

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Афанасьева Юлия Сергеевна

**ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ ДЛЯ АВИАЦИИ В СЕВЕРО-
ЗАПАДНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ**

Специальность 25.00.30 – Метеорология, климатология и агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург – 2019

Диссертационная работа выполнена на кафедре Метеорологических прогнозов Российского государственного гидрометеорологического университета

Научный руководитель:

Богаткин Олег Георгиевич
Кандидат географических наук,
Профессор по кафедре
метеорологических прогнозов
РГГМУ

Консультант

Белоусова Людмила Юльевна
Кандидат географических наук,
Профессор, заведующий кафедры
Авиационной метеорологии и
экологии СПбГУ ГА

Официальные оппоненты:

Мазуров Геннадий Иванович
Доктор географических наук,
профессор, ГГО

Шаймарданов Марсель Зарифович
Доктор географических наук
ВНИИГМИ-МЦД

Ведущая организация:

ФГАОУ ВО "Казанский
(Приволжский) федеральный
университет"

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние десятилетия наука о рисках развивается гораздо интенсивнее из-за постоянного увеличения разнообразия и масштаба проявлений риска и связанного с ним экономического и социального ущерба. Все более непредсказуемыми становятся критические ситуации, оказывающие влияние на человека и созданную им антропосферу, которая становится гораздо более чувствительной к проявлениям негативных событий.

Из-за антропогенного влияния на природу нарушается периодичность возникновения опасных явлений погоды, их становится сложнее прогнозировать, а из-за усложнения объектов техносферы увеличиваются негативные последствия в результате реализаций стихийных катастроф. Таким образом развитие антропосферы и расширение зоны влияния и жизни человека ведет к значительному увеличению ущербов от явлений природы

Для России освоение и использование воздушного пространства является одной из главных задач ее развития. Это связано и с огромной территорией страны и с большим количеством удаленных регионов со слаборазвитой транспортной инфраструктурой, с многообразием природных явлений и множеством погодных факторов, оказывающих влияние на людей и все отрасли их деятельности.

Основным показателем эффективности работы Гражданской авиации является обеспечение безопасности полетов. Для ее решения необходимо еще при планировании рассмотреть и учесть всевозможные риски попадания воздушных судов (ВС) в неблагоприятные метеорологические условия. И, как правило, эти условия являются форс-мажорными обстоятельствами, что значительно усложняет их учет.

Несмотря на совершенствование технического оснащения аэродромов, улучшение качества наземного обеспечения полетов и производство новых ВС, влияние метеорологических условий на выполнение полетов усиливается, снижая уровень безопасности, регулярность, а в результате и экономическую эффективность гражданской авиации.

Опасные погодные явления и сложные метеорологические условия по-разному оказывают свое влияние на безопасность на различных этапах полета. Взлет ВС усложняется ограниченной видимостью и сдвигом ветра в нижнем пограничном слое атмосферы (до 100 м). Наиболее опасными явлениями погоды при полете по маршруту являются грозовая деятельность, град, турбулентность, вызывающая болтанку, обледенение в облаках и/или осадках, потеря визуального контакта с наземными ориентирами при внезапном попадании ВС в облачность, статическое электричество.

Заход на посадку и посадка могут существенно усложняться ограниченной видимостью, низкой облачностью; дополнительные трудности могут возникнуть при интенсивных ливневых осадках, сдвигах ветра в сочетании с малым коэффициентом сцепления из-за осадков на взлетно-посадочной полосе (ВПП). Следует отметить, что на заключительном этапе

полета при посадке ВС метеорологические факторы становятся причинами происшествий в 2-3 раза чаще.

Анализ авиапроисшествий показал, что из всех инцидентов, связанных с метеорологическими условиями, 62% вызваны ухудшением видимости, 11% – грозowymi явлениями, 11% – сильной болтанкой, 7% – обледенением, 9% – другими причинами.

Если рассматривать все авиационные происшествия за последние 25 лет, то по статистическим данным ИКАО 20% из них связаны непосредственно с метеорологическим фактором и в 30% случаев погодные условия были косвенными или сопутствующими причинами.

На состоявшемся в июле 2014 года специализированном совещании по метеорологии в ИКАО было признано, что в настоящее время информация об опасных явлениях погоды не обладает достаточной полнотой, а местами даже полностью отсутствует, что оказывает значительное негативное влияние на международную аэронавигацию.

В октябре 2018 года на 13 аэронавигационной конференции в Монреале, посвященной безопасности полетов и совершенствованию глобальной аэронавигационной системы, метеорологическая информация рассматривалась в качестве необходимого инструмента для модернизации авиационной системы, представленной в Глобальном аэронавигационном плане ИКАО. В нем говорится о том, что многие метеорологические условия оказывают негативное влияние не столько на полет по маршруту, сколько на пропускную способность крупных узловых аэродромов, которая, из-за постоянно увеличивающегося объема движения, делает всю систему более чувствительной к нарушению регулярности, что в свою очередь приводит к росту экономического ущерба авиапредприятий. Поэтому необходимо, чтобы метеорологическая информация не просто учитывалась в процессе принятия решения, а была полномасштабно интегрирована с помощью автоматизированных средств, для возможности учета неблагоприятных воздействий погоды в различные временные интервалы, ограничивающих принятие решение и планирование полетов от нескольких минут до нескольких дней.

Из всего вышесказанного следует, что метеорологические риски следует оценивать при долговременном и оперативном планировании полетов, в процессе выполнения полета. При этом следует учитывать метеориски не только в районах аэродрома вылета и посадки, а также на запасных аэродромах и на эшелоне полета.

Для исследования был выбран Северо-западный федеральный округ России, в состав которого входят 11 субъектов РФ и центром является город федерального значения Санкт-Петербург.

Цель работы: разработка метода оценки опасных явлений погоды и связанных с ними метеорисков авиапредприятий для повышения уровня безопасности и регулярности воздушного движения при долговременном и оперативном планировании полетов ВС и улучшения качества метеобеспечения.

Научная задача: анализ распределения опасных явлений погоды и сложных метеорологических условий на основных аэродромах Северо-западного федерального округа.

Научная задача диссертационного исследования реализуется с помощью решения следующих **частных задач**:

1. Исследование климатических характеристик и составление общего климатического описания Северо-западного федерального округа, исследование пространственно-временных характеристик опасных явлений погоды и сложных метеоусловий;

2. Разработка методики расчета повторяемости опасных явлений погоды и сложных метеоусловий с помощью программного инструмента для оценки метеорологических рисков авиапредприятий;

3. Анализ повторяемости опасных явлений погоды и сложных метеоусловий для основных аэродромов на территории Северо-западного федерального округа;

4. Оценка возможного экономического ущерба в результате реализации негативных последствий.

На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Результаты статистической обработки и анализа параметров атмосферы на основных аэродромах Северо-западного федерального округа;

2. Метод оценки повторяемости опасных явлений погоды и сложных метеоусловий с учетом их продолжительности;

3. Автоматизированная методика расчета метеорологических рисков, связанных с реализацией опасных явлений погоды и сложных метеоусловий;

4. Оценка возможности применения разработанной автоматизированной методики для расчета повторяемости опасных явлений погоды и сложных для авиации метеоусловий для аэродромов Северо-западного федерального округа и расчета связанных с ними метеорисков.

Научная новизна диссертационного исследования заключена в следующем:

1. Впервые разработана методика по оценке опасных явлений погоды с учетом их продолжительности;

2. Впервые разработано программное решение оценки повторяемости опасных и сложных для полетов метеорологических условий с учетом их длительности;

3. Оценка метеорологических рисков в виде экономических потерь на аэродромах Северо-западного федерального округа.

Теоретическая значимость. Результаты работы направлены на повышение уровня безопасности и регулярности полетов ГА и на решение научных и прикладных задач по метеообеспечению авиации.

Прикладная ценность полученных результатов заключается в разработке автоматизированной методики расчетов метеорисков при реализации опасных явлений погоды и сложных метеоусловий в целях эффективного планирования летной деятельности авиапредприятий.

Методическая база исследования. Решение поставленных задач проводилась путем синоптико-статистического анализа параметров атмосферы в выбранных пунктах округа. Разработка методики оценки опасных явлений погоды и связанных с ними метеорисков осуществлялась с использованием метода математического анализа, теории вероятности и математической статистики, а также программирования алгоритмов для компьютерных программ. Все необходимые вычисления производились на ПЭВМ с использованием электронных таблиц Microsoft Excel и разработанного автором автоматизированного метода расчетов метеорисков.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием массивов, созданных по данным, содержащихся на технических носителях Госфонда, с электронного ресурса ВНИИГМИ–МЦД. Массивы содержат информацию об интенсивности и продолжительности атмосферных явлений, данные многолетних наблюдений за параметрами атмосферы, явлениями погоды, количеством и видами осадков, снежным покровом, характеристиками ветра, количеством солнечного сияния, количеством и повторяемостью значимой для авиации облачности на метеорологических станциях России. Временной ряд наблюдений составляет от 40 до 200 лет.

Апробация работы. Результаты исследования докладывались и обсуждались на семинарах кафедры Авиационной метеорологии и экологии СПбГУ ГА, на XXXII Международной береговой конференции «Арктические берега: путь к устойчивости» в г. Мурманск.

Реализация результатов работы. Основные результаты работы используются в учебном процессе на кафедре Авиационной метеорологии и экологии СПбГУ ГА, при выполнении научно-исследовательских и выпускных квалификационных работ.

Разработанные теоретические положения и программное обеспечение могут быть использованы предприятиями коммерческой гражданской авиации, государственными структурами (Минпромторг РФ, Минтранс РФ, Росавиация, Минэкономразвития РФ) при разработке и реализации государственных проектов и мероприятий, направленных на развитие и повышение регулярности и безопасности полетов гражданской авиации России.

Публикации. Результаты исследований отражены в 7 научных работах общим объемом 2 п.л., в том числе 4 публикации в издании, рекомендованном Высшей аттестационной комиссией РФ и 2 публикации в сборнике, входящем в систему научного цитирования РИНЦ.

Личный вклад автора заключается в статистической обработке и анализе данных наблюдений за погодой из различных метеорологических архивов, составлении физико-географических и климатических описаний областей Северо-западного Федерального округа, проведении исследований по теме диссертации, разработке методики оценки опасных явлений и сложных условий погоды с учетом их продолжительности, разработке программного решения расчетов метеорисков и анализе результатов по наиболее крупным аэродромам региона, формулировании выводов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения и содержит 144 страницы, 73 рисунка, 13 таблиц, 11 приложений.

В первой главе представлена классификация гидрометеорологических явлений, выделены явления, осложняющие или делающие невозможным производство полетов ВС, содержится обзор исследований по теории риска, его концепциям и видам анализа.

В результате исследования имеющихся классификаций опасных гидрометеорологических явлений и сравнения с данными архива наблюдений за явлениями погоды и сводками METAR, используемыми в настоящей работе, были выделены следующие явления, осложняющие или делающие невозможным производство полетов в Северо-западном федеральном округе:

1. Гроза и сопутствующие явления – град, ливневой дождь;
2. Явления, приводящие к наземному обледенению ВС – гололед, гололедица, иней
3. Явления, ухудшающие видимость – туман, дымка, мгла;
4. Осадки, ухудшающие видимость в зимний период – иглы ледяные, изморозь зернистая и кристаллическая, снежные зерна, крупа снежная и ледяная
5. Осадки, ухудшающие видимость и приводящие к обледенению ВС – снег, ливневой снег, мокрый снег, ледяной дождь, морось.
6. Явления, ухудшающие видимость, связанные с переносом снега, песка, пыли (метель, поземок, пыльная/песчаная буря)
7. Низкая облачность

Погодные условия невозможно изменить, но можно ориентировочно оценить потери от их негативного воздействия, то есть оценить метеорологические риски. Для этого необходимо определить тот элемент погоды, на который приходится наибольшее количество возвратов, отмен или задержек рейсов, с помощью анализа причин нарушения регулярности полетов в аэропорту. Далее можно уже рассматривать возможность улучшения методик прогнозирования тех опасных явлений или сложных условий погоды, которые оказывают наибольшее влияние на полеты.

Экстремальные явления погоды, начиная с 2014 года уже рассматривались на Всемирном экономическом форуме в топ-5 глобальных рисков, ранжированных по вероятности, а в 2017 г даже заняли первую позицию. По статистике последних лет ущерб от опасных погодных и климатических явлений растет год от года во всем мире и ежегодно число пострадавших от опасных явлений природы увеличивается на 6%. На опасные гидрометеорологические явления (ОЯ) приходится 90% самых тяжелых экономических потерь.

Для повышения эффективности принимаемых мер по сокращению ущерба от опасных явлений погоды требуется быть предупрежденным за гораздо больший период времени, чем это могут обеспечить прогнозы погоды. Для принятия действенных упреждающих мер адаптации требуются долгосрочные планы действий, основанные на научно обоснованных

перспективных оценках изменения климата, включая оценки изменения статистики экстремальных погодных явлений.

В авиации классификация рисков по признаку ущерба включает в себя категорию рисков внешней среды, когда природные явления оказывают существенное влияние на регулярность и безопасность полетов ВС. Эти риски должны учитываться и на стадии проектирования новых аэродромов или ВПП, при планировании полетов, и при разработке новых воздушных трасс. Каждое решение в этих вопросах должно приниматься после тщательного анализа рисков, связанных с явлениями погоды, усложняющими или делающими полеты невозможными.

В последние десятилетия появлялось достаточное количество исследований рисков в различных сферах деятельности человека. Но даже те, которые затрагивали природные риски в большинстве своем относились к рискам в сельском хозяйстве или в работе наземного транспорта.

В нормативных документах Российской Федерации предусмотрен вопрос о решении проблем снижения риска и смягчения негативных последствий и содержатся требования по оценке риска аварий и угроз чрезвычайных ситуаций, но и они в основном предназначены для предупреждения аварий при строительстве или обслуживании потенциально опасных «наземных» объектов.

Изучение метеорологических (природных) рисков осложняется недостаточным количеством и качеством наблюдений за погодой, отсутствием необходимых архивных климатических данных и сложностями прогнозирования из-за несовершенства методов прогнозов, недостаточными исследованиями причин возникновения и влияния природных процессов на человека и антропосферу.

Ущерб от опасных явлений, которые произошли в течение определенного периода времени, согласно теории риска, можно рассчитать по следующей формуле:

$$w = \sum_{i=1}^N w_i ,$$

где w_i - ущерб от i -го опасного явления, N – количество явлений.

Для прогноза среднего ущерба используется формула:

$$\bar{W} = a(\Delta t)\bar{w} ,$$

где \bar{w} - средний ущерб; $a(\Delta t) = \lambda \Delta t$, λ – частота опасных явлений, 1/лет.

В рамках концепции риска как опасности, показатель риска для любого количества свершившихся событий можно выразить следующим выражением:

$$\text{Показатель риска} \left[\frac{\text{ущерб}}{\text{время}} \right] = \text{Частота} \left[\frac{\text{события}}{\text{время}} \right] \times \text{Средний ущерб} \left[\frac{\text{ущерб}}{\text{события}} \right]$$

Время t и ущерб w в данных соотношениях являются независимыми переменными, по которым будет оцениваться риск и для дальнейшего

прогнозирования рисков необходимо оценить частоту свершений негативных событий и экономические потери от них, то есть проанализировать распределение опасных явлений по времени и по последствиям, в результате свершения негативного события.

Управление рисками должно включать в себя учет тех опасных явлений, вероятность возникновения которых очень мала, но негативные последствия могут быть катастрофическими и превышать суммарный эффект всех зарегистрированных явлений за этот промежуток времени.

Идентификация риска, с которой начинается анализ риска, основывается на исследовании статистики возникновения опасных явлений за прошедший период, причин их возникновения и факторах, влияющих на их развитие и формирование. Чем больше берется период времени, тем точнее получится прогноз на будущее.

Во второй главе представлено общее описание Северо-западного федерального округа; проанализированы данные многолетних наблюдений за параметрами атмосферы, явлениями погоды, количеством и видами осадков, снежным покровом, характеристиками ветра, количеством солнечного сияния, количеством и повторяемостью значимой для авиации облачности; построены графики годового хода и многолетних изменений вышеперечисленного в районе выбранных аэродромов. Временной ряд наблюдений составляет от 50 до 200 лет.

В рамках диссертационного исследования были исследованы климатические характеристики городов, где располагаются наиболее значимые аэродромы выбранного региона: г. Санкт-Петербург (Пулково), Петрозаводск (Бесовец), Сыктывкар, Воркута, Архангельск (Талаги), Нарьян-Мар, Вологда, Мурманск, Псков, Калининград (Храброво).

Климат Северо-Западного округа РФ обусловлен расположением его в зоне двух климатических поясов: умеренного и субарктического и относится к умеренно-континентальному типу, при этом его континентальные свойства уменьшаются с востока на запад в сторону Калининградской области. В климате региона в течение года прослеживаются четко выраженные теплый и холодный периоды с переходными сезонами весны и осени.

В теплый период года с апреля по сентябрь на территории наблюдается преимущественно северное направление ветра. Приходящие с Северного Ледовитого океана воздушные массы обуславливают выпадение холодных дождей и влажную прохладную погоду.

В холодный период на северо-западе РФ преобладают западные и юго-западные ветры, приносящие воздушные массы с Атлантического океана. В районе Уральских гор на климат оказывает влияние ветер южного направления, который приносит воздушные массы с континента.

На рис. 1-4 представлено общее распределение годового хода температуры, влажности, повторяемости осадков и направлений ветра по территории Северо-западного региона в районе выбранных городов.

Для годового хода температуры характерны максимум в июле и минимум в январе, а амплитуда годового и суточного хода увеличивается от побережья Балтики к Республике Коми. В июле средняя температура уменьшается от $+18^{\circ}\text{C}$ на юге региона до $+13^{\circ}\text{C}$ в районе Мурманска и Нарьян-Мара. В январе средняя температура достигает минимальных значений в Воркуте до -20°C и увеличивается на западе региона до -7°C в Санкт-Петербурге и до -3°C в Калининграде. Годовая амплитуда меняется от 20°C в Калининграде до 34°C в Воркуте.

Влажность достигает наибольших средних значений до 90% в Петрозаводске, Пскове и Архангельске. Максимум годового хода в районе Калининграда, Пскова и Санкт-Петербурга наблюдается в январе, при смещении на север максимум уже приходится на ноябрь, а при движении внутрь материка – на октябрь.

Годовое количество осадков на территории меняется от 560-590 мм в Нарьян-Маре и Мурманске и до 840 мм в Калининграде. Наибольшее количество дней с осадками за год наблюдается на севере региона в Нарьян-Маре – почти 300 дней в году, но при этом максимальная норма осадков составляет около 70 мм в июне, так же как и в Мурманске. Меньше этого значения только среднемесячная норма осадков в Воркуте – 63 мм.

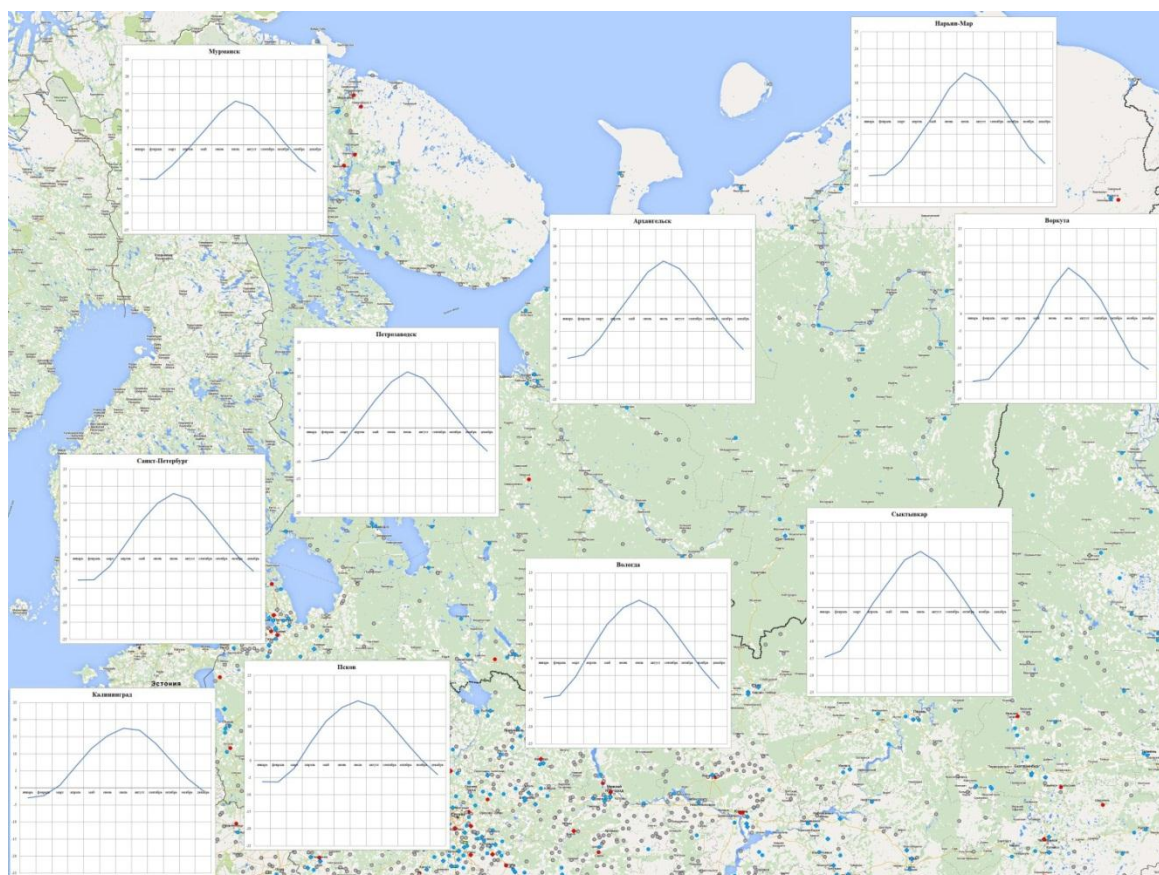


Рисунок 1 – Годовое распределение средней температуры воздуха.

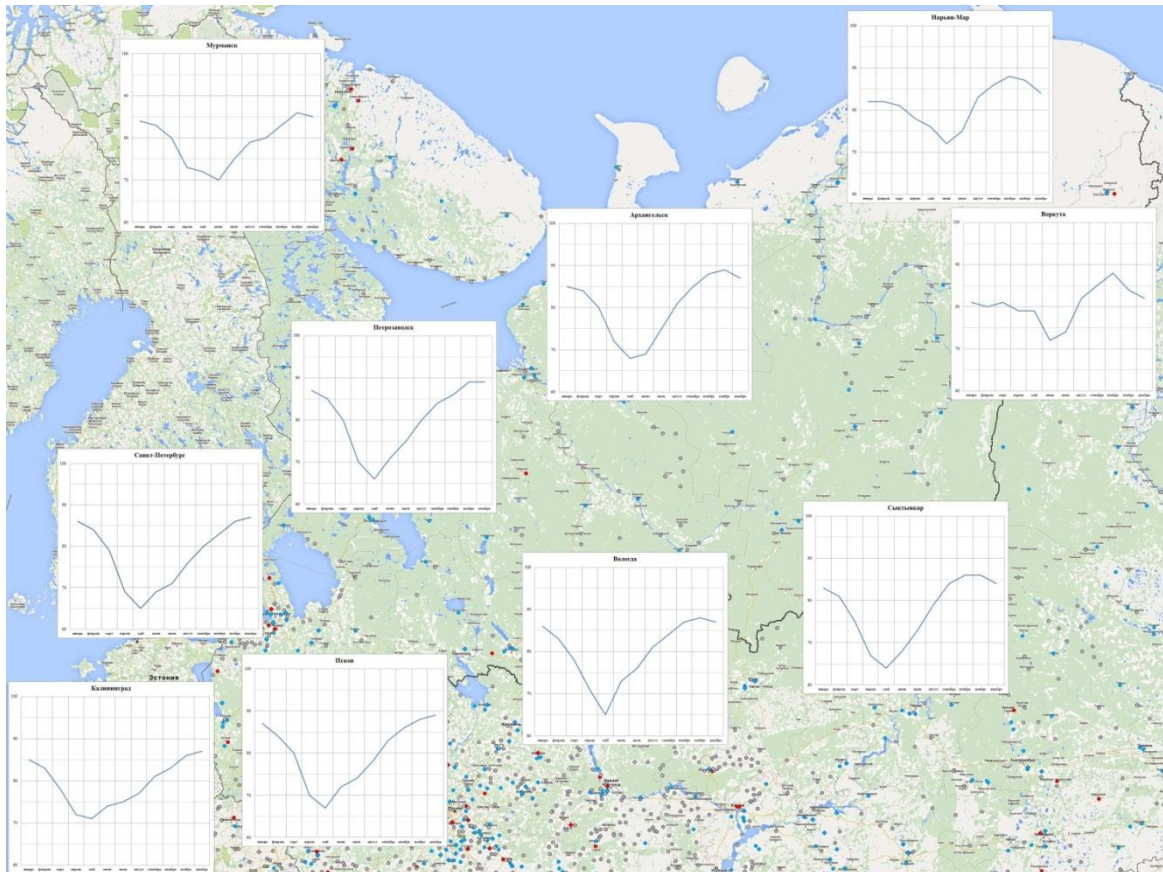


Рисунок 2 – Годовое распределение влажности воздуха

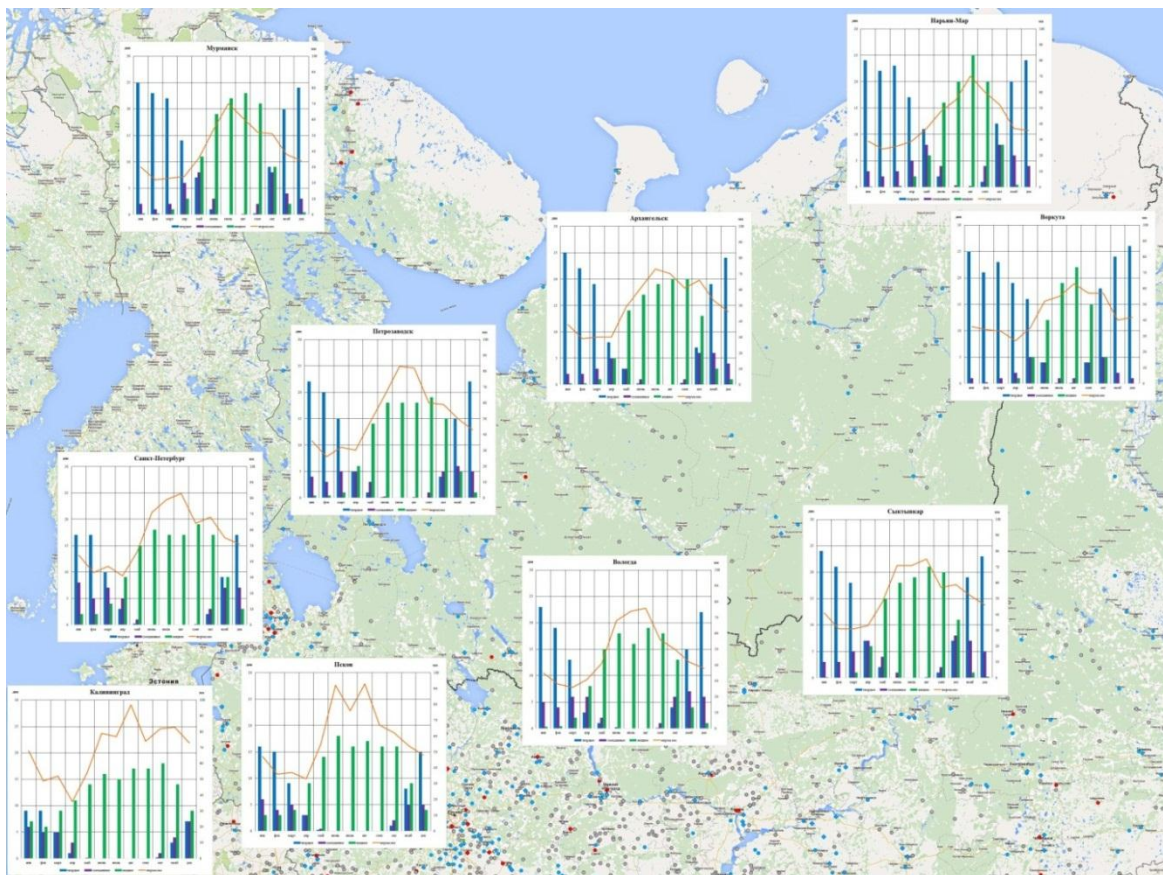


Рисунок 3 – Годовое распределение осадков, повторяемость осадков различного типа (дни) и среднемесячная норма (мм)

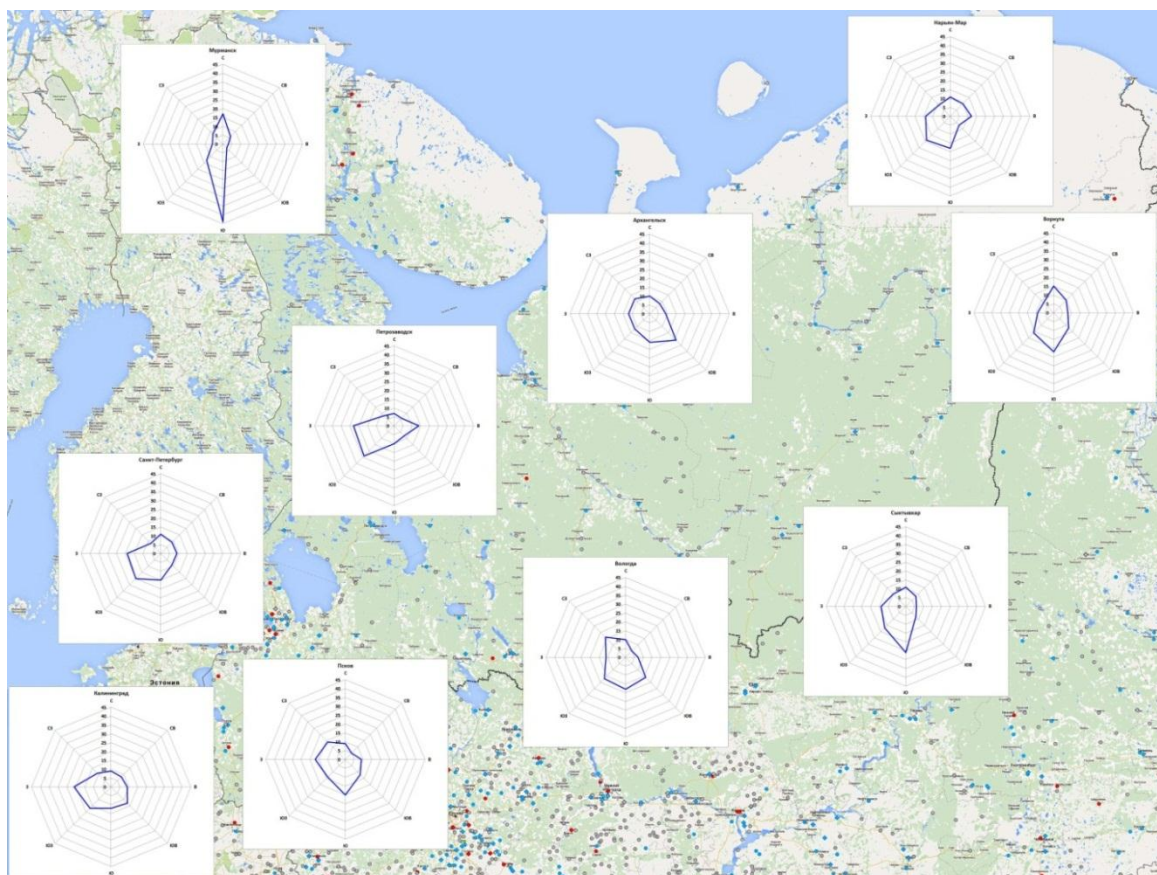


Рисунок 4 – Годовая повторяемость направлений ветра

Наименьшее количество дней с осадками наблюдается в Калининграде – в среднем 218 дней за год, но среднемесячные нормы осадков в этом городе достигают максимального значения – до 97 мм в августе и здесь же наблюдается максимум дней с дождем в холодное время года.

В Воркуте дождь выпадет в период с октября по апрель, в остальных городах дождь может быть в течение всего года, но в Мурманске и Архангельске дождь в январе встречается примерно раз в 5-6 лет, а в Сыктывкаре и Нарьян-Маре – раз в 10 лет.

Снежные (твердые) осадки в основном выпадают на юге региона в холодное время года с октября по апрель-май. При продвижении на север снег может выпасть и в более теплые месяцы, а в Воркуте твердые осадки наблюдались и летом – в июне в среднем 4 раза за месяц, а в июле и августе примерно 1 раз в 10 лет.

Ветровой режим в выбранных городах зависит от географического расположения. В Калининграде и Санкт-Петербурге преобладает западный ветер. При продвижении на север и вглубь материка максимум повторяемости постепенно смещается с юго-западного в Петрозаводске на южный и особенно это заметно в Мурманске. В зимний период на это направление приходится до 70% случаев за месяц. В Архангельске преобладает юго-восточный ветер в течение почти всего года.

Частая смена воздушных масс и большая изменчивость погодных условий в совокупности приводит к тому, что Северо-Западный регион является одной из самых сложных для прогнозирования территорий.

В третьей главе предложена разработанная автором методика оценки опасных явлений погоды с учетом их продолжительности и связанных с ними метеорисков, описаны программные решения для реализации данной методики.

Для эффективной оценки риска необходимо провести анализ частот возникновения того или иного явления, а также определить и проанализировать причины возникновения этих явлений. Использование соответствующих хронологических данных для идентификации события или ситуации, произошедших в прошлом и допускающих возможность экстраполяции вероятности их появления в будущем, является одним из методов анализа частот для оценки вероятности возникновения нежелательных событий в виде опасных погодных явлений.

Информацию о повторяемости метеоявлений можно получить в результате статистической обработки регулярных и специальных наблюдений за фактической погодой в аэропортах.

Для расчета вероятности попадания ВС в то или иное явление погоды, которое может возникнуть в районе выбранного аэропорта, сначала необходимо найти общие закономерности повторяемости на основе имеющихся данных. К таким закономерностям можно отнести среднее количество проявлений различных погодных явлений. Расчет данного показателя можно представить в следующем виде:

$$P = \frac{\sum_i^N E_i}{N},$$

где E_i – факт наличия некоторого погодного явления в день наблюдения i ,
 $E_i = \begin{cases} 0, & \text{если явление отсутствовало} \\ 1, & \text{если явление присутствовало} \end{cases}$,

N – количество дней в месяце наблюдения.

Рассмотрев динамику изменений значения данного показателя, можно говорить об установлении риска реализации некоторого погодного явления в последующие схожие временные интервалы.

Однако данный показатель не позволяет оценить вероятность возникновения некоторого природного явления в более детализированном временном промежутке. Следовательно, отсутствует возможность предсказать проявление погодных особенностей в течение дня, что уменьшает точность оценки безопасности погодных условий для осуществления полета.

В процессе диссертационного исследования было разработано 2 программных решения, которые позволяют:

- загружать текстовые документы, содержащие сводки в формате кода METAR или данные регулярных наблюдений за явлениями погоды из архива погоды в формате КН-01 для расшифровки их в общепринятые обозначения, что позволяет работать с этими данными людям, не имеющим специальных знаний;

- проводить сортировку для первичного анализа расшифрованных параметров атмосферы и явлений погоды;
- рассчитывать повторяемость явлений погоды с учетом их продолжительности;
- оценивать метеорологические риски при возникновении опасных явлений или сложных условий погоды, вводя значения возможного ущерба от реализации негативных событий.

На рис. 5 представлена общая блок-схема разработанных программных решений.

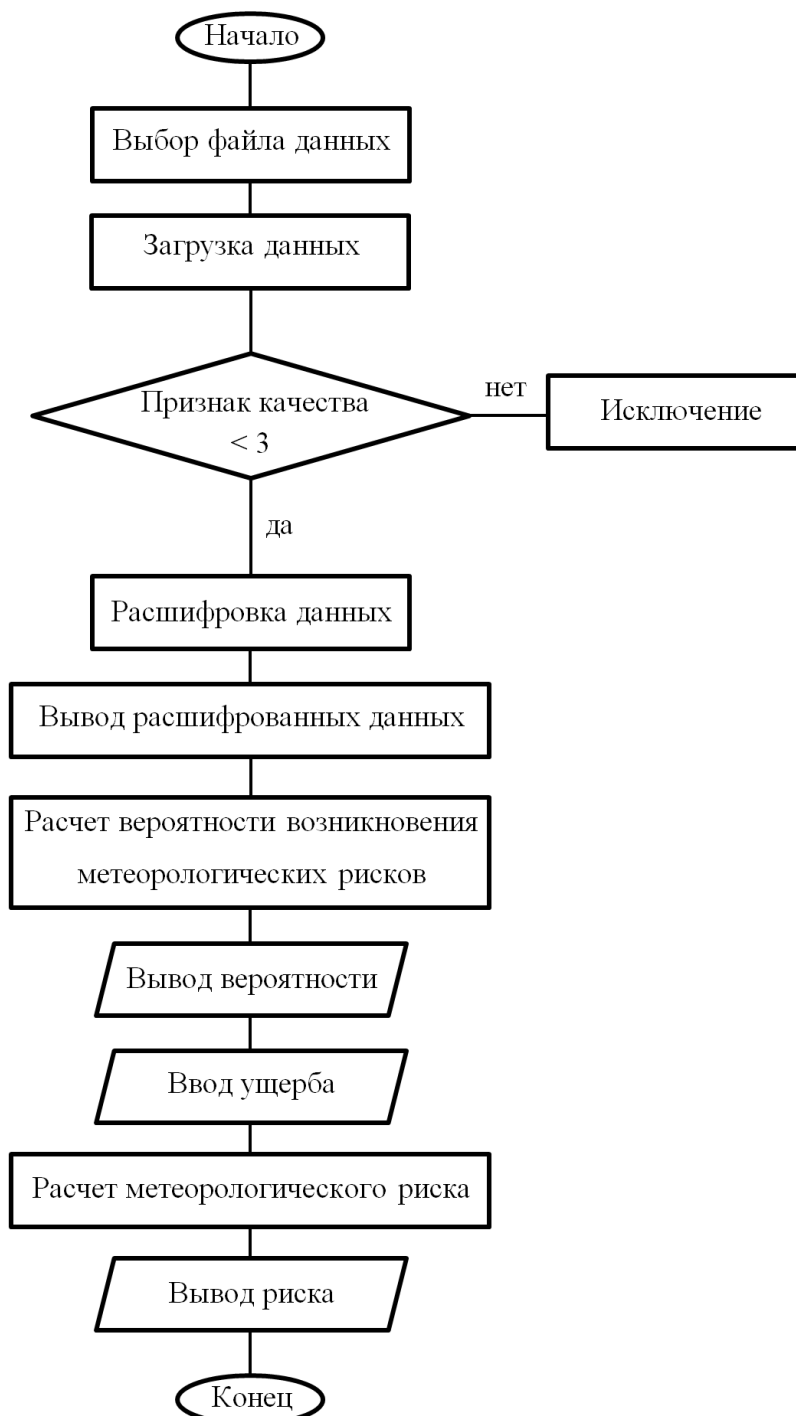


Рисунок 5 – Блок-схема разработанной методики оценки риска с помощью программного решения

В качестве исходных данных используются файлы, содержащие данные регулярных сводок METAR в текстовом формате, взятых из архива с электронного ресурса.

Данные, предоставляемые в сводках в формате кода METAR, позволяют оценить достаточно точно распределение повторяемости события по временным промежуткам, составляющим 30 минут. Формула оценки показателя риска такого события выглядит следующим образом:

$$P_t = \frac{\sum_i^Y E_{imt}}{\sum_i^Y \sum_j^T E_{imj}},$$

где Y – годы наблюдений,

T – общее количество временных наблюдений,

E_{imt} – факт наличия некоторого погодного явления в месяце m года i момент времени t ,

E_{imj} – факт наличия некоторого погодного явления в месяце m года i момент времени j .

Помимо расшифровки и расчетов данных, разработанный программный инструмент позволяет вывести полученные значения параметров атмосферы и явлений погоды в виде различных графиков. С помощью такого представления информации можно визуально оценить повторяемость высоты нижней границы облачности.

Так же в целях решения задачи по расчетам рисков, было создано еще одно программное решение, где для расчетов используются данные архива срочных наблюдений за явлениями погоды с указаниями сроков начала и окончания явления.

Расчеты риска по исходным данным из архива регулярных наблюдений за явлениями погоды с указанием времени их начала и окончания для учета продолжительности каждого явления относительно продолжительности всего интервала наблюдения производятся по следующим формулам:

$$R = P \cdot C,$$

где R – риск, P – вероятность, C – величина ущерба (последствий),

$$P = \frac{\sum_i^N D_i}{T},$$

где D_i – часть продолжительности погодного явления i , попадающая в заданный период наблюдения, N – количество погодных явлений данного типа, попадающих в заданный период наблюдения, T – общая продолжительность периода наблюдения. Разбивка на периоды наблюдения производится по месяцам (в годовом цикле) и по 30 минут (в суточном цикле). Таким образом, можно оценить вероятность возникновения погодного явления в различные временные интервалы в течение суток.

Данные архива с 1966 по 2015 гг получены с сайта Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД) и представляют собой зашифрованные данные наблюдений за явлениями погоды в текстовом формате.

После выбора файла с данными происходит расшифровка и загрузка расшифрованных данных, с возможностью сортировки по любому из столбцов, расчет повторяемости всех явлений по годам, месяцам и в течение суток.

При сохранении значения величины ущерба 100, риск представляется в виде повторяемости явлений в процентах. При необходимости туда можно ввести значение возможного ущерба (например стоимости самолета или экономических потерь от нарушения регулярности полетов) в случае инцидента и получить значение риска в виде потерь. Таким же образом рассчитывается риск с учетом продолжительности явления по времени суток.

Разработанное инструментальное программное средство дает возможность оценить повторяемость того или иного явления погоды в различное время года и суток и оценить метеориски в случае реализации негативного события, что позволяет учитывать метеорологические риски еще на этапах планирования полетов, а также использовать эту информацию в составлении прогнозов при метеорологическом обеспечении полетов для обеспечения безопасности и регулярности воздушного движения.

Для примера использования, разработанного автором, программного решения, были взяты данные по количеству самолетовылетов (СВ) и задержек, отмен и прерывания рейсов по метеорологическим условиям в аэропорту г.Сыктывкар за период с 2012 по 2014 гг. (табл.1)

Таблица 1 – Регулярность воздушного движения на аэродроме Сыктывкар

Год	2012	2013	2014
Самолетовылетов всего	14944	15779	16469
С задержкой	146	109	58
Отменено	18	14	11
Уход на запасной аэродром	7	17	12
Всего	171	140	81

Всего прерванных полетов, когда экипажи ВС из-за сложных погодных условий не могли посадить самолеты на аэродромы назначения, было 36. Из них чаще всего (12 рейсов) на запасной аэродром уходили АН-24, следующий по повторяемости прерванных полетов – Б737-500 – 7 случаев.

Причинами этих уходов ВС на запасной аэродром стали: ливневой и ливневой мокрый снег, метель – 8 случаев; туман – 7 случаев; боковой ветер – 2 случая, переохлажденный дождь – 1 случай. Дважды НГО была 60 м, один раз 50 м и три случая – ниже 40 м.

В таблице 2 представлены результаты статистической обработки данных наблюдений с 1976 по 2015гг в виде суммарной продолжительности ливневых

снежных осадков и метелей за сказанный период и средней продолжительности этих явлений в часах каждый день:

Как видно из таблицы снежные ливневые осадки могут наблюдаться даже в летние месяцы кроме июля, но в июне эти явления повторялись примерно раз в 2 года, а в августе всего единожды за весь выбранный период в течение 11 минут шел ливневой снег.

В качестве примера в работе была произведена оценка экономических потерь при посадках самолетов на запасных аэродромах. Расчет был произведен по действующим тарифам с учетом взлетной массы и количества пассажиров в разных типах ВС и затрат на обработку ВС противообледенительной жидкостью (ПОЖ), т.к. рассматриваемые случаи прерванных полетов происходили в холодное время года в условиях сильных снежных осадков.

В таблице 3 представлены суммарные расходы на дополнительную противообледенительную обработку ВС и стоимость наземного обслуживания.

Таблица 2 – Общая и средняя продолжительность снежных ливневых осадков и метелей в районе а/д Сыктывкар с 1976 по 2015 гг

Месяц	Общая продолжительность за весь период, часов	Средняя продолжительность, час/день
Январь	1238:09:00	1:01:27
Февраль	1090:35:00	0:59:24
Март	1924:35:00	1:35:31
Апрель	1628:45:00	1:23:32
Май	475:13:00	0:23:35
Июнь	53:13:00	0:02:44
Июль	-	-
Август	0:11:00	0:00:00
Сентябрь	246:18:00	0:12:38
Октябрь	1997:51:00	1:39:09
Ноябрь	2070:26:00	1:46:11
Декабрь	1739:03:00	1:26:18

Таблица 3 – Расходы с учетом взлетной массы ВС и количества пассажиров

Тип ВС	Ан-24	Б737-500
Максимальная взлетная масса, кг	21000	52390
Количество пассажиров, чел.	52	132
Сбор за наземное обслуживание, руб	28366	67679
Стоимость дополнительной антиобледенительной обработки ВС, руб	59320	85870
Всего, руб	87686	153549

Очевидно, что при вынужденной посадке ВС на запасном аэродроме в условиях, благоприятных для образования обледенения в полете и на земле, расходы на, необходимую для продолжения полета, дополнительную очистку

самолета ото льда и его обработку противообледенительными жидкостями могут превышать расходы на аэропортовые сборы и наземное обслуживание.

С помощью разработанного автором программного решения были рассчитаны повторяемость и риски обледенения ВС из-за гололедно-изморозевых отложений и из-за выпадения снежных и ледяных осадков для выбранных ранее типов самолетов. (табл.4)

Учёт влияния метеорологических рисков необходим при решении различных экономических задач авиапредприятия и задач по обеспечению регулярности, а главное безопасности полётов. Используя для этих целей методы статистического анализа, полученные результаты можно использовать для экстраполяции вероятности их появления в будущем.

Таблица 4 – Повторяемость и риски обледенения при гололедно-изморозевых отложениях и осадках, приводящих к обледенению ВС, руб.

месяц	Гололедно-изморозевые отложения			Снежно-ливневые осадки, ледяной дождь		
	Повторяемость, %	Риски, руб		Повторяемость, %	Риски, руб	
		АН-24	Б737-500		АН-24	Б737-500
Январь	32,4	2845127	4982168	3,5	305582	535112
Февраль	25,2	2205867	3862744	3,7	323485	566462
Март	14,4	1262460	2210723	7,0	610155	1068457
Апрель	9,7	853583	1494729	7,2	630348	1103817
Май	4,5	391335	685276	1,9	168263	294648
Июнь	0,4	38714	67793	0,2	17564	30756
Июль	0,0	2434	4262	0,0	0	0
Август	0,9	74965	131274	0,0	56	98
Сентябрь	4,7	409384	716882	0,9	78138	136830
Октябрь	12,9	1135303	1988055	7,1	624320	1093261
Ноябрь	26,2	2301636	4030449	7,3	643356	1126596
Декабрь	34,5	3022683	5293090	5,4	475843	833259

Проведенные в работе расчеты показывают целесообразность применения данной методики в интересах авиакомпаний для снижения дополнительных расходов, связанных со сбоями в расписании. Полученные в результате данные можно также использовать как средние значения для других действующих или строящихся (проектируемых) аэродромов.

В качестве второго примера использования данного программного решения было рассмотрено влияние ливневых осадков в районе аэродрома Мурманск, где авиация — это единственный вид транспорта, который можно использовать на северных территориях круглый год. Основным видом пассажирского транспорта в Заполярье являются самолеты и вертолеты малой авиации, потому как, с учетом расстояний между населенными пунктами, строительство и эксплуатация наземной транспортной инфраструктуры из-за высокой стоимости совершенно не оправдано с экономической точки зрения. В пределах Арктической зоны 80% пассажиров перевозится малой авиацией на

местных воздушных линиях, но несмотря на это в Арктической зоне РФ по данным Минтранса находится всего 73 аэродрома.

Особенности погодных условий в Арктике обусловлены близостью теплого течения Гольфстрим и холодного северного течения, которые также, как и наличие больших водных бассейнов открытых и закрытых льдом, способствуют формированию неустойчивой метеобстановки.

Климат Арктики сильно осложняется специфическими метеорологическими условиями погоды, особенно опасными для полетов на низких высотах – резкими сдвигами ветра, частыми изменениями высоты и характера облачности, туманами, шквалистыми ветрами, метелями, пургой, обледенением, турбулентностью, снежными зарядами и др. До настоящего времени для этой территории практически отсутствуют достаточно надежные методы прогнозирования, а синоптикам приходится пользоваться редкими данными наземных метеостанций и общими сведениями о климате.

Для решения проблемной ситуации в работе синоптиков предлагается использовать разработанную в ходе диссертационного исследования автоматизированную методику расчета метеорисков, основанную на обработке архивов многолетних срочных наблюдений за погодой и метеоявлениями с указанием времени их начала и окончания.

Посчитанная в качестве примера повторяемость ливневых дождя и снега для Мурманска представлена в таблице 5, для расчета вероятных рисков введена условная стоимость задержки вылета самолета 150 тыс.руб.

Таблица 5 – Повторяемость ливневых осадков в районе г.Мурманск и метеорологические риски, связанные с ними

Повторяемость ливневых осадков, %												
Ливневые осадки	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Дождь	0,4	0,6	0,5	3,9	11,1	20,0	17,5	17,0	16,5	11,1	3,3	1,4
Снег	27,3	23,3	22,0	17,2	10,0	0,9	0,0	0,0	0,4	8,9	21,3	28,1
Метеорологические риски в случае выпадения ливневых осадков, тыс.руб.												
Дождь	60	90	75	585	1665	3000	2625	2550	2475	1665	495	210
Снег	4095	3495	3300	2580	1500	135	0	0	60	1335	3195	4215

В результате, при отсутствии достаточного количества регулярных срочных наблюдений и надежных методов прогнозов в арктических районах, реализация данной методики в метеорологическом обеспечении авиации позволит повысить безопасность и обеспечить регулярность полетов ВС.

В рамках диссертационного исследования с помощью разработанного программного средства был произведен расчет повторяемости опасных явлений и сложных условий погоды с учетом их продолжительности для основных аэродромов Северо-западного федерального округа за период с 1977 по 2015гг для дальнейшей оценки метеорологических рисков, с учетом конкретных экономических потерь каждой авиакомпании. На рис. 6 в качестве примера

представлены графики годового хода повторяемости гроз, града, дождей и ливневых дождей.

С помощью линейной аппроксимации по методу наименьших квадратов были построены линии тренда на графиках среднегодового изменения явлений погоды и выявлен ряд явлений, тренд которых за выбранный период увеличился. На рис. 7 представлены графики изменений повторяемости гроз и ливневого дождя в тех городах, где наблюдается положительный тренд.

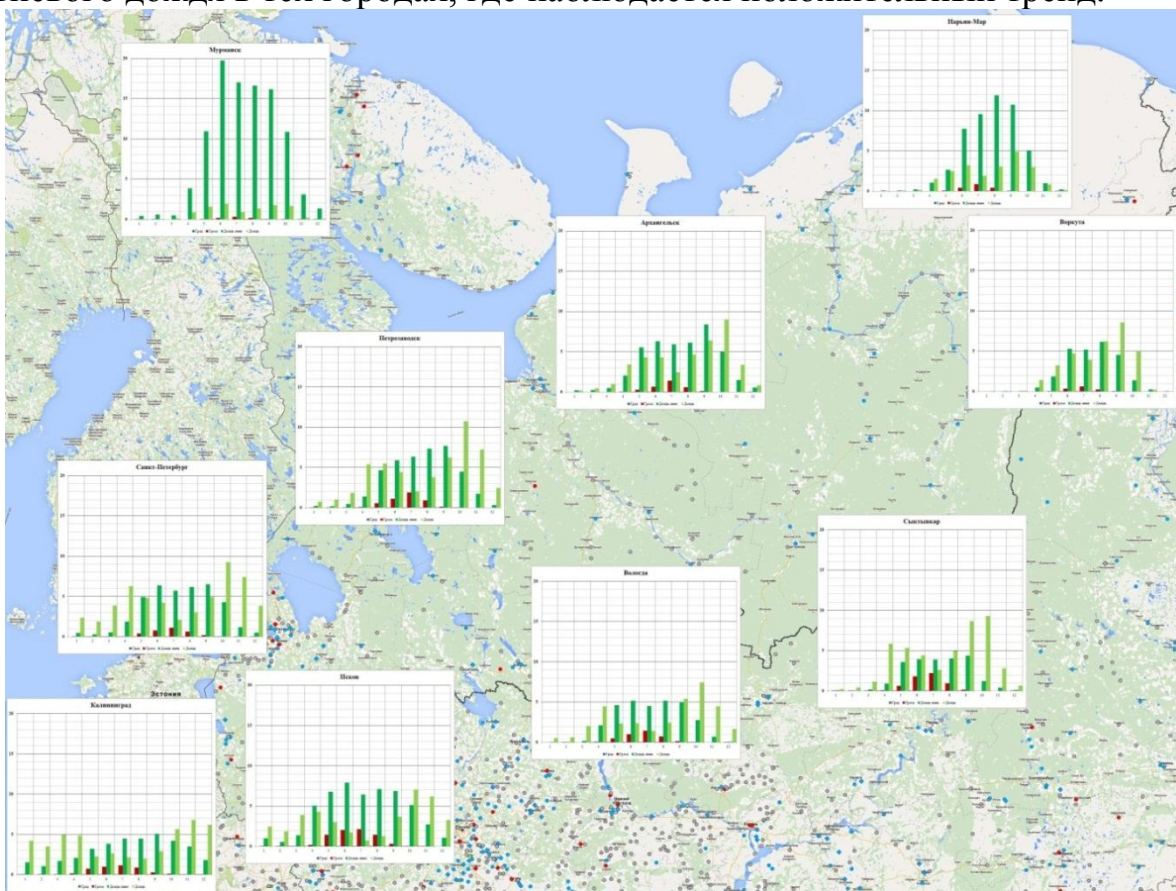


Рисунок 6 – Годовой ход повторяемости града, грозы, ливневого дождя и дождя, %

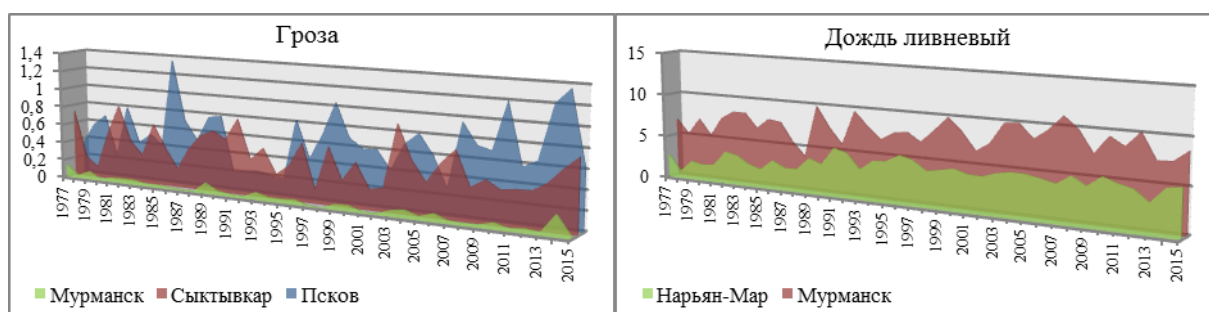


Рисунок 7 – Изменение среднегодовой повторяемости гроз и ливневых дождей за период с 1977 по 2015 гг, %

В результате проделанных расчетов можно сделать следующие выводы:

Наибольшая повторяемость гроз наблюдается в июле в Сыктывкаре – 2,2%, немного меньше в Пскове – 2,1%, в остальных городах менее 2%. С учетом повторяемости рассчитанной по количеству гроз за месяц в Сыктывкаре

23%, это говорит об их небольшой продолжительности относительно всего периода измерений. Наименьшая повторяемость гроз наблюдается в Мурманске – 0,3%.

Повторяемость ливневых дождей наибольшая на максимальной отметке в летние месяцы в Мурманске – 20%, а наименьшая – 4,3% в Сыктывкаре в сентябре. При этом в Мурманске наименьшая максимальная повторяемость дождя – 2% в июне, а в Петрозаводске наибольшая – 10,7% в октябре. Годовой ход повторяемости дождей с наименьшей амплитудой в Калининграде.

Повторяемость града из-за его малой продолжительности достигает максимума в 0,012% в Пскове в мае, в остальных городах – ниже 0,006%. В Калининграде град наблюдался даже в январе, в остальных городах он обычно выпадет в теплое время года с максимумами преимущественно в мае, июне и августе, сентябре.

Значительнее всего возросла повторяемость грозы и града в Пскове – фактически в 2 раза за выбранный период. Также наблюдается увеличение в Санкт-Петербурге и Сыктывкаре, и, несмотря на совсем малые проценты среднегодовой повторяемости, в Воркуте и Мурманске.

Ливневые дожди стали выпадать чаще в Мурманске и Нарьян-Маре – за выбранный период наблюдается увеличение тренда с 6,5 до 9,5% и с 2,5 до 5,5% соответственно. В Архангельске, Володе и Воркуте увеличение было незначительным.

Годовой ход повторяемости туманов на западе региона имеет 2 максимума, при продвижении вглубь материка максимум уже наблюдается один. Наибольшая повторяемость и продолжительность туманов наблюдается в Калининграде – максимум вероятности 4,7% в сентябре, а минимум – 0,9% в январе. Меньше всего повторяемость тумана в Сыктывкаре – в максимальном значении 1,2% в сентябре с нечетким годовым ходом.

За 40-летний период среднегодовая повторяемость тумана возросла в Калининграде с 1,8% до 2,1% и совсем незначительно в Воркуте. В остальных городах наблюдается снижение повторяемости туманов, что связано с увеличивающимся годовым количеством осадков и повышающейся среднегодовой температуры воздуха.

В Сыктывкаре наблюдается наибольшее значение повторяемости мглы – 1,1% в январе. Чуть реже мгла может наблюдаться в Воркуте – в холодное время года – до 0,7% в январе и июле. В Вологде и Пскове мгла формируется в теплое время года, с максимальной повторяемостью до 0,9% в сентябре. Значительнее всего за выбранный период повторяемость мглы возрастает в Пскове и Вологде со среднего значения 0,1% до 0,3%.

Морозящие осадки чаще всего повторяются в Санкт-Петербурге – 3,8% в ноябре, наименьший максимум повторяемости мороси в Петрозаводске – 1,5%, но суммарная повторяемость за год минимальная в Мурманске – 4,5%. За выбранный период повторяемость мороси значительно возросла в Санкт-Петербурге – фактически в 3 раза со среднегодового значения 0,6% до 1,9%.

Повторяемость снежных осадков таких как ливневой снег, ливневой мокрый снег, мокрый снег и метель наименьшая в Калининграде – максимум 3,4% приходится на ливневой снег в феврале. Немногим более частота выпадения таких осадков в Санкт-Петербурге – наибольшая повторяемость мокрого снега 3,7% в марте.

К северу региона возрастает повторяемость ливневого снега и метелей. В Мурманске повторяемость ливневого снега максимальна в декабре – 26%, а метелей – наибольшая в январе и феврале 23%. Чаще всего метели наблюдаются в Воркуте – до 25% с января по март. Чуть меньше повторяемость метелей в Нарьян-Маре – до 22% в феврале.

Среднегодовая повторяемость ливневого снега значительно все увеличилась в Нарьян-Маре – с 6% до 9,5% и с 5 до 6% в Архангельске. В 1,5 раза возросла повторяемость ливневого мокрого снега в Мурманске, в 2 раза в Нарьян-Маре и Вологде, почти в 5 раз в Архангельске. Мокрый снег стал выпадать в 2 раза чаще в Сыктывкаре и более, чем в 3 раза в Санкт-Петербурге. Незначительное увеличение повторяемости мокрого снега за выбранный период наблюдается в Воркуте, Пскове и Вологде.

Гололедно-изморозевые отложения и ледяной дождь, способствующий обледенению чаще всего наблюдаются в Нарьян-Маре – иней образуется в течение всего года с максимальной повторяемостью до 30% в феврале. Наибольшая повторяемость изморози – 30% в декабре. Ледяной дождь чаще всего выпадает в Сыктывкаре – 0,088% в октябре, в Пскове значение чуть меньше – 0,086% в ноябре и второй пик наблюдается в феврале – 0,07%, в Санкт-Петербурге повторяемость ледяного дождя достигает 0,081% также в ноябре.

С 1977 года увеличилось среднее значение повторяемости изморози в Вологде – с 5 до 7%, а в Калининграде с 0,6 до 1%. Повторяемость иней увеличилась в Мурманске и Вологде с 10 до 11,6% и с 6 до 8,5%. Значительно все увеличилась повторяемость гололеда в Нарьян-Маре – практически в 3 раза, и, несмотря на то, что ледяной дождь выпадает очень редко, его повторяемость в Петрозаводске увеличилась почти в 5 раз, а в Калининграде – в 7 раз.

До 80% доходит повторяемость дымки в декабре в Калининграде и в течение года не опускается ниже минимальной отметки 45% в мае. Это говорит о ее многочасовой продолжительности в течение суток с максимумом в ночное время около 2 часов ночи и объясняется относительно теплым климатом и непосредственной близостью Балтийского моря.

В Мурманске повторяемость гололедицы достигает 41,8% в феврале. В Санкт-Петербурге чаще всего гололедица наблюдается в марте – 17,7%. Минимальная повторяемость гололедицы – в Воркуте, она не поднимается выше 0,5% в мае и ноябре.

При продвижении вглубь материка возрастает повторяемость снежных осадков – в Сыктывкаре до 36% в декабре. В Мурманске снег выпадает с повторяемостью максимум 4,2%, что резко контрастирует с повторяемостью

ливневого снега и метелей в данном городе. С 60 до 65% возросла среднегодовая линия тренда повторяемости дымки в Калининграде и на 0,5% - повторяемости снега в Сыктывкаре.

На рис. 8 представлено в порядке постановки распределение максимальной за год повторяемости гроз и ливневых дождей в виде изолиний по всему району исследования. Возрастающая до 20% в районе Мурманска повторяемость ливневого дождя объясняется близостью теплого течения Гольфстрим, но минимальное значение вероятности грозы говорит о том, что температуры воздуха в теплое время года не хватает для формирования грозовой деятельности.

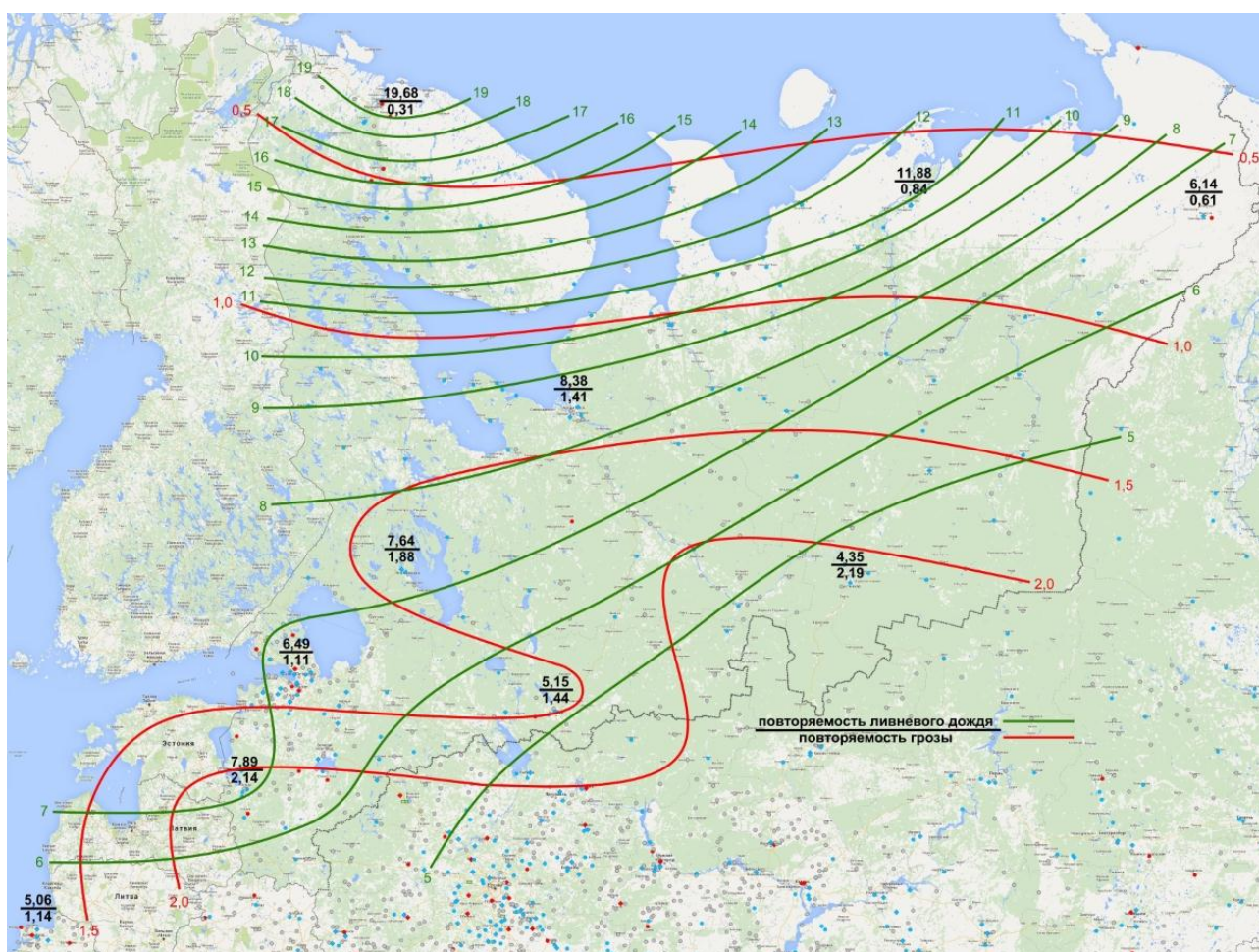


Рисунок 8 – Распределение максимальной за год повторяемости грозы и ливневого дождя

Анализ изолиний повторяемости всех метеорологических явлений является предметом дальнейшего исследования и тогда можно будет говорить не только о метеорологических рисках авиапредприятий, но и о рисках других хозяйственных структур.

Для решения научных и практических задач по метеорологическому обеспечению полетов наиболее целесообразно использовать годовое распределение повторяемости явлений погоды на каждом аэродроме отдельно, т.к. они абсолютно по-разному оказывают свое влияние на производство

полетов и значение среднего ущерба от них будет сильно отличаться, а из-за огромного разнообразия климатических и географических особенностей расположения аэродромов значения экстремумов в годовом распределении метеоявлений наблюдаются в различные месяцы и даже сезоны года.

Таким образом, используя статистический метод оценки риска, основанный на определении вероятности по имеющимся многолетним архивным данным наблюдений за явлениями погоды, с помощью разработанной автором методики и программного решения можно рассчитать метеорологические риски от возникновения опасных явлений и сложных условий погоды с учетом их повторяемости и продолжительности, которые могут оказать негативное влияние на безопасность и регулярность полетов.

Заключение

Для выполнения поставленной задачи по оценке опасных явлений погоды и связанных с ними метеорисков для Северо-западного федерального округа было проведено исследование и статистическая обработка параметров атмосферы из архивов с метеорологическими данными, которые в некоторых пунктах содержат ряд наблюдений за период до 200 лет.

На основании произведенных расчетов были построены графики годового хода и изменения среднегодовых значений за весь период наблюдений, сделаны соответствующие выводы по пространственно-временным изменениям для каждого выбранного пункта и в целом по всему региону.

В рамках диссертационного исследования были проанализированы классификации опасных явлений и сложных условий погоды для авиации в существующих нормативных документах, изучены материалы по теории рисков и в частности по природным рискам, изучены существующие методики по оценке рисков в различных отраслях. На основании вышесказанного была разработана методика по оценке повторяемости опасных явлений и сложных условий погоды с учетом не только количественного показателя повторяемости, но и качественного показателя – продолжительности самого метеорологического явления.

Данная методика была реализована с помощью программных решений, позволяющих загружать данные из архива регулярных сводок в формате METAR и из архива наблюдений за явлениями погоды с указанием времени их начала и окончания. Данные программы производят расшифровку вводимой информации, расчет повторяемости конкретных метеорологических явлений и экономического ущерба от реализации негативных последствий.

В результате проделанной работы были получены следующие результаты:

1. Изученные параметры атмосферы и повторяемости явлений погоды претерпевают сильные изменения на территории региона из-за его большой протяженности и различных физико-географических условий расположения выбранных городов. Годовой ход температуры и его амплитуда увеличиваются

при продвижении на север и вглубь материка от Калининграда к Мурманску и Воркуте. Изменение среднегодовой температуры, особенно в зимний период, за последние несколько десятков лет привело к уменьшению количества снежных осадков и увеличению суммарного количества осадков за счет большей повторяемости дождей и смешанных осадков. В выбранных для исследования пунктах среднегодовые значения атмосферного давления снижаются, а количество часов солнечного сияния незначительно увеличивается.

2. Разработанная методика, реализованная с помощью программного решения, дает возможность производить оценку метеорологических рисков с помощью анализа данных наблюдений за явлениями погоды с учетом их продолжительности, позволяя выстраивать не только годовой ход, но и суточное распределение вероятности возникновения опасных явлений и сложных условий погоды.

3. Исследованные тренды повторяемости явлений погоды на основных аэродромах Северо-западного федерального округа показали, что за период с 1977 по 2015 гг в Воркуте, Вологде и Пскове наблюдается наибольшее количество явлений, повторяемость которых возрастает. В Пскове наблюдается наибольшая повторяемость гроз и града и за выбранный период она возросла в своем среднегодовом значении в 2 раза. Несмотря на то, что в Нарьян-Маре наблюдается увеличение тренда повторяемости всего четырех явлений погоды – ливневые осадки, ливневые снежные осадки, гололедные отложения, их увеличение одно из самых значимых, относительно изменений повторяемости на других выбранных аэродромах.

4. Произведенная оценка повторяемости опасных явлений и сложных условий погоды показала, что наиболее сложным для выполнения полетов в зимнее время является Нарьян-Мар с большим количеством продолжительных метелей, ливневых снежных осадков, наличия гололедно-изморозевых отложений. Производство полетов в Мурманске осложняется из-за продолжительных ливней в теплое время года, а в Калининграде – из-за большого количества и продолжительности явлений, ухудшающих видимость фактически в течение всего года.

На каждом аэродроме в зависимости от интенсивности воздушного движения метеорологические риски от одного и того же опасного явления погоды будут разные. При постоянно увеличивающихся объемах воздушного движения из-за сбоев в регулярности полетов возрастает и чувствительность авиапредприятий к ним и их экономические ущербы.

Учёт влияния метеорологических рисков необходим при решении различных экономических задач авиапредприятия и задач по обеспечению регулярности, а главное безопасности полётов. Используя для этих целей методы статистического анализа, полученные результаты можно использовать для экстраполяции вероятности их появления в будущем.

Методика и программное решение для расчетов повторяемости явлений погоды с учетом их продолжительности и связанных с ними метеорисков, разработанные автором в данном диссертационном исследовании, могут быть

использованы в качестве необходимого инструмента для модернизации авиационной системы, представленной в Глобальном аэронавигационном плане ИКАО. Данная методика является универсальной и позволяет рассчитать возможные экономические потери для метеорологических рисков на любом аэродроме для различных типов ВС и для всех опасных явлений погоды или сложных для производства полетов метеоусловий.

Публикации автора по теме диссертации

По теме диссертации автором опубликованы статьи в журналах, в том числе из перечня ВАК (выделены полужирным шрифтом):

1. **Афанасьева Ю.С. Метеорологические риски, их анализ и учет при планировании работы авиапредприятия/ Афанасьева Ю.С., Богаткин О.Г.// Межвузовский тематический сборник научных трудов. Вып.IX/ под ред. М.Ю.Смурова – СПб.:СПбГУ ГА, 2015 – с.106-109**

2. Афанасьева Ю.С. Оценка метеорологических рисков в гражданской авиации/ Афанасьева Ю.С., Богаткин О.Г.// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2017 - № 1(14). – с.5-13.

3. Афанасьева Ю.С. Оценка метеорологических рисков для авиации с помощью программных средств/ Афанасьева Ю.С., Богаткин О.Г., Виксин И.И.// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2017 - № 2(15). – с.37-44.

4. Афанасьева Ю.С. Оценка вероятности возникновения наземного обледенения воздушного судна/ Афанасьева Ю.С., Богаткин О.Г., Виксин И.И.// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации – 2017 - № 3(16). – с.107-116.

5. Афанасьева Ю.С. Оценка влияния метеорисков на экономическую эффективность полетов ВС/ Афанасьева Ю.С., Богаткин О.Г.// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации – 2018 - № 2(19). – с.117-124.

6. Афанасьева Ю.С. Основные принципы учета рисков формирования ливневых осадков при планировании полетов ВС/ Афанасьева Ю.С., Белоусова Л.Ю., Богаткин О.Г.// Межвузовский тематический сборник научных трудов. №12/ под ред. М.Ю.Смурова – СПб.:СПбГУ ГА, 2015 – с.105-111.

7. Афанасьева Ю.С. Метеорологические риски для авиации арктических регионов РФ/ Афанасьева Ю.С., Белоусова Л.Ю., Богаткин О.Г.// Арктические берега: путь к устойчивости: Материалы конференции/ редакционная коллегия: Румянцева Е.А., Гогоберидзе Г.Г., Князева М.А. – Мурманск: МАГУ, 2018 – с.316-319.