

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Саворского Виктора Петровича

на диссертационную работу

Шишова Андрея Евгеньевича,

«Обнаружение и наукастинг по спутниковым данным с применением машинного обучения условий обледенения двигателей самолетов на верхних уровнях в зонах глубокой конвекции», представляемую на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 «Науки об атмосфере и климате».

Актуальность темы

Выполненная работа включает актуальное исследование применения информации спутниковых наблюдений для оценки условий полетов на больших высотах с распознаванием и сверхкраткосрочным прогнозом (наукастингом) опасных ситуаций, связанных с кристаллической облачностью глубокой конвекции. В работе применены современные методы и способы обработки данных, создан инструмент для одновременного анализа дистанционных и наземных измерений, разного типа данных, визуализации больших объемов информации в реальном режиме доступа, необходимых синоптику и пилоту для принятия решения о режиме и трассе полета.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 97 наименований, списка терминов и Приложения. Общий объем составляет 146 страниц, включая 34 рисунка, 17 таблиц.

Во Введении приводится обоснование актуальности диссертационной работы, перечислены ее цель и задачи, отмечена новизна исследований, показаны научная и практическая значимости работы, представлены выносимые на защиту положения.

В главе 1 дано описание проблемы обледенения двигателей воздушных судов, кратко рассмотрены характерные метеорологические условия возникновения и развития данного явления, проведен обзор методов

автоматизированного распознавания зон высокого риска обледенения в кристаллических облаках на основе данных регулярных спутниковых наблюдений (с периодичностью наблюдений 15 и менее минут, что необходимо, учитывая большую изменчивость кучево-образной облачности) и выходных данных модели численного прогноза погоды (ЧПП).

Анализ литературных источников, включающих экспериментальные полеты, обработку данных ИСЗ и модельных данных ЧПП, позволил установить, что случаи обледенения двигателей на больших высотах при полетах со скоростью более 500 км/ч связаны, в первую очередь, с наличием высоких концентраций мелких ледяных кристаллов. Поэтому диссертационная работа проводилась в направлении своевременного предупреждения пилотов об опасных условиях, связанных с появлением зон высоких концентраций мелких ледяных кристаллов, и разработки методик определения таких зон для их своевременного прогнозирования. Рассмотрена связь возникновения зон высокого риска обледенения двигателей самолетов с полетами вблизи верхней границы (ВГ) мощной облачности глубокой конвекции (ОГК), особенно стадии максимального развития и при пробивании уровня тропопаузы облачностью ВГ.

Отмечено, что существующие зарубежные методики все еще характеризуются высокой долей ложных тревог, поэтому использование современных методов исследований, включающих нейронные сети, привлечение более совершенных измерений с ИСЗ и более точных прогностических модельных представлений облачности глубокой конвекции (ОГК) потенциально дает возможность существенно уменьшить долю ложных тревог. По-видимому, поэтому **глава 2** и посвящена разработке алгоритма распознавания ОГК и областей пробивания (ОТ) уровня тропопаузы как зон высокого риска обледенения двигателей над ЕТР и сопредельных территорий. Этим разрабатываемый алгоритм существенно отличается от зарубежных аналогов, разработанных преимущественно для тропических акваторий. Рассмотрены методические аспекты автоматического распознавания и

сопоставления данных дистанционного зондирования с наземными наблюдениями об опасных явлениях в ОГК. Предлагается также способ оценки направления и скорости смещения ОГК (в первом приближении условий высокого риска для обледенения двигателей).

В рамках работы разработан также инструментарий для визуализации, исследований и оценки метеорологических условий образования и развития ОГК. Его многофункциональный интерактивный вэб-интерфейс позволил реализовать созданные алгоритмы, методики и для оперативной обработки при распознавании и прогнозировании опасных ситуаций, связанных с ОГК и полетов на ВГ. Несомненно, это следует отнести к большому вкладу к практической значимости диссертационной работы.

В главе 3 показаны результаты применения полученных методов распознавания условий обледенения двигателей воздушных судов.

Подробно рассмотрены вопросы формирования выборок для применения современных методов статистической обработки с учетом возможности соотнесения дистанционных и наземных контактных наблюдений.

Рассчитаны повторяемости и распределение по градациям площади и времени как короткоживущих, так и более редких долгоживущих объектов, отнесенных к отдельным и сгруппированным выделенным объектам ОГК. Данные расширяют и дополняют климатические особенности распределений мощной облачности глубокой конвекции для территории севернее 35-40-х широт северной широты для РФ.

В заключении приводятся основные результаты работы.

Анализ содержания диссертационной работы позволяет сделать вывод о том, что ее результаты содержат:

1. **научную новизну**, поскольку в ходе диссертационной работы:

1.1. создан оригинальный алгоритм объектно-ориентированного детектирования ОГК, связанной с повышенным риском обледенения

двигателей воздушных судов для ЕТР по данным геостационарных МИСЗ с высоким временным разрешением;

- 1.2. впервые в мировой практике для ЕТР и сопредельных государств представлена статистическая оценка распределения характерных масштабов ОГК и продолжительностей жизни ОГК по спутниковой информации для умеренных широт над сушей;
- 1.3. впервые в РФ применен метод оптического потока для оценки смещения выделенных автоматически объектов ОГК;

2. практическую значимость, поскольку в диссертационной работе

- 2.1. разработаны методы автоматического объектно-ориентированного детектирования облачности глубокой конвекции и связанных с ней зон высокого риска обледенения двигателей воздушных судов, необходимых для повышения безопасности полетов;
- 2.2. реализована возможность мониторинга и динамической оценки эволюции облачных систем;
- 2.3. проведена интеграция дистанционных и синоптических наблюдений, а также выходных данных численного моделирования на основе применения современных интерактивных вэб-технологий;
- 2.4. создана система наукастинга опасных условий в зонах облачности глубокой конвекции;
- 2.5. две версии системы обработки, визуализации и сверхкраткосрочного прогнозирования смещения облачности глубокой конвекции зарегистрированы в Роспатенте, ее расширение открыто для включения новых систем наблюдений и результатов численного прогноза погоды.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов полученных результатов не вызывают сомнений. На каждом шаге создания алгоритма проводилось сравнение с данными наблюдений как наземными, так и дистанционными, рассчитывались предупреденность, оправдываемость и число ложных тревог. Приведенные в работе результаты находятся в

соответствии с полученными другими авторами. В работе имеются результаты оценки статистической значимости.

Личный вклад автора заключается в разработке и практической реализации системы автоматического распознавания и прогнозирования смещения облачности глубокой конвекции, с выделением зон высокого риска обледенения двигателей в кристаллической части облачности глубокой конвекции. Автором было проведено исследование конкретных случаев и показаны результаты применения двух версий системы мониторинга облачности глубокой конвекции как первого приближения для оценки зон высокого риска обледенения двигателей.

Апробация и публикации. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на многочисленных всероссийских конференциях, включая конференции с международным участием, научных семинарах. По теме диссертации опубликовано 16 статей, в т.ч. в 2 изданиях, рекомендованных ВАК. В ходе написания диссертационной работы автором получено 4 свидетельства Роспатента о государственной регистрации программ на ЭВМ. Внедрения описываемой в диссертации технологии распознавания, мониторинга и сверхкраткосрочного прогнозирования зон облачности глубокой конвекции подтверждены Актами о внедрении.

Работа была представлена автором на общеинститутском научном семинаре Гидрометцентра России и получила поддержку.

Некоторые вопросы и замечания по диссертационной работе

- 1) Почему не включены в качестве наблюдений информации сети доплеровских радаров, сети грозоотметчиков?
- 2) Недостаточно четко объясняется почему не привлечены данные радиационной температуры за период с 2021-2024г, что дало бы возможность анализа десятилетнего ряда данных
- 3) Каковы преимущества разработанного метода по сравнению с методами обнаружения по радарным и модельным данным?

Общая оценка работы

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы и не влияют на высокую значимость результатов. Автореферат соответствует содержанию представленной диссертации.

То, что система построена, испытана и внедрена свидетельствует о значительном объеме работ, выполненных диссертантом в соавторстве с преимущественно с руководителем, а показатели улучшения качества распознавания облачности глубокой конвекции и зон высокого риска обледенения двигателей самолетов свидетельствуют о правильности выбора направления исследований.

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, при написании которой автор проявил свою квалификацию в соответствующей области знаний. Тематика, направленность и полученные результаты соответствуют паспорту специальности 1.6.18 Науки об атмосфере и климате. В результате была решена важная научная задача, имеющая существенное значение для обеспечения безопасности полетов в условиях скоплений кристаллов на верхней границе ОГК.

Работа соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 25.09.2013 №842 (в ред. От 21.01.2024), а её автор Шишов Андрей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате.

Официальный оппонент:

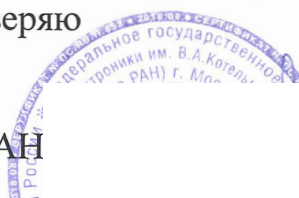
К.ф-м.н., руководитель лаборатории
ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН



В.П.Саворский
26 сентября 2025г

Подпись Саворского В.П. заверяю
Ученый секретарь

ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН



И.И.Чусов
26 сентября 2025г