероятности обледенения двигателей воздушных судов при полетах в зонах высокой концентрации ледяных кристаллов. Для достижения поставленной цели автором решаются следующие задачи:

- разработан метод автоматического распознавания областей глубокой конвекции на основе применения порогового подхода к данным измерений геостационарных МИСЗ для обучающей выборки «первого приближения»;
- создана база данных основных и дополнительных признаков и параметров для диагностики зон высокого риска обледенения двигателей при полетах в областях глубокой конвекции на больших высотах;
- разработан алгоритм распознавания зон высокого риска обледенения вблизи верхней границы областей глубокой конвекции с применением методов машинного обучения;
- разработана методика прогноза эволюции зон глубокой конвекции;
- разработана система визуализации исходных данных и результатов распознавания опасных для полетов зон обледенения;

– произведена оценка оправдываемости разработанных методик распознавания областей высокой конвекции на независимой выборке.

Структура и основные результаты работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списков сокращений, условных обозначений и терминов, списка использованных источников, содержащего 97 наименований, приложения. Общий объем диссертации составляет 146 стр.

Во введении представлено аргументированное обоснование актуальности проведенного автором исследования, сформулированы цели и задачи, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методы исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту, результаты апробации и степень их достоверности.

В первой главе представлен обзор литературных источников по теме исследования, в частности, рассмотрены физические основы обледенения авиационных двигателей при полетах в зонах большой концентрации кристаллов, метеорологические условия формирования этого явления. Рассмотрена возможность использования МИСЗ для этих целей. Выполнен критический анализ зарубежных и отечественных публикаций с описанием методов автоматизированного распознавания зон с высоким риском обледенения на основе интеграции измерений МИСЗ и выходных полей разных моделей численного прогноза погоды. Отмечено, что они характеризуются довольно высокой долей ложных тревог. Особое внимание уделяется источникам, в которых описываются способы распознавания областей пробивания тропопаузы мощной облачностью глубокой конвекции. Такие области представляют опасность для авиации не только из-за высокого риска обледенения двигателей, но и из-за высокого риска турбулентности, вызывающей сильную болтанку воздушного судна не только в зоне пробивания тропопаузы, но и на значительном удалении от нее вследствие развития гравитационных волн.

Вопросу распознавания облачности глубокой конвекции и областей пробивания тропопаузы и посвящена **вторая глава диссертации**. В начале главы представлен обзор автоматических способов распознавания и мониторинга верхней границы облачности в зонах глубокой конвекции, где и может наблюдаться высокая концентрация ледяных кристаллов. Также рассматриваются особенности методик автоматизированного детектирования объектов областей глубокой конвекции по спутниковым измерениям радиационной температуры на основе пороговых значений. Пороговый метод остается до сих пор популярным при создании обучающих выборок и разработке алгоритмов машинного обучения, несмотря на трудоемкость процесса определения пороговых значений и достаточно высокую долю ложных тревог в методиках отдельных авторов. В настоящей работе автором предпринята попытка снижения доли ложных тревог с помощью методов машинного обучения, опирающегося на статистический анализ параметров верхней границы облачности и их динамики. Для создания обучающей выборки автор использует процедуру трекинга чтобы связать положение и параметры верхней границы облачности глубокой конвекции в последовательные моменты времени. В этой главе также представлена методология сопоставления распознанных пороговым методом объектов облачности глубокой конвекции с данными наземных наблюдений за опасными явлениями погоды с использованием кода КН-01. Предлагаемая методика позволяет оценить долю ложных тревог. В результате применения пороговых методов и алгоритма трекинга автором создана база данных объектов верхней границы облачности с учетом их состояния на каждый срок наблюдения (с дискретностью 15 минут), состоящая из набора статических и динамических показателей (предикторов). Для алгоритма распознавания объектов облачности глубокой конвекции автором применены два метода машинного обучения, метод градиентного бустинга и логистической регрессии. Выполнена оценка результатов их применения с целью выбора оптимального. Также в этой главе представлены способы распознавания куполов кучево-дождевой облачности пробивающих тропопаузу с использованием температуры

термической и динамической тропопаузы и методика прогноза перемещения выделенных автоматически объектов облачности глубокой конвекции с использованием метода оптического потока. Описана комплексная система мониторинга объектов глубокой конвекции, разработанная с использованием интерактивных веб-интерфейсов и комплекса вспомогательных сервисов для визуализации результатов, описанных в главе 2 методов и методик распознавания и прогноза областей глубокой конвекции и высоких рисков обледенения двигателей воздушных судов при полетах в зонах, содержащих значительное количество ледяных кристаллов.

В третьей главе представлен анализ результатов применения методов машинного обучения для распознавания объектов глубокой конвекции и условий обледенения воздушных судов в них над Европейской территорией России и сопредельных государств. Доказано, что мощные конвективные ячейки, пробивающие тропопаузу в теплый период года в умеренных широтах, наблюдаются и над Европейской территорией России. Проведен сравнительный анализ качества распознавания рассматриваемых параметров по обучающей и контрольной выборкам с использованием статических (полная выборка) и динамических (усеченная выборка) предикторов, показавший, что последнее более успешно. Описаны результаты применения разработанных автором методик и алгоритмов для распознавания облачности глубокой конвекции и условий обледенения в кристаллической его части по спутниковым данным для трех реальных случаев: над Черным морем вблизи Стамбула (31.08.22), над Москвой и Московской областью (07.07.22), над городом Кайенна во Французской Гвиане (10.12.15) с использованием разработанной при участии автора системы мониторинга облачности глубокой конвекции.

В заключении приведены основные результаты и сформулированы выводы по диссертационной работе.

Научная новизна и практическая значимость

1. Автором разработан оригинальный алгоритм объектно-ориентированного распознавания облачности глубокой конвекции, связанной с высокой долей вероятности обледенения двигателей воздушных судов над Европейской территорией России по данным геостационарных спутников с высоким временным разрешением.
2. Впервые для умеренных широт континентальной части Европейской территории России произведена статистическая оценка распределения масштабов и продолжительности жизни облачности глубокой конвекции по спутниковой информации.
3. Впервые в Российской Федерации для оценки вектора смещения автоматически выделенных объектов облачности глубокой конвекции применен метод оптического потока.
4. Результаты исследования могут использоваться для мониторинга и динамической оценки эволюции облачных систем глубокой конвекции, что может улучшить качество краткосрочного прогнозирования развития опасных явлений погоды.
5. Разработанный автором метод объектно-ориентированного детектирования облачности глубокой конвекции и связанных с ней рисков обледенения могут быть использованы в авиации для обеспечения безопасности полетов вблизи кучево-дождевой облачности.

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждается использованием автором работы обоснованных физических и математических методов исследования. Представленные результаты не противоречат теоретическим и экспериментальным результатам аналогичных исследований других авторов.

Положения выносимые на защиту находят развернутое и аргументированное подтверждение в тексте диссертационной работы, а также в 16 публикациях, в том числе 2 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 6 публикациях в материалах международных, всероссийских, и региональных конференций. По материалам

исследования автором оформлено 4 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад автора состоит в создании, реализации и валидации алгоритмов обнаружения и прогнозирования облачности глубокой конвекции и условий высокого риска обледенения воздушных судов в них на основе данных метеорологических спутников Земли, а также совместно с соавторами реализацию методик оперативной обработки спутниковых данных. Автор также участвовал в разработке и валидации алгоритма детектирования облачности глубокой конвекции

Автореферат в целом отражает содержание диссертации, ее основные результаты и выводы.

Вопросы и замечания по работе:

1. Из названия диссертации неясно: что в исследовании автора первое – определение или прогнозирование условий обледенения, что понимается под словосочетанием «верхний уровень».

2. Использование понятия «обледенение двигателей» на наш взгляд не совсем корректно, так как газотурбинный двигатель (ГТД) воздушного судна это очень сложный механизм. Может более грамотно использовать понятие - «обледенение входных устройств газотурбинных двигателей».

3. Что касается утверждения автора, что обледенение двигателей «слабо изученное явление» (стр. 7, 2-й абзац), с ним нельзя согласиться, так как механизм воздействия мелких ледяных кристаллов на ГТД с большой степенью двухконтурности неплохо исследован как за рубежом, так и в нашей стране. Например, механизм обледенения авиационных ГТД, в том числе и «кристаллического» хорошо описан во 2 главе диссертационной работы С.А.Сметанина (2023).

4. Ссылка автора на экспериментальные исследования природных облачных образований по всей России проводимых с использованием самолета-зондировщика ЛИ-2 в 1957-1963 гг. вряд ли уместна в данной диссертации, поскольку высоты полетов этого типа воздушного судна ограничиваются 7 км, и двигатели там поршневого.

5. Хотелось бы узнать, как определялись, конструировались и как в процессе исследования отбирались признаки (атрибуты) с помощью которых велось машинное обучение, поскольку из текста диссертации это не совсем понятно.

6. В пункте 3.5 представлен анализ условий обледенения в облачности глубокой конвекции над Москвой и Московской областью, проведенный автором с использованием разработанных им методик и алгоритмов. Подтверждено ли наличие обледенения воздушного судна в этом случае?

7. Само название пункта 3.5, как и пунктов 3.4 и 3.6, не совсем корректно («случай... на примере случая 07.07.22»).

8. В работе присутствуют отдельные стилистические и орфографические ошибки. Например, в оглавлении и соответственно в тексте работы – «Выводы главе2».

9. В тексте диссертации имеются (практически везде) увеличенные межстрочные интервалы между абзацами.

10. В оформлении русскоязычной части «Списка литературы» имеются нарушения действующих ГОСТ, регламентирующих ссылки на литературу.

11. В автореферате: стр. 9 пропущено описание пункта 1.4., стр. 13 (последний абзац), при описании содержания раздела 2.6 допущена ссылка на этот же раздел.

Перечисленные недостатки не умаляют научную значимость основных результатов исследования и не снижают общую положительную оценку работы.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Шишова А.Е. является законченной научно-квалификационной работой в актуальном направлении исследований и соответствует паспорту специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате (пункт 2 – вычислительные методы и технологии систем анализа и усвоения данных наблюдений, пункт 11 – конвективные процессы в атмосфере, пункт 14 – Гидродинамические, физико-статистические и синоптические методы, модели и технологии прогноза состояния атмосферы различной заблаговременности, включая сверхкраткосрочные прогнозы.

Диссертация полностью удовлетворяет требованиям п. 9–11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней утвержденного Постановлением Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в ред. от 25.01.2024 г.), а ее автор Шишов А.Е. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Диссертационная работа Шишова А.Е. заслушана на совместном научно-техническом семинаре с участием кафедр «Авиационной метеорологии и экологии», «Летной эксплуатации и безопасности полетов в гражданской авиации», «Авиационной техники и диагностики» 12 сентября 2025 г., протокол №1.

Профессор кафедры «Летной эксплуатации и безопасности полетов в гражданской авиации»,
д.т.н., профессор



Г.В. Коваленко

Заведующий кафедрой авиационной метеорологии
и экологии, к.г.н., профессор



Л.Ю. Белоусова

Сведения об организации:

Федеральное государственного бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова»

196210 г. Санкт-Петербург, ул. Пилотов, д. 38.

tel.: +7(812) 704-18-18

www.spbguga.ru

info@spbguga.ru