



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологических прогнозов
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **«Анализ условий образования обледенения в районе прогнозирования
АМСГ Жуковский»**

Исполнитель **Русалева София Михайловна ПМЗ-Б16-2-3**

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель **кандидат географических наук**

(ученая степень, ученое звание)

Волобуева Ольга Васильевна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Анискина Ольга Георгиевна

(фамилия, имя, отчество)

«14» июня 2021 г.

Санкт-Петербург

2021

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Сокращения	
Введение	4
1. Обледенение и его влияние на полет самолетов	6
1.1 Основные характеристики обледенения	6
1.2 Причины образования обледенения	6
1.3 Метеорологические условия обледенения	6
1.4 Синоптические условия обледенения	7
2. Материалы и методы прогнозирования обледенения	7
2.1 Общие сведения и передача данных с борта воздушного судна	7
2.2 Климатологическое описание аэродрома Раменское	10
2.3 Циркуляционные процессы и синоптические ситуации, типичные для московских аэродромов	11
3. Анализ повторяемости случаев с обледенением и расчетные методы прогноза	15
3.1 Синоптический метод прогноза	29
3.2 Расчет по методу Годске	30
3.3 Расчет интенсивности обледенения	33
3.4 Расчет обледенения физико-статистическим методом по данным АМСГ Жуковский	37
4. Разбор случаев с обледенением на аэродроме Раменское	40
4.1 Образования обледенения ВС во фронтальной облачности	40
4.2 Образования обледенения ВС во внутримассовой облачности	45
Заключение	51
Список использованных источников	54

Сокращения

UTC - всемирное координированное время

МБ – миллибар

Р/З – радиозонд

ДМРЛ - доплеровский метеорологический радиолокатор

ИСЗ – искусственный спутник земли

МВЗ – московская воздушная зона

ВС – воздушное судно

ВНГО – высота нижний границы облаков

ТНГО – температура нижний границы облаков

Cb – кучево-дождевая облачность

St – слоистая облачность

Sc – слоисто-кучевая облачность

Ns – слоисто-дождевая облачность

Ac – высоко-кучевая облачность

As – высоко-слоистая облачность

Сi – перистая облачность

АМСГ – авиационная метеорологическая станция гражданская

АВ-6 – авиационный журнал

АМИС-РФ – авиационная метеорологическая информационно-измерительная система

Введение

Обеспечение безопасности полета в сложных метеорологических условиях является одной из важнейших проблем современной авиации. Обледенение ВС относится к числу опасных для полетов явлений. Несмотря на то, что все современные самолеты и вертолеты оборудованы противообледенительными системами, при обеспечении безопасности полетов постоянно приходится считаться с возможностью отложения льда на ВС в полете [7].

Ухудшение летных качеств ВС при полете в зоне обледенения зависит от его интенсивности, количества отложившегося на поверхности самолёта льда, формы ледяных отложений и структуры льда [1].

Статистика показывает, что число летных происшествий, которые возникают из-за опасных воздействий именно внешней среды, в авиации весьма значительно. Поэтому исследование влияния обледенения на аэродинамические характеристики пассажирских и транспортных самолетов является актуальной проблемой, связанной с безопасностью и регулярностью полетов [2].

Целью работы является анализ условий образования обледенения в районе прогнозирования АМСГ Жуковский, а также оценка эффективности и оправданности методов прогноза обледенения с использованием различных способов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Сформировать базу данных с обледенением из дневников погоды АВ-6 и данных АМИС-РФ за период 2016 - 2020 гг.
- Рассчитать статистические характеристики: число дней с обледенением, распределение случаев с обледенением по интенсивности, месяцам, эшелонам, уровню изотерм, форме облачности;
- Рассмотреть синоптические ситуации в дни с обледенением;

- Рассмотреть температурно-влажные условия в зоне образования обледенения;
- Проанализировать взаимосвязь сопутствующих явлений погоды с разными барическими образованиями;
- Оценить эффективность и оправдываемость методов прогноза обледенения;
- Разобрать случаи с обледенением в зоне полетов аэродрома Раменское.

1. Обледенение и его влияние на полет самолетов

1.1. Основные характеристики обледенения

Обледенение – неблагоприятное метеорологическое явление, влияющее на безопасность полетов воздушных судов и в отдельных случаях приводящее к авиационному происшествию или инциденту [2].

Обледенение опасно как во время полета, так и при нахождении воздушного судна на аэродроме [5].

Обледенение может ухудшать аэродинамические и летные характеристики самолетов: уменьшается подъемная сила, увеличивается масса самолета, снижается тяга силовой установки, уменьшается вертикальная скорость набора высоты, снижаются потолок и максимальная скорость полета, увеличивается расход топлива [3].

1.2. Причины образования обледенения

Отложения льда на самолете появляются в результате замерзания, оседающих на его поверхности переохлажденных капель воды или из-за сублимации водяного пара. При этом температура поверхности самолета должна быть отрицательная. Вторым видом обледенения возникает, если парциальное давление водяного пара по своему состоянию близко к давлению насыщенного водяного пара над льдом и при условии, что значение температуры самолета меньше температуры окружающего воздуха [6].

1.3. Метеорологические условия обледенения

Для возникновения обледенения необходимо:

- наличие отрицательной температуры поверхности ВС и наличие в воздухе сконденсированной влаги (облака, осадки).
 - температуры воздуха от 0 до -20 °С, чаще от 0 до -10 °С.
 - дефицит точки росы 3 °С и менее
 - облака, состоящие из капель воды или смеси капель с кристаллами льда
- [2].

1.4. Синоптические условия обледенения

Обледенение ВС чаще происходит на атмосферных фронтах. Интенсивность такого обледенения больше, чем при внутримассовой облачности.

На теплом фронте обледенение возможно при температуре -10, -20 °С. На холодном фронте I рода интенсивность обледенения преимущественно умеренная, на холодном фронте II рода интенсивность обледенения, как правило, сильная. На фронте окклюзии обледенение чаще наблюдается на холодном фронте в точке окклюзии [4].

2. Материалы и методы прогнозирования обледенения

2.1 Общие сведения и передача данных с борта воздушного судна

Метеорологическое обеспечение полетов на аэродроме Раменское осуществляется круглосуточно. Инструкция определяет порядок осуществления безопасности полетов на аэродроме.

Индекс местоположения аэродрома по ИКАО: UUBW

Аэродром Раменское расположен в 35 км к юго-востоку от г. Москвы.

Географические координаты контрольной точки аэродрома:

55° 33'10.3" с 038°08'59.3" в.

Абсолютная высота (Н кта) + 115.11м

Регламент работы аэродрома (время ВСВ) – круглосуточно.

Магнитное склонение + 10°49'.

Класс аэродрома – I (А).

Полоса аэродрома (ВПП 12/30) размером 4600*70 м, МКпос 121°/301°

Превышение порогов ВПП 12 – 122.2 м, ВПП 30 – 114.5 м

На аэродроме используется светосигнальное оборудование типа ОВИ-2 IDMAN с МКпос 301° и типа ОВИ -1 IDMAN (без огней приближения) с МКпос 121°.

Метеорологической информацией обеспечивается комплекс управления воздушным движением летно-испытательного центра:

- руководитель полетов аэродрома Раменское, автоматизированное рабочее место персонала обслуживания воздушного движения;
- аэродромный пункт по обслуживанию и планированию воздушного движения;
- штурманская служба.

Наблюдения за метеорологическими параметрами техник-метеоролог производит с помощью автоматической метеорологической информационно-измерительной системы (АМИС-РФ). Расположение метеорологического оборудования и линий связи изображено на схеме (Рисунок 2.1.1).

СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ЛИНИЙ СВЯЗИ

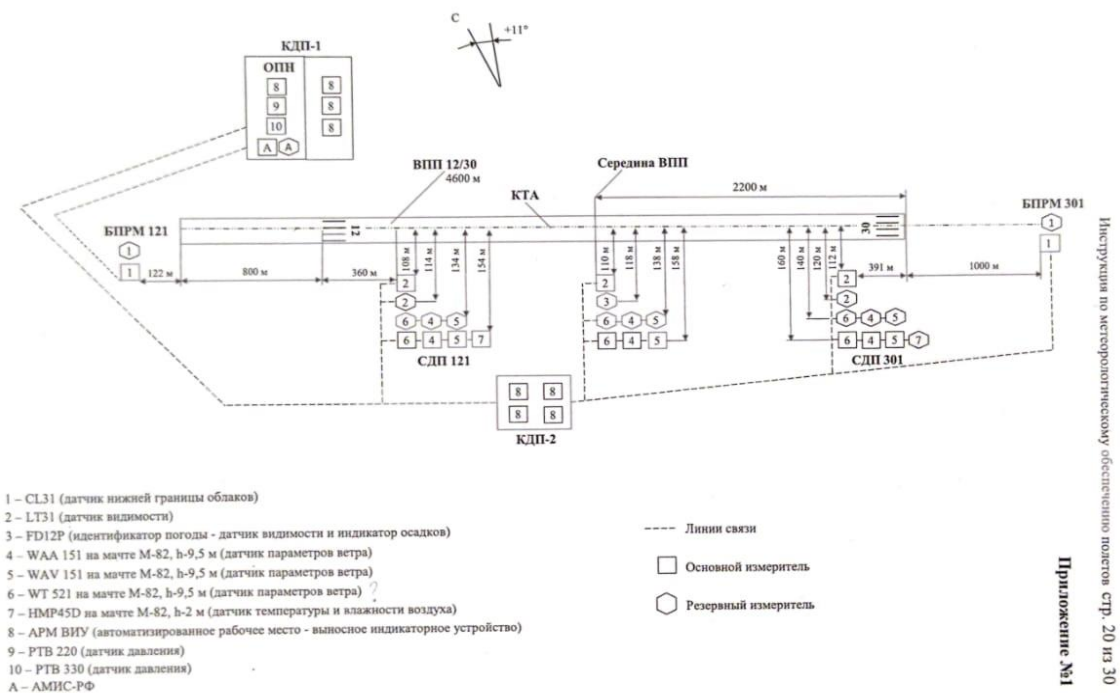


Рисунок 2.1.1 - Схема размещения метеорологического оборудования и линий связи

Данные наблюдений о обледенении передаются с борта воздушного судна через органы УВД технику-метеорологу. Техник-метеоролог вводит данные в АМИС-РФ, местные сводки погоды и фиксируются в электронном журнал погоды. Полученная информация записывается в Журнал входящей информации и сообщается дежурному синоптику(П)/(Б).

Данные бортовой погоды, переданные дежурному синоптику (П)/(Б), записываются им в Журнал бортовой погоды с указанием времени передачи и номера борта ВС, и используются при метеорологических консультациях потребителей, экипажей ВС и при составлении предупреждений по аэродрому.

Информация о обледенении действует в течение одного часа, если не поступают новые донесения от экипажей ВС.

В случае необходимости, по указанию дежурного синоптика (П)/(Б), техник-метеоролог запрашивает у РП информацию о наличии обледенения, в районе аэродрома [8].

2.2. Климатологическое описание аэродрома Раменское

Климатологическое описание аэродрома Раменское выполнено с использованием 5-летнего ряда метеорологических наблюдений с 2016 по 2020 гг.

Аэродром Раменское расположен в юго-восточной части городского округа Жуковский и в 35 км к юго-востоку от Москвы.

Аэродром расположен в зоне умеренно-континентального климата. Рельеф местности, в пределах аэродрома Раменское, является слегка всхолмленной равниной с лесным ландшафтом, где максимальная абсолютная высота рельефа в районе аэродрома достигает 214 м. Леса смешанные, с преобладанием хвойных деревьев. Лесом покрыта и часть территории аэродрома, который расположен вместе с обширным водоемом северовосточнее полосы, в 370 м от КТА.

С МК пос 301° на расстоянии 300 м северовосточнее от осевой линии полосы находится озеро Генеральское. Подходы к аэродрому с севера, северовостока, востока ограничены хвойным лесом высотой до 25 м и аэродромными сооружениями. Подходы к аэродрому с других сторон открыты. Почва супесчаная с травяным покровом.

С северо-запада на юго-восток района аэродрома протекает незамерзающая Москва-река, практически примыкающая к летному полю, в районах МК пос 121°- (700 м), середине ВПП (500 м) и МК пос 301°- (400 м), которая обуславливает образование на аэродроме частых туманов. В восточной части летного поля находится небольшая котловина, где часто образуются поземные радиационные туманы. Грунтовые воды залегают на глубине 15-20 м.

Основными линейными ориентирами являются: Казанская железная дорога (Москва-Раменское), прилегающая в 2 км северо-восточнее аэродрома; Новорязанское шоссе расположенное в 3 км юго-западнее аэродрома, параллельное железной дороге и полосе. Железнодорожная и шоссейная магистрали имеют общее направление с северо-запада на юго-восток [9].

2.3. Циркуляционные процессы и синоптические ситуации, типичные для московских аэродромов

На погоду средней полосы Европейской территории (ЕТ) России, в том числе на погоду московских аэродромов, оказывают влияние воздушные массы, поступающие с Атлантики, с районов Южной Европы, Средиземного, Черного и Каспийских морей, из Средней Азии и Казахстана, реже из Западной Сибири, а также из Арктики.

Большую роль в формировании погоды московских аэродромов играет Атлантический океан. Североатлантический воздух поступает на ЕТ России через север западной Европы, Балтийское море и Скандинавию. Чаще всего это происходит по юго-восточной периферии обширной циклонической системы.

Воздушные массы из Южной Европы несут потепление. Теплый воздух над Южной Европой формируется в Азорских антициклонах или в южной части обширных циклонических систем, охватывающих всю Западную Европу, прилегающие районы Атлантики, Средиземное море, а иногда и север Африки. Важное климатологическое значение южно-европейского воздуха заключается в том, что с его адвекцией связан переход весной средней суточной температуры воздуха через 0°C в сторону положительных значений, что приводит к разрушению снежного покрова.

На погоду московских аэродромов оказывают влияние холодные воздушные массы из Арктики. Причем, воздействие на погоду воздуха из Западной и Восточной Арктики различно. Западно-арктический воздух

формируется над западной частью Северного Ледовитого океана, Баренцевым морем и севером ЕТ России. Поскольку эти районы согреты теплым океаническим течением Гольфстрим, образующийся над ними воздух значительно теплее арктического воздуха, приходящего с востока. Граница между районами формирования западно-арктического и восточно-арктического воздуха проходит примерно по 50° в.д.

Воздушные массы из Восточной Арктики несут более значительные похолодания, чем при вторжениях с Западной ее части. Повторяемость этих воздушных масс мала. Они формируются над ледяными полями Восточного сектора Арктики и над севером Западной Сибири. С такими синоптическими процессами в зимний период связаны резкие похолодания, а в весенний период возвраты холодов и заморозки. Влагосодержание восточно-арктического воздуха очень мало.

Иногда воздушные массы задерживаются длительное время в барических системах, располагающихся над центром ЕТ России; в результате формируется местная воздушная масса. Воздействие такого воздуха на погоду во многом зависит от его происхождения.

Погоду московских аэродромов могут определять и другие типы воздушных масс, в зависимости от перестройки циркуляции. Конкретных синоптических ситуаций может быть бесчисленное множество.

Сложные условия погоды в течение всего года связаны, в основном, с циклонической деятельностью. Циклоны, обуславливающие погоду московских аэродромов, чаще всего перемещаются с северо-запада (44% всех случаев), особенно часто они отмечаются в зимний период (в январе 62% случаев). В остальные месяцы повторяемость этих циклонов составляет 20-40%, минимум приходится на июль.

В теплый период (май-август) большую повторяемость имеют циклоны южного происхождения (16-25%) и западного (около 15%). В летнее время наблюдаются единичные случаи циклонов с востока.

Зимой наиболее продолжительное влияние на московские аэродромы оказывают северо-западные циклоны – максимальный жизненный цикл серии таких циклонов достигает 13 дней, а летом - местные и южные циклоны, продолжительность их существования составляет 7-10 дней. Зимой южные циклоны реже достигают московских аэродромов, чем летом, но при этом обуславливают резкие ухудшения погодных условий.

Южными принято называть циклоны, которые зарождаются над Средиземным, Черным и Каспийским морями и затем перемещаются на центральные районы ЕТ России. Для возникновения и развития циклона необходим значительный контраст температуры во фронтальной зоне. В низких широтах значительные горизонтальные градиенты температуры во фронтальной зоне создаются адвекцией холодных воздушных масс. Наиболее благоприятные условия для интенсивного затока холода на Средиземное море и обострение фронтальной зоны возникают при меридионально преобразованном барическом поле нижней половины тропосферы, но этого условия недостаточно. При меридионально преобразованном циклоническом поле, но при интенсивном тропосферном фронтогенезе севернее и восточнее Альп, выход средиземноморских циклонов на ЕТ России исключаются. Углубление средиземноморских циклонов обычно происходит над Украиной и юго-западной частью ЕТ России при интенсивном локальном фронтогенезе над низовьями Дуная и западной частью Черного моря.

Циклоны, формирующиеся над севером Атлантики, чаще смещаются на Скандинавию, затем на северные районы ЕТ России, Урала и Сибири. Фронтальные системы, связанные с ложбинами этих циклонов, приводят к ухудшению условий погоды на московских аэродромах. Развитию циклонов над северной Атлантикой, их углублению над Скандинавией, Балтийским морем способствует обвал холодных воздушных масс с Гренландии на Норвежское море и вынос тепла по периферии высотного гребня, ориентированного с севера Африки на северо-западную часть Европы. Во фронтальной зоне над северной частью Атлантического океана

температурные градиенты увеличиваются, что способствует образованию волновых возмущений на арктическом фронте и их развитию в циклоны.

Особенно интенсивные циклоны со штормовыми скоростями ветра возникают в тех случаях, когда в процессе формирования циклона участвуют воздушные массы трех основных типов – тропический, полярный и арктический воздух. Если центр молодого циклона оказывается близким к арктическому фронту, то арктический воздух входит в область циклона, усиливая его термический контраст и, следовательно, его кинетическую энергию. В подобных случаях циклоны охватывают всю тропосферу, характеризуются большими градиентами и очень ярко-выраженным изаллобарическим полем. Такие случаи над ЕТ России наиболее вероятны весной и осенью. Скорости движения таких с северо-запада и севера на ЕТ России составляют 80-100 км/ч и более, эти циклоны получили название «ныряющих».

На погоду московских аэродромов в немалой степени оказывают влияние мезоциклоны, возникающие на волнах холодных фронтов. Мезоциклоны могут развиваться и распространяться на всю тропосферу или заполняться, едва достигнув стадии молодого циклона, или проследиваться только в нижнем слое атмосферы. Возникновение мезоциклонов зависит от приземного барического поля, полей ветра и температуры, местных физико-географических особенностей. На развитие мезоциклонов оказывает влияние и высотное термобарическое поле: контраст температуры в высотной фронтальной зоне, а также изменения в воздушном потоке в направлении движения циклона (конвергенция и дивергенция).

Мезоциклоны образуются в передней части высотной ложбины, и их траектория смещения зависит от ориентации оси ложбины. Мезоциклоны могут образовываться непосредственно над Москвой и московской областью или смещаться на московские аэродромы по ведущему потоку, в основном с северо-запада, запада, юго-запада и юга. При их смещении в теплый период года происходит развитие конвективной облачности, отмечаются грозы,

ливни, град, шквалы; в холодный период – преимущественно низкая облачность, сильные осадки, замерзающие осадки, сильный ветер, метели.

Повторяемость антициклонов от сезона к сезону резко изменяется. В холодный период на ЕТ России преобладает отрог высокого давления, обычно соединяющийся с сибирским максимумом и являющийся следствием вовлечения в его систему антициклонов преимущественно северо-западного происхождения и выдвигения на запад гребня сибирского максимума. В январе-феврале повторяемость восточных отрогов сибирского антициклона составляет около 35%. В отрогах при достаточном количестве влаги под инверсией формируется слоистая облачность, из которой может выпадать снег (даже при малой мощности облаков), ухудшающий видимость до 1500-2000 м. По западной периферии Сибирского антициклона нередко происходит вынос порций теплого и влажного воздуха с районов Черного и Азовского морей, что приводит к выпадению замерзающих осадков или осадков в виде снега, резко ухудшающих видимость.

В теплый период характер погоды на западной периферии антициклона может быть различен и зависит от влагосодержания воздуха. В одних случаях здесь наблюдается сухая жаркая погода, а в других – погода с ливнями и грозами. Значительное увеличение влажности у земли и на высотах до 3-х километров, а также повышение температуры воздуха у поверхности земли до 20-25°С приводят к формированию кучево-дождевой облачности с ливнями, грозами, градом и шквалом [9].

3. Анализ повторяемости случаев с обледенением и расчетные методы прогноза

На представленной диаграмме изображена повторяемость синоптических ситуаций на аэродроме Раменское, с подтвержденным бортовой погодой обледенением разной интенсивности (Рисунок 3.1).

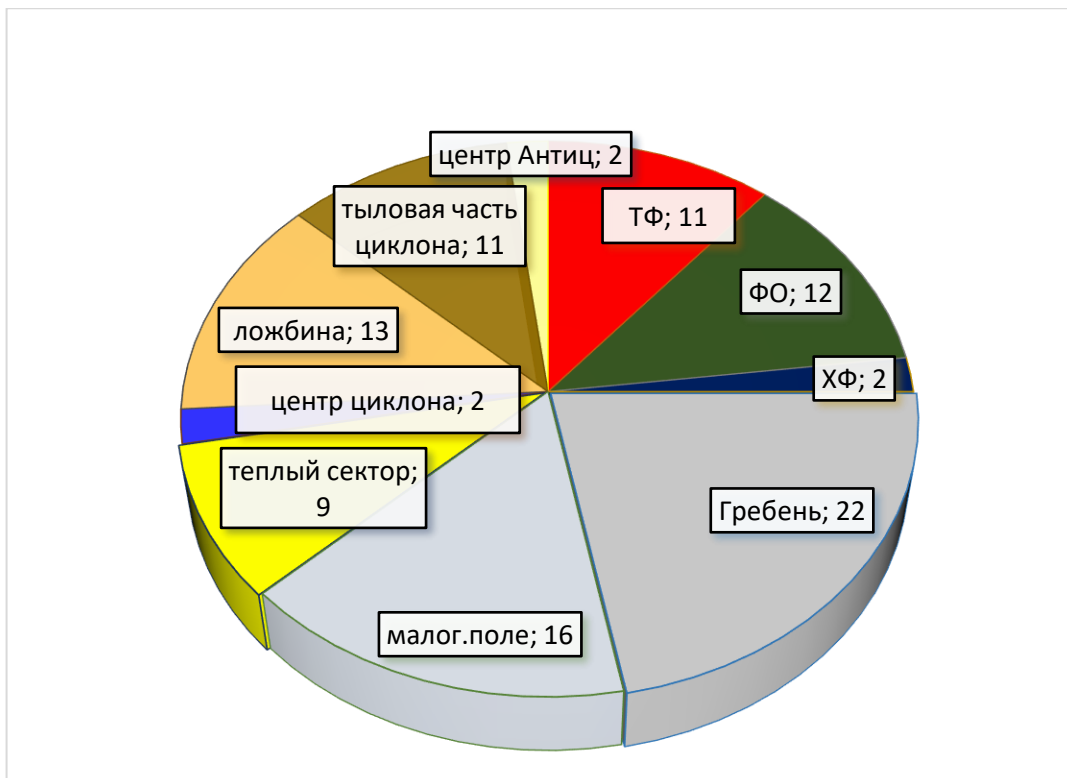


Рисунок 3.1 - Повторяемость синоптических ситуаций на аэродроме Раменское за период с 2016-2020 гг.

В гребне на периферии антициклона в области повышенного давления повторяемость 22%. На фронтах окклюзии и ложбинах, где как правило облачная с осадками погода, всего количество случаев 31. В зоне теплых фронтов, чаще всего в теплом воздухе в интервале температур от -10 до -20°C, повторяемость составляет 11% (Таблица 3.1).

В тыловой части циклона, где зафиксировано всего 13 случаев (11%,) погода определяется свойствами холодного фронта и холодной неустойчивой воздушной массой, как правило с вероятностью обледенения в осенне- зимний период. В теплом секторе циклона, во внутримассовых облаках с образованием устойчивой воздушной массы, где в холодное время года образуется низкая облачность, морозящие осадки и туман - вероятность 9% (11 случаев). В остальных барических образованиях повторяемость обледенения не больше 2%.

Таблица 3.1 – Синоптические ситуации с обледенением разной интенсивности на аэродроме Раменское

Син.ситуация	Повторяемость, %	Кол-во случаев
ТФ	11	14
ФО	12	15
ХФ	2	2
Гребень	22	26
малог.поле	16	19
теплый сектор	9	11
центр циклона	2	2
ложбина	13	16
тыловая часть циклона	11	13
центр Антициклона	2	2

Отдельно проанализируем образование обледенения в малоградиентном поле, в зоне аэродрома Раменское его повторяемость составляет - 16% (Таблица 3.1). Этот вид образования характеризуется низкими значениями барических градиентов пониженного или повышенного давления, образует осадки внутримассового характера, возникающие при конвекции. Повторяемость зон образования в малоградиентном поле за период исследования отражена в Таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Повторяемость зон образования малоградиентного поля за период 2016- 2020гг.

Зона образования	Повторяемость, %
Область повышенного давления	47
Область пониженного давления	53

В зоне аэродрома Жуковский повторяемость образования малоградиентного поля в области повышенного давления составляла - 47%, в области пониженного давления - 53% (Рисунок 3.2). Ярко выраженных значений повторяемости не наблюдается, случаи практически равномерно распределены в областях.

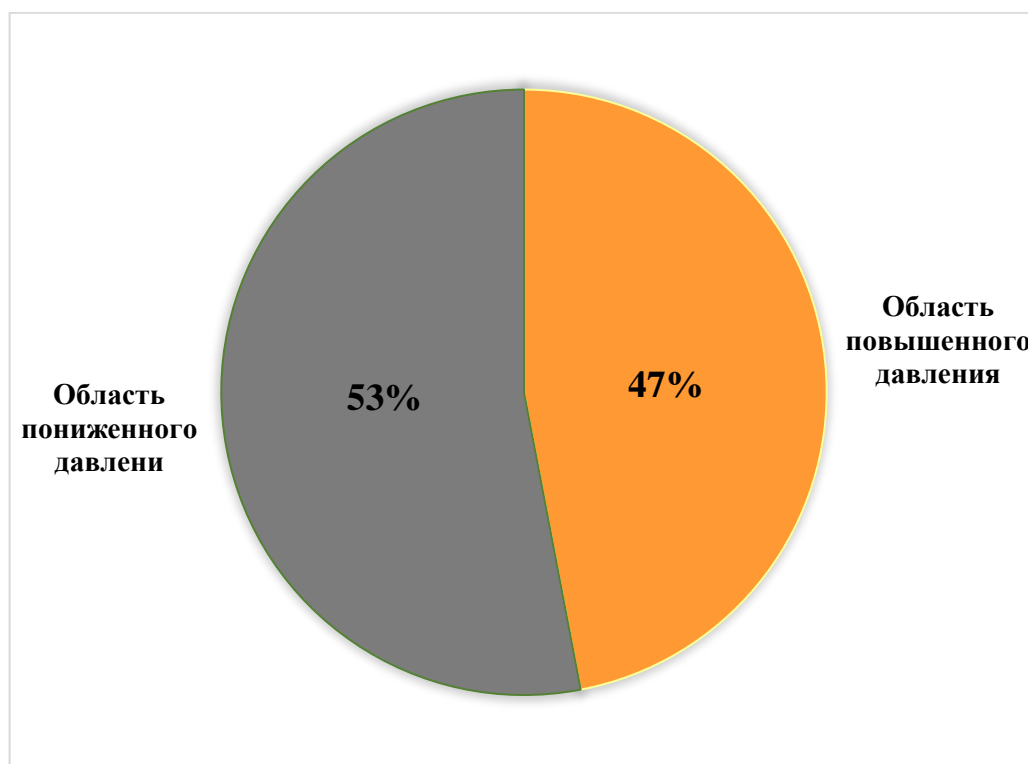


Рисунок 3.2 – Зоны образования малоградиентного поля

Рассмотрим распределение интенсивности обледенения за период с 2016-2020 гг. Количество слабого обледенения, с градацией до 0,5мм/мин, за весь период преобладает – 62 случая (Таблица 3.3). Вероятно, причина такого результата — это невысокая скорость полета ВС. Подтверждение обледенения воздушные борты передают в основном на взлете или посадке, а интенсивность напрямую зависит от скорости полета.

Таблица 3.3 - Распределение случаев с обледенением по интенсивности

Интенсивность	2016	2017	2018	2019	2020
Слабое	15	18	11	8	10
Умеренное	9	12	9	6	10
Сильное	1	2	3	5	1

В 2017 год, обледенения с умеренной интенсивностью со скоростью нарастания льда от 0,5 до 1,0 мм/мин составляло 12 случаев (Рисунок 3.3). Видимо факторов, которые влияют на интенсивность - температура воздуха, водность облака, размер переохлажденных капель, в этом году было больше. Количество случаев сильного обледенения, у которого скорость нарастания льда более 1мм/мин, очень малы – 2 случая. Это связано с тем, что чаще всего подтверждение обледенения в нашем аэропорту передают по запросу синоптика. Если бы бортовую погоду передавали регулярно, количество случаев было бы больше.

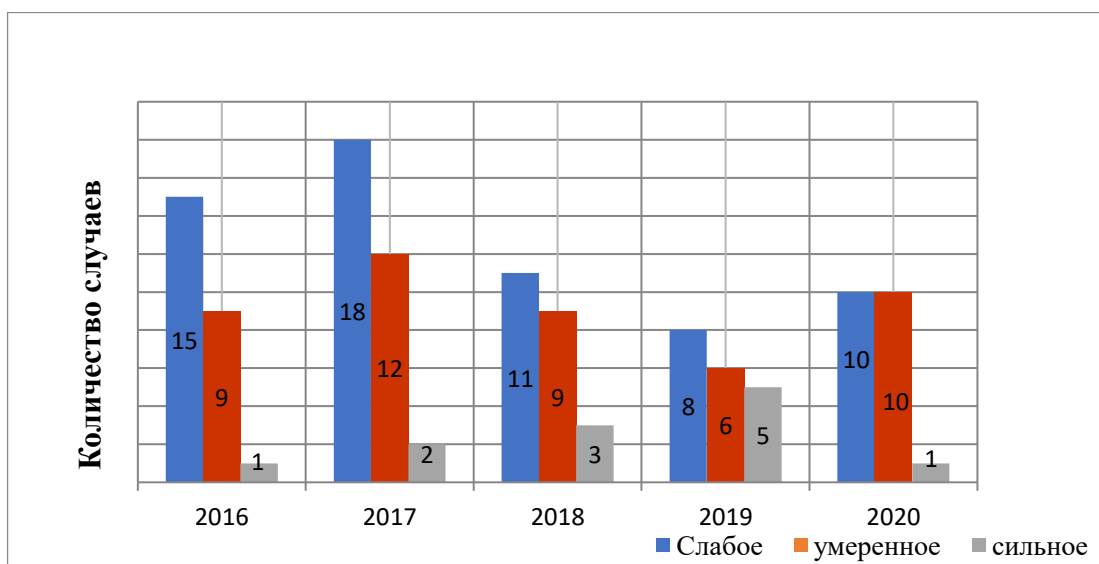


Рисунок 3.3 - Распределение случаев интенсивности на аэродроме Раменское за период с 2016-2020 гг.

Годовое распределение по месяцам за весь период исследования показал повторяемость обледенения в осенне-зимний период более высокую, всего 95 случаев - около 80% (Таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Распределение обледенения по месяцам

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Повторяемость, %	14	20	8	3	3	2	2	1	3	12	14	19
Количество случаев	17	24	9	4	4	2	2	1	3	14	17	23

Этот переходный период характерен обилием осадков в виде дождя, снега, мороси, ледяного дождя, снежной крупы, большой влажностью и температурой окружающего воздуха в диапазоне от 0°С до минусовых значений. В теплый период обледенение отмечается намного реже - 20% или 25 случаев (Рисунок 3.4).

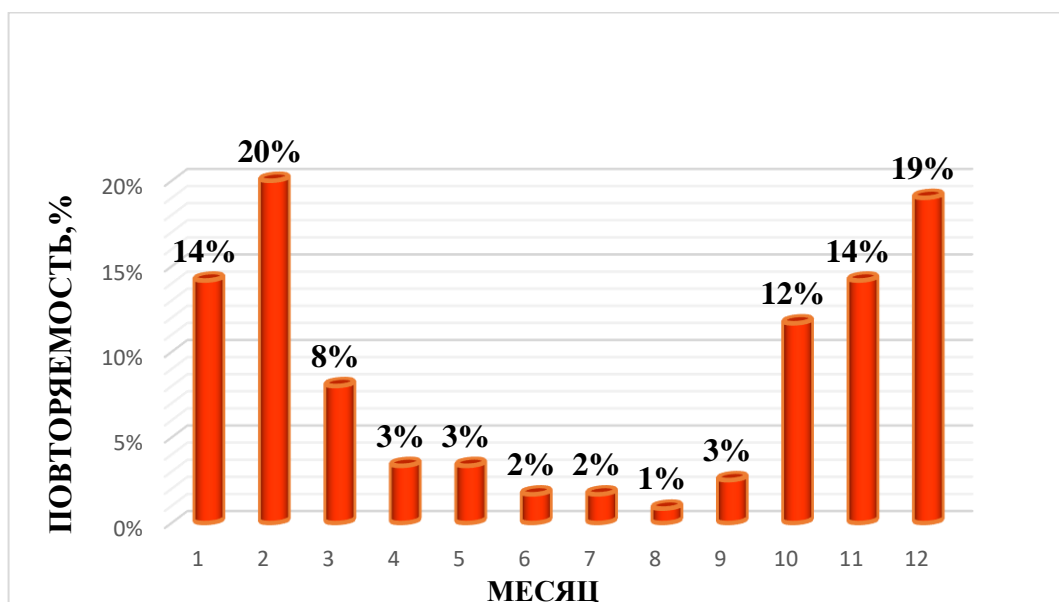


Рисунок 3.4 - Годовое распределение по месяцам на аэродроме Раменское за период с 2016-2020гг.

Теперь рассмотрим сопутствующие явления погоды в период подтверждённых случаев с обледенением в облаках, которые оказывают влияние на водность облака и напрямую зависят от барического образования (Таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Сопутствующие явления погоды в период случаев с обледенением в разных барических образованиях

Син. ситуация	снег	дождь	дымка	замерз. дождь	замерз. морось	турб	туман	Всего
Теплый фронт	4	1	1	1		2		9
Фронт окклюзии	6	4	3		1	2		16
Холодный фронт	1							1
Гребень	5	2	2		1	1		11
Малоград поле	2	5	6					13
Теплый сектор	1		2				1	4
Центр циклона		2						2
ложбина	4	2	1		1			8
Тыловая часть циклона	8	3	2			1		14
Центр антициклона		1						1

В тыловой части циклона образуется неустойчивая воздушная масса и формируются вторичные холодные фронты. В этой части циклона образуются кучево-дождевые облака, из которых выпадают ливневые осадки. Из-за небольшой ширины зоны облачности и кратковременности осадков, обледенение в период их выпадения может быть как слабой, так и умеренной интенсивности. Облака не успевают обедняться влагой.

В малоградиентном поле формируются слоисто- кучевые и слоистые облака в пределах пограничного слоя. Из-за тепла и влагообмена с

подстилающей поверхностью водность с высотой обычно увеличивается. Структура облаков в основном жидкокапельная, поэтому даже при выпадении осадков интенсивность обледенения может оставаться умеренной и в отдельных случаях даже сильной (Рисунок 3.5).

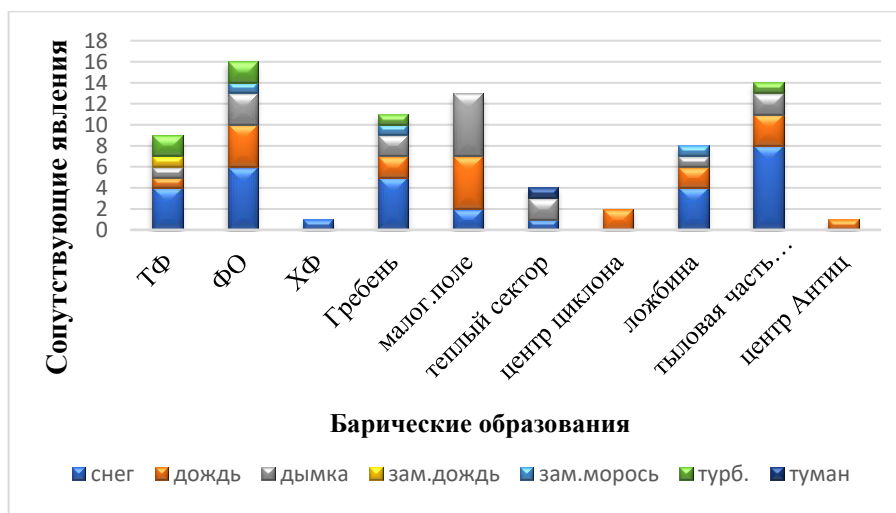


Рисунок 3.5 - Сопутствующие явления погоды в различных барических образованиях

Вероятность образования обледенения в зоне взлета и посадки не только в облачных слоях, но и в осадках, в виде замерзающей мороси и дождя. В представленных случаях с сопутствующим явлением - замерзающие осадки, можно проанализировать синоптическую ситуацию их образования, с учетом многолетних данных циркуляционных процессов, типичных для московских аэродромов. В зоне теплого фронта, вблизи центра циклона как правило, наблюдается низкая облачность и переохлажденные осадки, гололед. В передней части высотной ложбины в холодный период наблюдается преимущественно низкая облачность и замерзающие осадки. Максимум повторяемости образования замерзающих осадков отмечается в декабре (2.2%). В нашем случае замерзающие осадки выпадали именно в декабре, при барическом образовании – ложбина. В зоне высокого давления при западной периферии гребня происходит вынос порций теплого и влажного, что тоже

может привести к выпадению замерзающих осадков. При фронте окклюзии в холодное время года облачность имеет слоистообразный характер, в осадках может наблюдаться обледенение (Таблица 3.5).

Распределение обледенения по эшелонам полета.

От FL0 до FL030 количество случаев зафиксировано 37, повторяемость 31% (Таблица 3.6). На уровне FL031-FL050 повторяемость обледенения составляет 43% (51 случай). Повторяемость на высоте эшелона FL051-FL100 18% (22 случая). Выше FL100, как правило в теплый период времени года, отмечено 10 случаев (8%) (Рисунок 3.6).

Таблица 3.6 - Распределение обледенения по эшелонам

Эшелон	Количество случаев	Повторяемость, %
FL0 - FL030	37	31
FL031- FL050	51	43
FL051- FL100	22	18
>FL100	10	8
Итого:	120	100

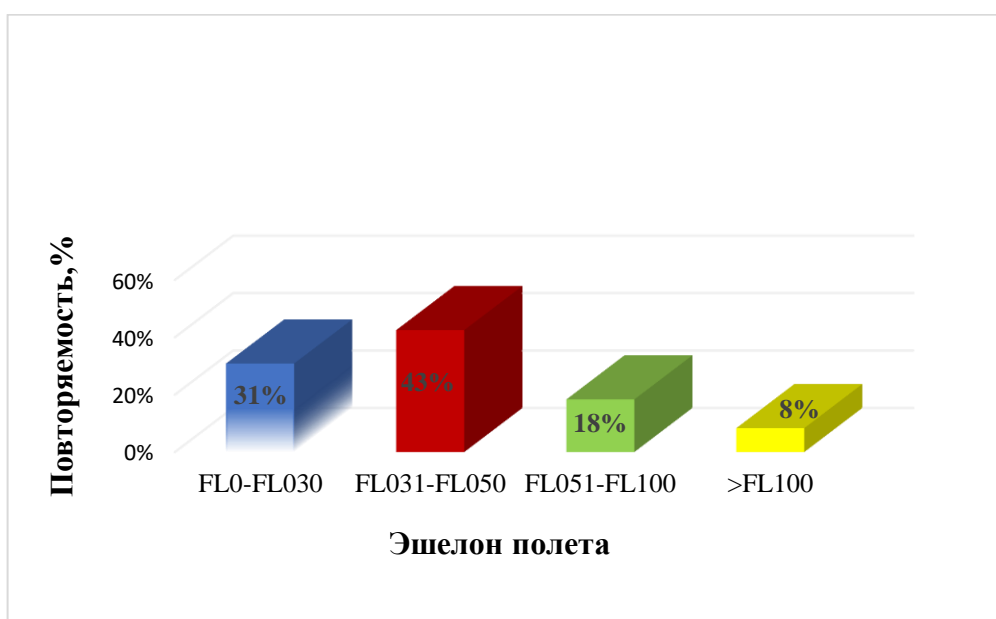


Рисунок 3.6 – Повторяемость обледенения по эшелонам

Можно сделать вывод, что на эшелоне FL031-FL050 (от 900 до 1500 метров) образование обледенения более активное. Как правило, на этом уровне могут формироваться фронтальные облака смешанного характера - слоисто-дождевые (Ns). В этих облаках обледенение наиболее интенсивно в нижней части облака, ближе к линии фронта. Состоят из капель и ледяных кристаллов, при отрицательных температурах капли находятся в переохлажденном состоянии что приводит к обледенению. Так же на этой высоте могут образовываться облака холодного фронта 1 рода и фронта окклюзии по типу холодного, с кучево-дождевыми (CB) облаками с интенсивным восходящим и нисходящим движением. Эти облака из-за турбулентного перемешивания насыщены влагой в нижних слоях атмосферы, поэтому чаще имеют смешанную фазу и образуются как правило в тыловой части циклонов.

Эшелон полета FL0-FL030 показывает повторяемость обледенения 31% (37 случаев) (Таблица 3.6). На этом уровне велика вероятность образования внутримассовой слоистой облачности (St). Как правило они имеют преимущественно капельножидкую структуру, в зоне аэродрома Раменское возникают в холодный период года. Часто причиной возникновения может быть турбулентный теплообмен при адвекции теплого, влажного воздуха на холодную подстилающую поверхность. Капли мелкие и в переохлажденном состоянии могут находиться до -35°C . Так как мощность St облаков менее 1000 метров, поэтому возможно обледенения как реактивных, так и турбовинтовых самолетов в период взлета, набора высоты и особенно снижения и захода на посадку в зоне аэродрома Раменское.

Выше 3000 метров (FL100) повторяемость 8%. На этом уровне облака состоят больше из ледяных кристаллов, переохлажденные капли образуются редко. Вероятность случаев с обледенением ближе к верхнему ярусу повышается при образовании (Ci), после разрушения грозных облаков.

На эшелоне FL051-FL100 формируются облака Ac и As, которые являются переходной ступенью от Ns к Cs, водность, размер капель и

интенсивность которых меньше, чем в предыдущих облаках. Но так как до температуры минус 10°C - 12°C эти облака могут быть капельные, обледенение в них может быть высоким и разной интенсивности.

Дополнительно было проанализировано распределение интенсивности на эшелоне FL051-FL100 (Таблица 3.7). За пятилетний период на аэродроме Раменское было подтверждено 11 случаев – слабого обледенения, 10 - умеренного и даже 1 случай с сильной интенсивностью.

Таблица 3.7 – Распределение интенсивности обледенения на эшелоне FL051-FL100

Эшелон	Интенсивность обледенения			Всего случаев
	слабое	умеренное	сильное	
FL050-FL100	11	10	1	22

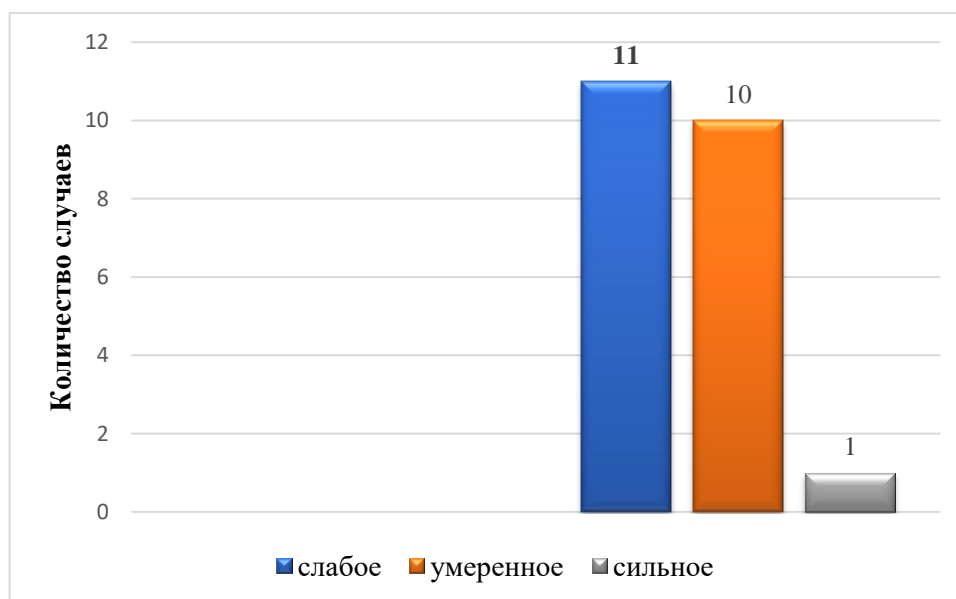


Рисунок 3.7 – Количество случаев с обледенением на эшелоне FL051-FL100

На графике мы видим (Рисунок 3.7) что интенсивность обледенения на этом уровне может быть разная. Это связано с водностью облака, жидкие капли численно преобладают даже при очень низких температурах. Причиной практически равного количества случаев умеренного и слабого обледенения может являться инверсия. Поэтому в нижней части подинверсионных облаков может быть интенсивность обледенения слабая, а в верхней – умеренная. Один случай сильного обледенения может указывать на вероятность большой толщины облака - больше 600метров.

Также можно рассмотреть повторяемость обледенения с учетом инверсии в облаках Sc формы (Таблица 3.8). Эта форма облачности может относиться к внутримассовой, которая возникает в холодный период года в теплых секторах циклонов, на западной или северной периферии антициклонов при адвекции теплого влажного воздуха. Также Sc облачность может образовываться на размытых фронтах при малых углах наклона фронта.

Таблица 3.8 - Повторяемость обледенения в Sc облачности за 2018 г.

Форма облаков	Повторяемость, %
Sc под инверсией	82
Sc без инверсии	18

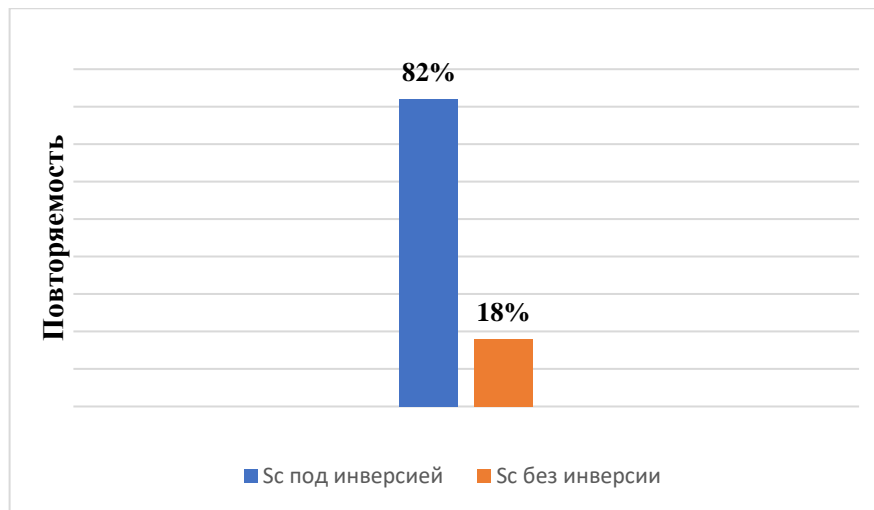


Рисунок 3.8 – Обледенение в Sc облачности за 2018 г. с учетом инверсии

При формировании слоя инверсии, на верхней границе Sc облаков скапливается основное количество влаги, поэтому повторяемость обледенения в этой зоне облаков больше – 82% (Рисунок 3.8). В основном в слое под инверсией интенсивность обледенения умеренная. Для наглядного примера таких случаев продемонстрирована схема (Рисунок 3.9).

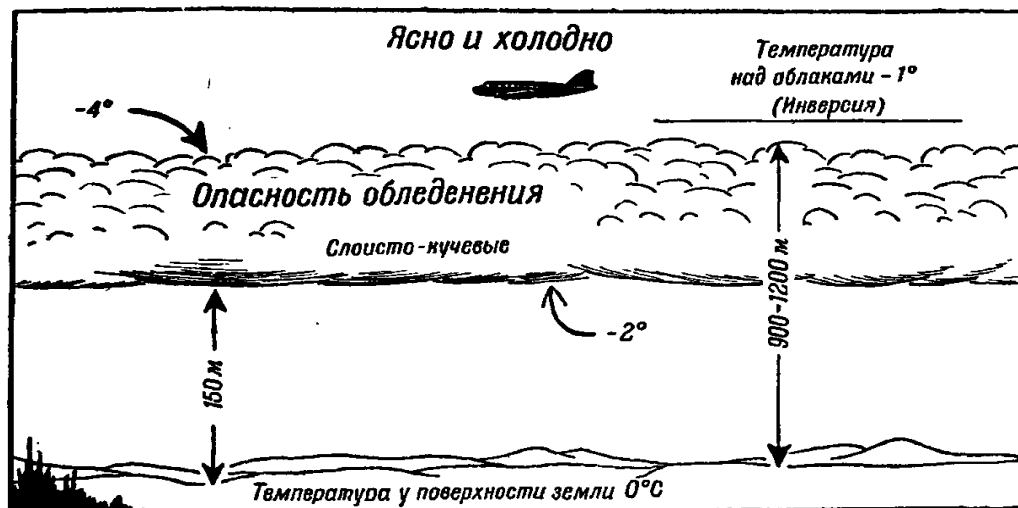


Рисунок 3.9 – Схема возникновения обледенения при инверсии в Sc облаках

Для более детального анализа рассмотрим синоптические ситуации в период образования подинверсионной облачности Sc формы за 2018 г. (Таблица 3.9).

Таблица 3.9 - Синоптические ситуации в период образования подинверсионной Sc облачности

Син. ситуация	Повторяемость, %
Антициклон	7
Гребень	44
Теплый сектор	14
Тыловая часть циклона	7
Фронт окклюзии	14
Малогradientное поле	14

В зоне аэродрома Раменское повторяемость обледенения в подинверсионной Sc облачности чаще наблюдается в барических образованиях свойственных области высокого давления. Из-за равномерного распределения повторяемости (14% и 7%), именно на гребне антициклона слои инверсии наблюдаются чаще - 44%. Высота образования расположена внутри пограничного слоя, от 600 до 1500 метров. Такие инверсии часто возникают, когда разрушается инверсия в приземном слое при наличии ветра и радиационного прогрева. Так как инверсии расположены выше пограничного слоя, то в антициклонах их часто относят к типу - инверсии оседания. Это обусловлено тем, что в антициклоне наблюдаются нисходящие движения воздуха, согласно адиабатическому процессу, при опускании воздух нагревается. В результате верхние слои прогреваются сильнее чем нижние, температура с высотой повышается, тем самым образуется инверсия оседания.

3.1. Синоптический метод прогноза

Этот метод заключается в определении слоев, в которых наблюдается облачность и отрицательные температуры воздуха. Слои с возможным обледенением определяются по аэрологической диаграмме. Наиболее опасное обледенение наблюдается в слое, где температура воздуха колеблется от 0 до -20°C , а для возникновения сильного или умеренного обледенения опасным является перепад температур от 0 до -12°C .

В качестве дополнительной информации синоптики могут использовать установленную зависимость. Если в интервале температур от 0 до -12°C дефицит точки росы больше 2°C , в интервале температур от -8 до -15°C дефицит точки росы больше 3°C , а при температурах ниже -16°C дефицит точки росы больше 4°C , то с вероятностью более 80% обледенение при таких условиях наблюдаться не будет.

Для анализа и подтверждения этой зависимости, были произведены расчеты дефицита точки росы на уровне изотерм от 0°C до -10°C и от -10°C до -20°C , за весь период исследования (Таблица 3.1.1).

Таблица 3.1.1 – Зависимость интервала температур (изотерм) от дефицита точки росы

Изотермы	Дефицит точки росы (ΔT_d)				
	2016	2017	2018	2019	2020
от 0°C до -10°C	2	1,7	1,3	0,7	0,6
от -10°C до -20°C	1,7	1,5	1,7	1,2	1,0

После проведенных расчетов, мы видим, что при прогнозе обледенения можно использовать эту зависимость. Определение слоев со значениями температуры, при которых возможно обледенение, является первоначальной задачей при прогнозе обледенения. Чем меньше показатели дефицита точки

росы, тем больше вероятность образования облачности и тумана (Рисунок 3.1.1).

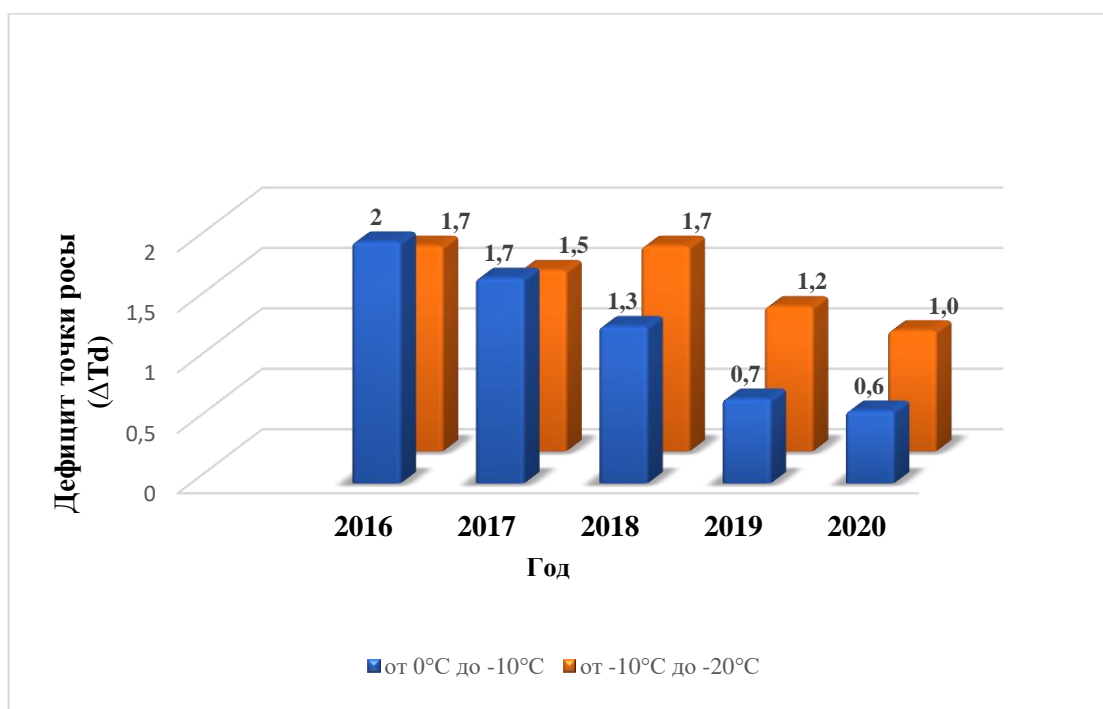


Рисунок 3.1.1 – Показатели дефицита точки в различных интервалах температур

3.2. Расчет по методу Годске

Возможность возникновения обледенения в зоне аэродрома Раменское определяется по методу Годске при помощи запускаемых два раза в сутки радиозондов. Они проводят регистрацию фактических значений вертикальных профилей температуры воздуха, точки росы, относительной влажности, высоты нижней границы облаков и т.д. По подтвержденным данным бортовой погоды, были произведены расчеты оправдываемости метода Годске, за период исследования (2016-2020 гг.), по формуле 3.2.1, результаты которых представлены в Таблице 3.2.1.

$$T_{н.л.} = -8D = -8(T - T_d), \quad (3.2.1)$$

- Где: $T_{н.л.}$ - температура насыщения над льдом
 D - дефицит температуры точки росы
 T - температура
 T_d - точка росы

Обледенение возможно, если температура насыщения над льдом будет выше температуры окружающего воздуха. Годске рекомендует использовать свой метод прогноза обледенения ВС только до высоты 2000 м [4].

Таблица 3.2.1 – Расчеты оправдываемости метода Годске по данным АМСГ Жуковский за период с 2016- 2020 гг.

Дата	Слой	Интенсивность	$T(z)$	$T_d(z)$	$T_{н.л.}$
01.04.2016	1500-3000	слабое	-13,5	-15,1	-12,8
29.10.2016	900-1500	умеренное	-6,7	-7,4	-5,6
03.11.2016	600-2500	слабое	-8,1	-8,3	-1,6
14.11.2016	750-1800	слабое	-8,9	-9,2	-2,4
16.11.2016	550-1300	умеренное	-10,1	-10,2	-0,8
01.12.2016	500-1000	умеренное	-6,9	-7,1	-1,6
23.12.2016	150-900	сильное	-5,3	-5,4	-0,8
23.01.2017	600-1200	умеренное	-5,5	-5,6	-0,8
27.01.2017	1200-1900	слабое	-6,5	-7,2	-5,6
01.02.2017	550-1400	умеренное	-8,9	-9,9	-8
09.02.2017	1200-1900	умеренное	-9,1	-10	-7,2
14.02.2017	1000-1400	слабое	-5,7	-5,8	-0,8
21.02.2017	900-3000	умеренное	-3,5	-3,6	-0,8
27.02.2017	2000-3500	сильное	-12,5	-12,7	-1,6
21.03.2017	1200-2000	умеренное	-9,1	-9,9	-6,4
29.08.2017	3300-4500	слабое	-14,4	-16,1	-13,6
08.12.2017	2900-3500	слабое	-10,7	-11,8	-8,8
13.12.2017	3000-3500	умеренное	-5,5	-6,1	-4,8
25.12.2017	2000-3000	слабое	-19,3	-20,9	-12,8
05.02.2018	700-2700	слабое	-10,9	-11,7	-6,4
16.02.2018	1200-2500	умеренное	-5,7	-6,3	-4,8
24.10.2018	800-3300	умеренное	-11,9	-13,1	-9,6
14.11.2018	900-1500	умеренное	-2,3	-2,5	-1,6
20.11.2018	300-900	умеренное	-8,9	-9,6	-5,6
22.11.2018	600-2000	сильное	-6,7	-7,2	-4
04.12.2018	500-900	слабое	-6,6	-7	-3,2
08.12.2018	450-900	сильное	-11,3	-12,4	-8,8
13.12.2018	3000-3500	умеренное	-13,8	-15,3	-12
24.12.2018	550-1700	слабое	-8,4	-9,3	-7,2

12.01.2019	500-1000	сильное	-7,5	-7,9	-3,2
08.02.2019	1600-2500	слабое	-11,7	-12,8	-8,8
27.02.2019	900-2000	сильное	-14	-15	-8
30.10.2019	1300-2500	умеренное	-16,1	-17,9	-14,4
08.11.2019	1200-2000	слабое	-6,1	-6,8	-5,6
27.11.2019	1500-1800	слабое	-1,3	-1,4	-0,8
04.12.2019	1500-2000	умеренное	-15,7	-16,4	-5,6
13.12.2019	900-1500	сильное	-7,1	-7,5	-3,2
25.12.2019	500-1200	слабое	-2,1	-2,3	-1,6
30.12.2019	700-1600	сильное	-5,2	-5,4	-1,6
08.01.2020	800-1500	сильное	-6,1	-6,1	0
27.01.2020	900-1500	слабое	-4,7	-5,1	-3,2
05.02.2020	700-1500	слабое	-13,9	-15,1	-9,6
11.02.2020	900	умеренное	-5,1	-5,6	-4
12.02.2020	1500-2500	умеренное	-13,5	-14,3	-6,4
15.05.2020	3000-3500	слабое	-13,7	-14,8	-8,8
18.05.2020	1500-3000	умеренное	-5,5	-5,5	0
16.10.2020	2800-3500	умеренное	-4,9	-5,2	-2,4
20.10.2020	900-1500	слабое	-6,1	-6,5	-3,2
23.11.2020	1500-1800	слабое	-4,7	-4,8	-0,8
01.12.2020	900-2400	слабое	-4,5	-4,8	-2,4
04.12.2020	900-1200	слабое	-3,1	-3,4	-2,4
17.12.2020	280-700	слабое	-4,2	-4,6	-3,2
20.12.2020	500-800	умеренное	-4,3	-4,3	0
25.12.2020	900-1500	слабое	-5,6	-5,9	-2,4
26.12.2020	500-1900	умеренное	-3,9	-4,2	-2,4
29.12.2020	600-1000	умеренное	-8,1	-8,5	-3,2

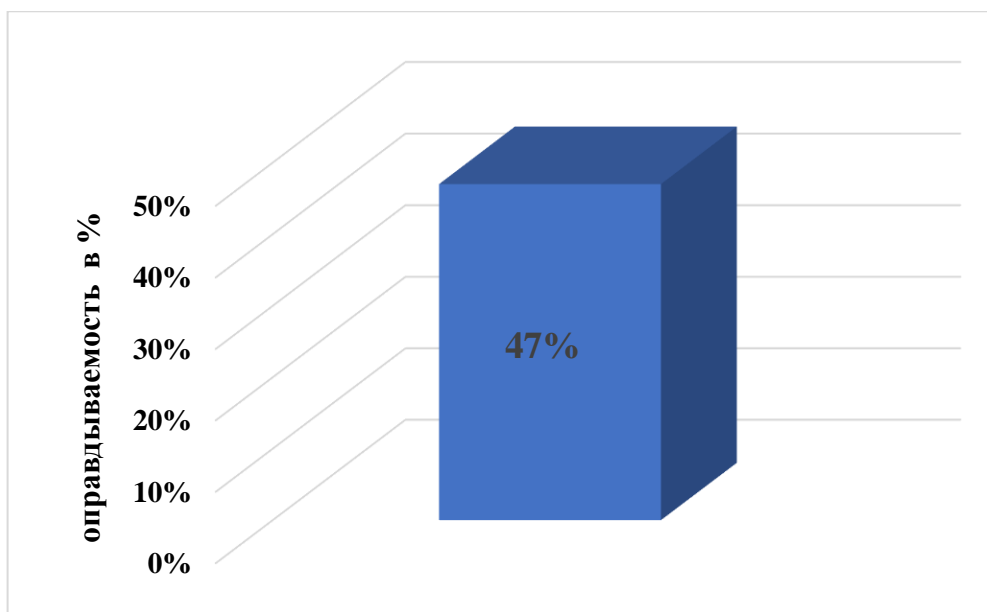


Рисунок 3.2.1 – Оправдываемость метода Годске

Этот метод дает удовлетворительные результаты, возможно причиной является низкое пространственно-временное разрешение, которое требует наличия аэрологических измерений на территории аэродрома Раменское, где необходим контроль образования обледенения. На гистограмме мы видим, что по методу Годске оправдалось всего 47% (56 случаев), фактически было зафиксировано 120 случаев. (Рисунок 3.2.1) Один из недостатков этого метода прогноза – отсутствие аэрологической станции в пределах аэродрома Раменское, для своевременного обнаружения зон с обледенением. Данные аэрологических наблюдений (радиозонд) для прогнозирования нам предоставляет центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО) в городе Долгопрудный. Обсерватория находится в 70 км от аэродрома и запуск радиозонда производит два раза в сутки. Такая периодичность запуска исключает диагностику вертикального профиля в режиме реального времени. Именно поэтому мы уже не фактически определяем состояние атмосферы, а прогнозируем. Для того чтобы повысить достоверность фактических значений возможного обледенения ВС, необходимо базирование наземных устройств для измерения метеорологических величин.

3.3. Расчет интенсивности обледенения

Интенсивность обледенения можно определить по формуле 3.3.1:

$$L = -0,017H - 0,488T + 0,875, \quad (3.3.1)$$

Где: Т - температура, °С
Н - высота нижней границы облачности в
десятиках метров

Если $L \geq 0$, то прогнозируется умеренное и сильное обледенение.

Именно по этой формуле построен график (Рисунок 3.3.1). Его можно применять для прогноза обледенения при фронтальных облаках и внутримассовых St–Sc, которые имеют большую мощность, около 1 км, и Ac с толщиной более 600 м.

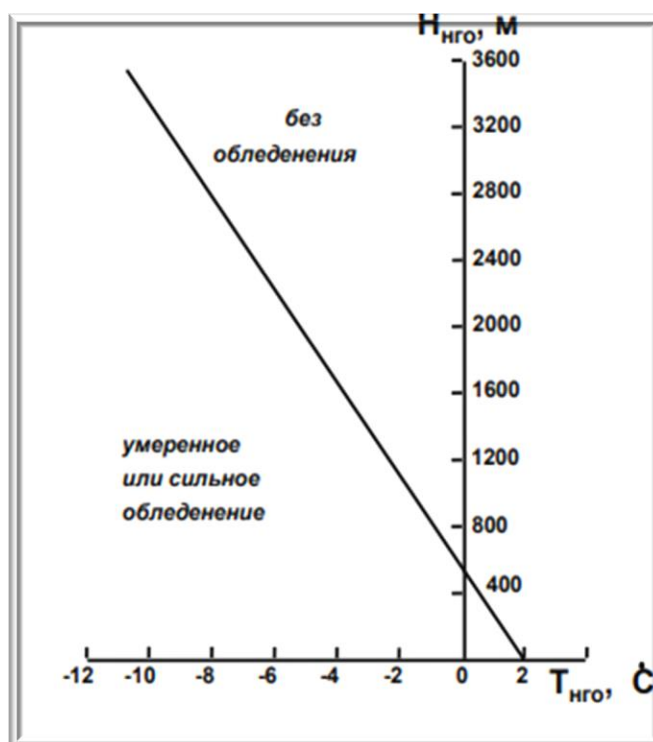


Рисунок 3.3.1 - График прогноза условий обледенения в облаках

Была проведена выборка данных для анализа оправдываемости прогноза умеренного и сильного обледенения (Таблица 3.3.1).

Таблица 3.3.1 – Данные для анализа прогноза условий умеренного и сильного обледенения за период с 2016-2020 гг.

Интенсивность	ВНГО	T °C НГО
умеренное	330	-0,2
умеренное	510	-1,8
умеренное	780	-2,1

умеренное	360	0,4
умеренное	420	-1,6
умеренное	500	-5,3
умеренное	510	-11,2
сильное	140	-2,3
умеренное	260	-8,2
умеренное	300	-9,5
умеренное	330	-7,5
умеренное	600	-5,3
умеренное	510	-6,3
умеренное	540	-3,3
умеренное	390	-4,8
сильное	480	-2,9
сильное	180	-5,7
умеренное	210	-2,1
сильное	260	-3,6
умеренное	390	-2,1
сильное	630	-2,9
умеренное	390	-3,1
умеренное	720	-3,6
умеренное	300	-0,9
умеренное	170	-0,3
умеренное	230	-4,8
умеренное	180	-4,2
умеренное	360	-7,5
умеренное	170	-9,6
умеренное	300	-0,5
умеренное	300	-6,9
умеренное	300	-9,7
умеренное	360	0,5
сильное	330	-0,6
умеренное	450	0,1
умеренное	900	-3,7
умеренное	300	-6,5

сильное	290	-4,6
умеренное	600	-3,2
умеренное	260	-5,1
сильное	360	-12
сильное	140	-3,9
умеренное	240	-2,1
умеренное	600	-0,9
сильное	600	-6,2
умеренное	480	-0,3
умеренное	400	-1,9
умеренное	570	-5,4
сильное	230	-1,9
сильное	420	-4,9

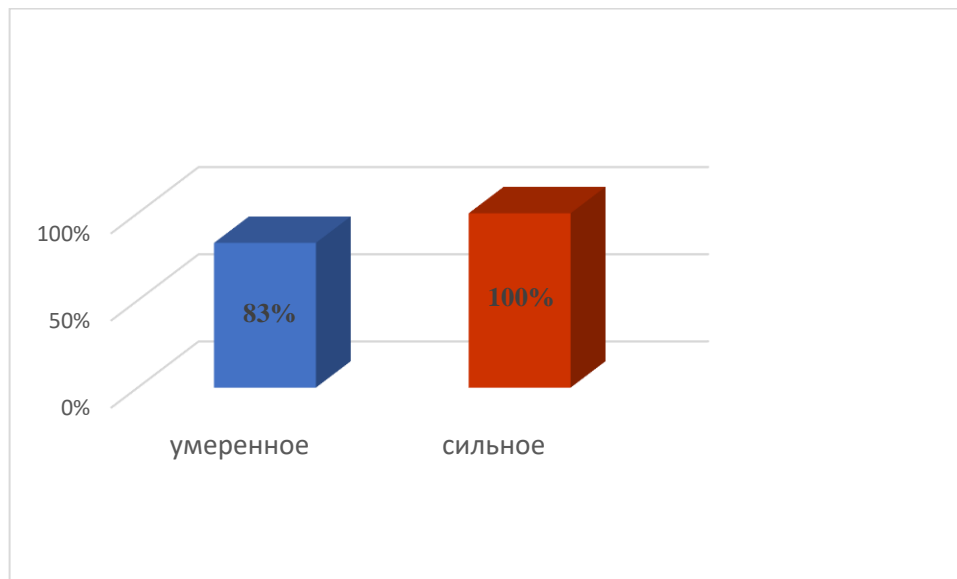


Рисунок 3.3.2 – Оправдываемость прогноза условий умеренного и сильного обледенения

Для прогноза условий обледенения в облаках удобно применять график. При наличии данных температуры НГО и высоты НГО можно быстро и легко определить зону условий обледенения. Этот способ прогноза удобен в

применение, на гистограмме продемонстрирован результат подсчетов. (Рисунок 3.3.2). Оправдываемость умеренной интенсивности составила 83%, сильной - 100%. Сильное обледенение было зафиксировано в зоне ожидания и на высоте круга (400 - 700м), где ВС может пребывать дольше по времени. На нашем аэродроме синоптики этот метод прогнозирования успешно практикуют.

3.4. Расчет физико-статистическим методом по данным АМСГ Жуковский

Абрамович К.Г. и Горлач И.А. разработали автоматизированный метод прогноза слоистообразной облачности, в которой возможно обледенение. С учетом трех параметров: температуры, дефицита точки росы и массовой доли водяного пара, были выполнены расчеты с помощью дискриминантной функции на уровнях 850гПа, 700гПа, 500гПа, формулы 3.4.1.

$$\begin{aligned}
 L_{850} &= 1,701*(T-Td)-2,046*q+0,239*T-1,751 \\
 L_{700} &= 0,654*(T-Td)-1,313*q+0,091*T-1,011 \\
 L_{500} &= 0,675*(T-Td)-2,301*q+0,102*T-0,256
 \end{aligned}
 \tag{3.4.1}$$

Данные для расчетов были получены с помощью аэрологической диаграммы, результаты представлены в таблице 3.4.1.

Таблица 3.4.1 – Данные результатов вычислений за период 2016-2020 гг.

Дата	Время	L850	L700	L500
13.02.16	9:30	-6,4	-2,9	-1,0
17.02.16	7:00	-3,2	3,1	5,7
29.02.16	12:30	-3,5	0,2	7,8
03.03.16	7:10	-6,5	-4,0	4,5
30.03.16	10:00	-1,9	-1,8	-2,2
01.04.16	7:21	-5,5	2,0	-1,8

28.04.16	9:17	-6,0	-4,0	9,2
18.05.16	8:10	-10,7	-2,4	6,4
24.05.16	13:10	2,3	-2,1	4,6
27.06.16	7:23	-4,3	-4,7	8,1
23.09.16	8:10	-11,1	-5,3	-3,3
29.09.16	7:40	-4,4	2,2	10,0
29.10.16	11:04	-1,7	-1,7	-2,9
31.10.16	9:10	-4,5	0,2	1,3
03.11.16	6:30	-8,3	-3,9	-4,0
08.11.16	7:31	-12,1	-2,9	11,1
14.11.16	8:14	-6,5	-3,3	4,5
16.11.16	10:08	-8,2	-0,8	8,9
24.11.16	7:58	-9,9	4,2	-3,7
01.12.16	10:05	12,9	-2,6	-2,7
23.12.16	12:53	11,2	-3,5	5,3
19.01.17	7:20	-5,2	1,7	-2,1
23.01.17	8:22	-8,4	-4,6	-3,1
27.01.17	8:12	-6,9	0,2	3,7
28.01.17	10:45	-4,7	6,2	-3,5
01.02.17	5:30	-6,5	-2,5	-4,2
09.02.17	8:15	-6,4	-0,7	2,2
14.02.17	7:10	-8,6	-3,5	-1,1
18.02.17	8:34	-6,8	-3,9	-3,1
21.02.17	8:06	-9,3	-5,3	-4,7
27.02.17	8:18	-8,5	-4,7	-3,7
02.03.17	8:34	7,9	-3,9	9,9
21.03.17	9:09	-7,3	-3,2	1,5
28.03.17	4:00	-5,4	1,0	-0,4
08.07.17	8:38	-9,8	-5,6	-3,2
14.07.17	7:50	-11,5	-5,3	3,2
29.08.17	7:50	-6,8	2,0	7,7
29.09.17	9:36	-4,2	6,8	8,5
06.10.17	9:27	-0,5	4,7	1,5
23.10.17	10:24	-4,4	-2,4	3,5
27.10.17	11:43	-5,6	-3,0	-0,1
30.10.17	8:30	-2,2	-2,4	-1,8
01.11.17	7:57	-4,9	-3,2	-2,9
28.11.17	9:25	-2,4	-0,9	-3,5
30.11.17	10:11	-4,3	16,9	1,5
01.12.17	8:10	-7,5	-1,0	4,5
08.12.17	12:35	3,4	-4,2	-3,0
13.12.17	8:48	-11,7	-5,7	-5,1
25.12.17	9:16	-4,8	-3,0	-1,9
26.01.18	0:00	-4,5	-3,4	-2,6
02.02.18	10:38	-3,1	-2,7	-2,4
05.02.18	0:00	-6,4	-3,6	-3,4
16.02.18	9:28	-5,8	-3,6	-2,0

19.02.18	13:00	-0,3	-1,3	-1,7
02.03.18	7:47	-3,8	4,7	1,5
13.03.18	4:30	-5,2	-3,3	-1,1
11.04.18	5:30	-7,8	-5,4	-4,0
06.06.18	5:43	-5,0	-3,6	-2,2
04.10.18	8:48	-4,7	-0,1	-0,1
24.10.18	9:13	-8,2	-3,8	-4,7
26.10.18	7:08	-3,4	-3,0	-2,3
14.11.18	13:12	-6,7	16,3	-2,3
20.11.18	10:24	-1,0	9,1	3,1
22.11.18	15:09	-7,0	6,2	7,5
27.11.18	10:17	-0,5	-0,5	7,0
04.12.18	10:00	17,0	15,6	-3,4
13.12.18	10:45	-9,4	-3,7	-2,0
24.12.18	6:25	-9,0	-3,7	-2,9
30.12.18	3:27	-3,1	-1,7	3,0
04.01.19	3:27	-5,4	-3,2	-2,8
12.01.19	18:02	-8,1	-2,1	-2,4
18.01.19	8:15	-8,0	5,4	5,6
01.02.19	5:22	-7,8	-3,8	-3,7
04.02.19	5:50	-9,6	-5,0	-4,0
08.02.19	6:06	24,2	-4,1	-0,1
11.02.19	10:54	-7,5	-2,1	4,2
25.02.19	9:02	-8,5	-4,7	-2,5
27.02.19	3:40	-6,5	1,0	2,2
11.03.19	9:15	-7,5	-4,0	-3,0
07.10.19	9:30	-8,7	-5,3	-5,2
30.10.19	5:26	-6,1	-2,9	-0,2
08.11.19	5:40	-7,6	1,4	-1,0
27.11.19	6:53	-10,2	-3,6	-0,1
04.12.19	5:22	-1,8	6,7	-1,5
13.12.19	15:34	-8,0	16,3	14,8
25.12.19	5:30	-0,7	-1,4	-1,8
30.12.19	13:19	-9,3	-5,1	-4,0
04.01.20	18:25	-9,1	-4,4	-2,9
08.01.20	16:24	-4,7	-2,8	-2,5
09.01.20	4:07	7,1	13,6	-6,5
14.01.20	6:45	-4,6	10,4	1,3
27.01.20	8:04	-8,5	0,8	-1,0
05.02.20	8:00	-6,1	-4,1	-2,6
11.02.20	15:45	-9,5	-3,7	-1,5
12.02.20	6:39	-0,7	0,2	1,2
15.05.20	7:55	2,6	-2,6	2,3
18.05.20	12:35	-10,2	-5,7	-3,9
16.10.20	10:30	-5,1	-4,9	-3,9
20.10.20	7:57	-8,2	1,7	3,5
13.11.20	9:31	-3,7	0,6	0,7

23.11. 20	8:10	-9,2	-3,7	-2,5
01.12. 20	7:08	-8,3	2,4	-2,9
04.12. 20	17:11	-5,8	4,7	1,5
17.12. 20	5:42	-10,0	-5,3	-3,7
20.12. 20	9:45	-3,4	0,1	2,2
25.12. 20	3:10	-8,7	-2,8	-4,0
26.12. 20	5:31	-9,5	-3,6	0,7
29.12. 20	16:35	-9,9	-1,4	3,8

Отрицательное значение знака функции показывает развитие слоистообразной облачности, в условиях которой возможно обледенение. Модель успешно спрогнозировала обледенение на поверхности 850гПа (Таблица 3.4.2). Прогнозируемый уровень 850 гПа, четко распределил граничные значения и область обледенения на эшелоне (от FL030 до FL100), подтвержденной бортовой погодой. Полученная оценка качества физико-статистического метода прогноза и успешность прогноза зон с обледенением, напрямую зависит не только от успешности модели, но и от количества и качества источников первичной информации (бортовой погоды).

Таблица 3.4.2 - Оценка качества физико-статистического метода

Зона прогнозирования	Фактическое обледенение	Прогнозируемое обледенение
850 гПа ±500 м	92%	90%

4. Разбор случаев с обледенением на аэродроме Раменское

4.1. Образование обледенения ВС во фронтальной облачности

28.02.2021г. в 06-24 по UTC борт А321 подтвердил обледенение в облаках в слое 1500-1800 метров. На 06-00, погоду аэродрома Раменское

определял гребень антициклона, центр которого располагался в районе Варшавы (Рисунок 4.1.1).

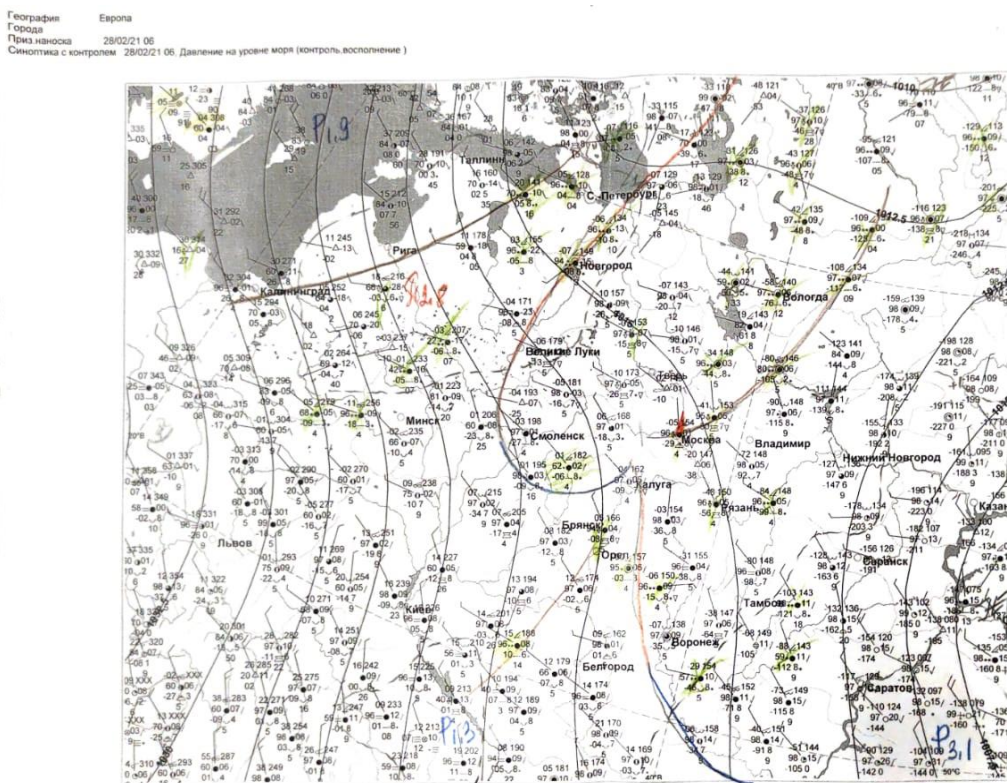


Рисунок 4.1.1 – Микрокольцовка 28.02.2021. за 06-00

По восточной периферии этого гребня проходил теплый волновой фронт в меридиональном направлении. Волна данного фронта располагалась западнее Москвы. В зоне аэродрома Раменское отмечался участок фронта окклюзии, который смещался с СВ на ЮЗ, от района Вологды к Москве.

Фронт окклюзии был выражен в интенсивных осадках. По данным высотных карт, аэродром находился в тыловой части циклона, с центром в районе Казани (Рисунок 4.1.2, 4.1.3).

География Европа
Города Города
Города Города
Аэр. наноса 28/02/21 00, уровень: 850 мб
Аэрология 28/02/21 00, Геопотенциал 850 гПа (восполненные, контроль)

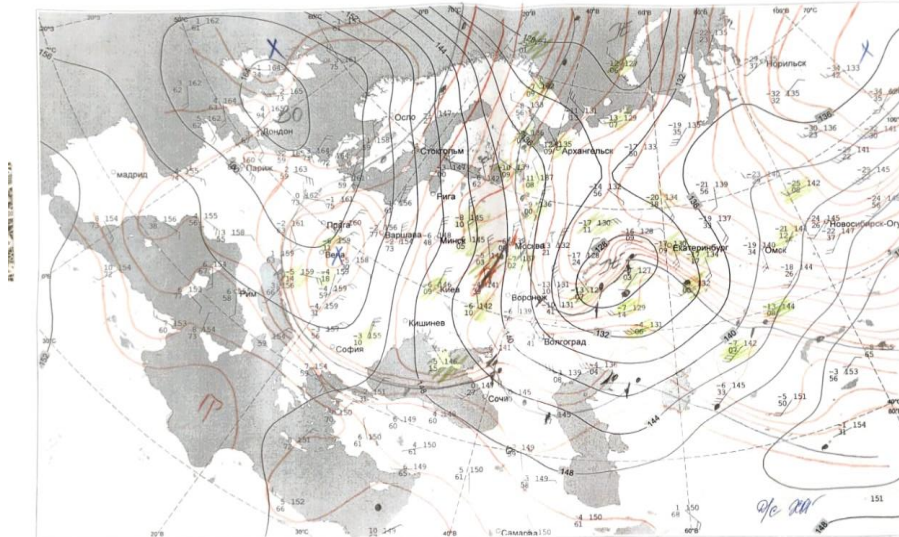


Рисунок 4.1.2 – Европа с городами для обработки 28.02.2021 за 00 UTC,
уровень 850 гПа

География Европа
Города Города
Города Города
Аэр. наноса 28/02/21 00, уровень: 700 мб
Аэрология 28/02/21 00, Геопотенциал 700 гПа (восполненные, контроль)

Европа с городами для обработки

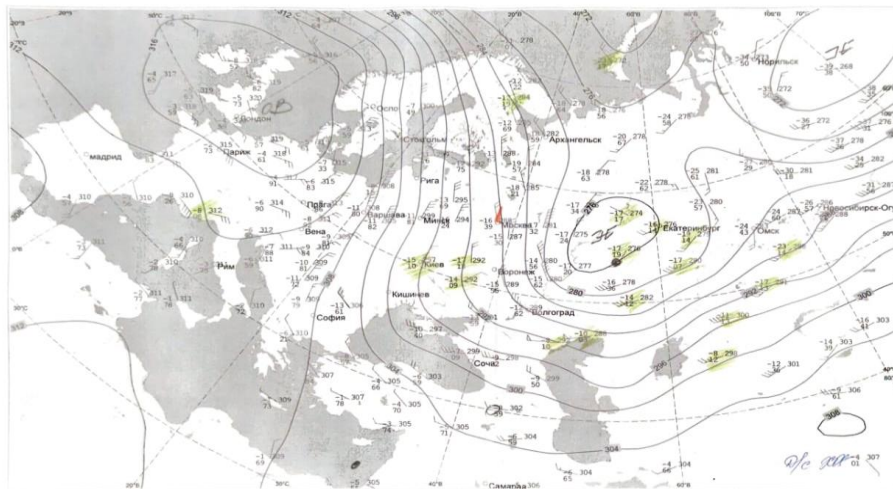


Рисунок 4.1.3 – Европа с городами для обработки 28.02.2021. за 00 UTC
уровень 700 гПа

По западной периферии этого циклона наблюдалась адвекция холода. Но над Москвой в 06-00 наблюдался небольшой очаг тепла, который соответствовал фронту окклюзии по типу теплого. Именно с ним связана

теплая влажная воздушная масса, которая также прослеживается на радиозонде (р/з) (Рисунок 4.1.4).

По данным р/з за 00-00 от земли до высоты 2 км дефицит точки росы составлял 2-2,5°. Ветер в приземном слое усиливался с высотой и на 850 мб поверхности достигал 12м/с, что способствовало переносу влажной переохлажденной массы в верхние слои приземного слоя. В слое от 1- 1,8км наблюдалась инверсия. Дефицит точки росы в инверсионном слое от 1° до 0,2°, влажность составила почти 100%. Температура понижалась от – 0,5 у земли до -7,7 в нижнем слое инверсии. Облачность наблюдалась многослойная: первый слой от 1 до 3 км, второй от 4 до 5,5 км.

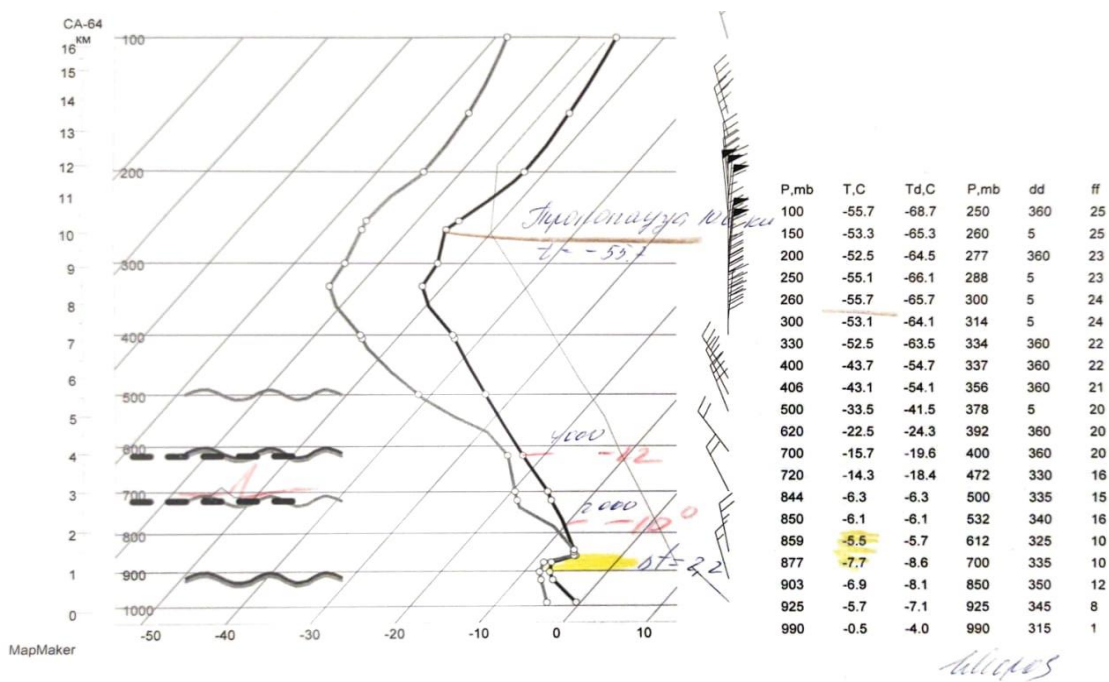


Рисунок 4.1.4 – Аэрологическая диаграмма 28.02.2021 за 00 UTC

По данным ДМРЛ (Рисунок 4.1.5) за 06-30 над аэродромом Раменское прослеживается фронтальная облачность слоистых форм Ns-As с отдельной Cb облачностью на СВ от аэродрома.

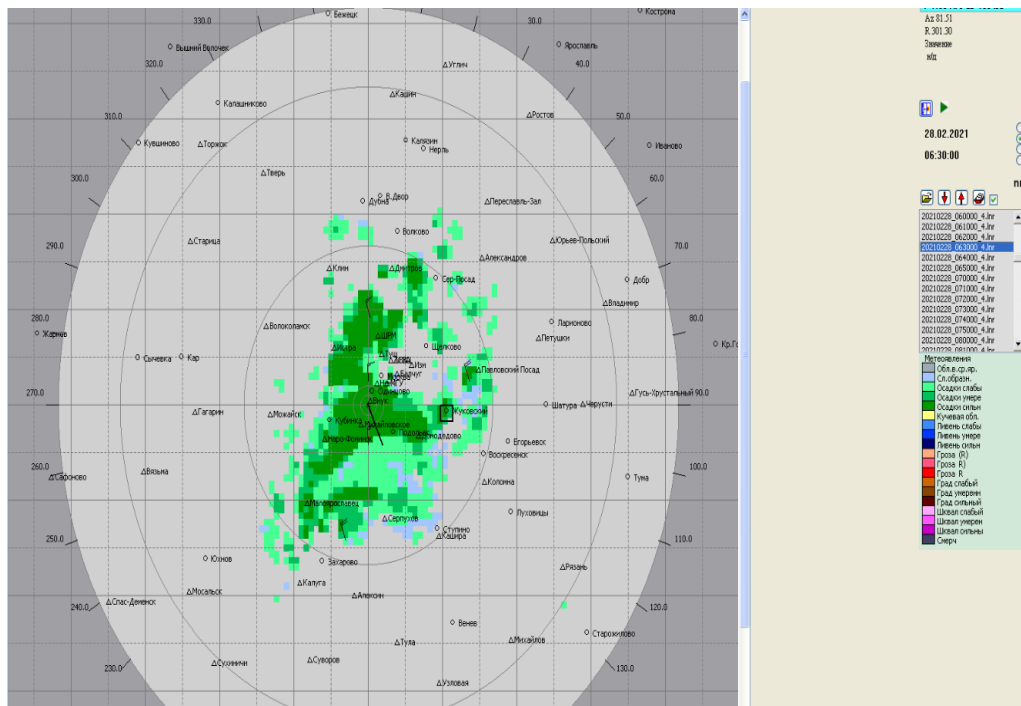


Рисунок 4.1.5 – ДМРЛ 28.02.2021 за 06.30 UTC

По данным ИСЗ также над МВЗ наблюдалась фронтальная облачность, в основном слоистая с отдельными вкраплениями Сб облаков (Рисунок 4.1.6).

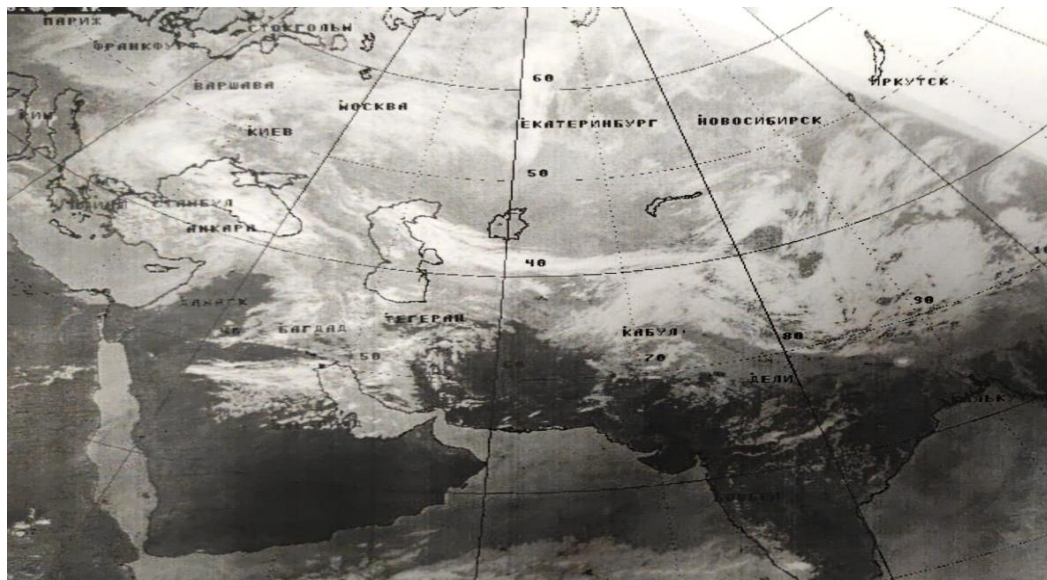


Рисунок 4.1.6 – Данные ИСЗ 28.02.2021 за 06 UTC

На основании проведенного анализа синоптической ситуации, обледенения ВС происходило во фронтальной облачности при адвекции теплого влажного воздуха. Упорядоченные вертикальные движения привели к большой водности облаков. Наличие задерживающего слоя явились дополнительным фактором. Так как у земли температура была около 0°, то облака состояли из переохлажденных капель или смешанной микроструктуры.

Обледенения не достигло умеренной или сильной интенсивности, из-за сложного фазового-смешанного строения Ns и своеобразного распределения водности по вертикале. Помимо этого, из облаков выпадали осадки и облака значительно обеднялись влагой.

4.2. Образования обледенения ВС во внутримассовой облачности

По данным бортовой погоды 19.03.2021 года в 06-50 по UTC борт ИЛ-76 подтвердил умеренное обледенение на уровне 800 метров. Нижняя граница облачности была отмечена на уровне 650 м, верхняя – 1100 м. По приземным данным за 00-00, аэродром Раменское находился под влиянием СЗ периферии циклона, центр которого располагался восточнее Саратова (Рисунок 4.2.1).

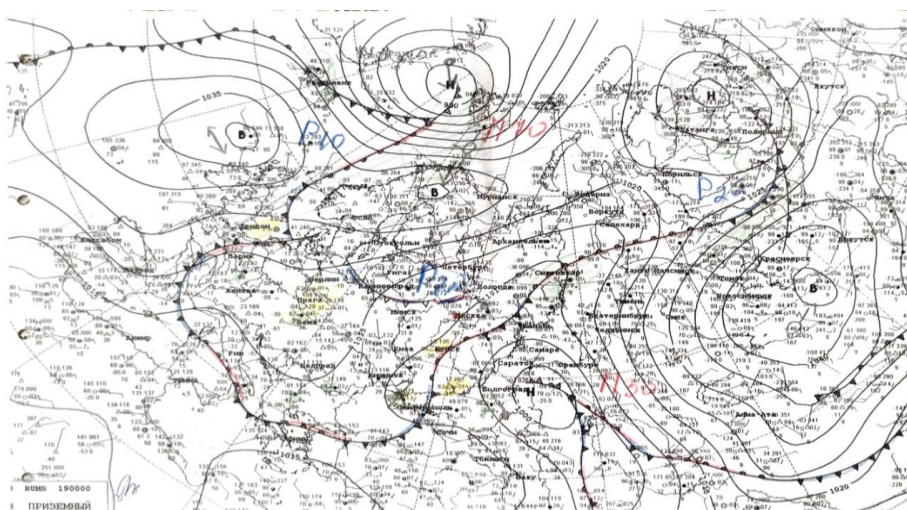


Рисунок 4.2.1 - Приземная карта 19.03.2021 00 UTC

Смещался со средней скоростью 45км/ч на восток, северо-восток.

К 06 UTC центр циклона находился над Самарой (Рисунок 4.2.2). Циклон прослеживался только на высоте 850 гПа (Рисунок 4.2.3).

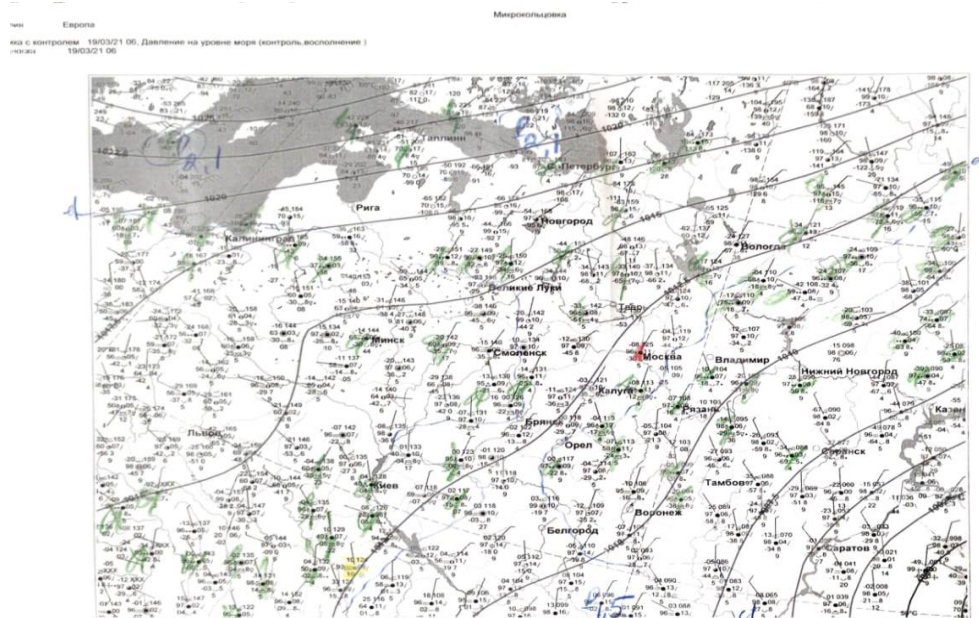


Рисунок 4.2.2 – Микрокольцовка 19.03.2021 06 UTC

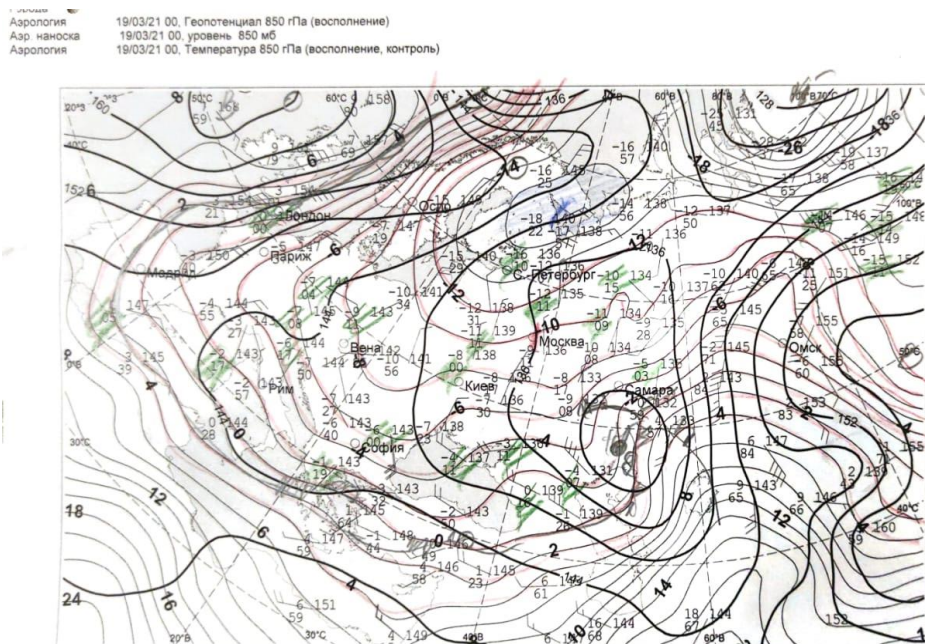


Рисунок 4.2.3 – Уровень АТ 850 гПа 19.03.2021 00 UTC

По данным барической топографии АТ 700 гПа и АТ 500 гПа аэродром Раменское находился под влиянием южной части высотной ложбины, ось которой ориентирована была с СВ от районов Норильска на ЮЗ к Вене (Рисунок 4.2.4, 4.2.5).

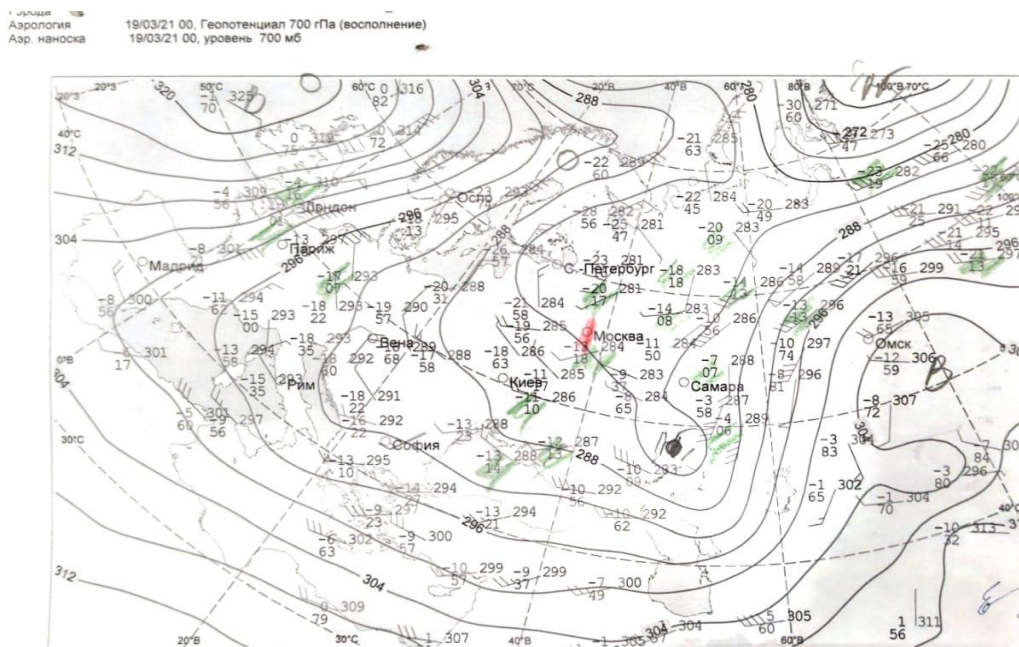


Рисунок 4.2.4 – Уровень АТ 700 гПа 19.03.2021 00 UTC

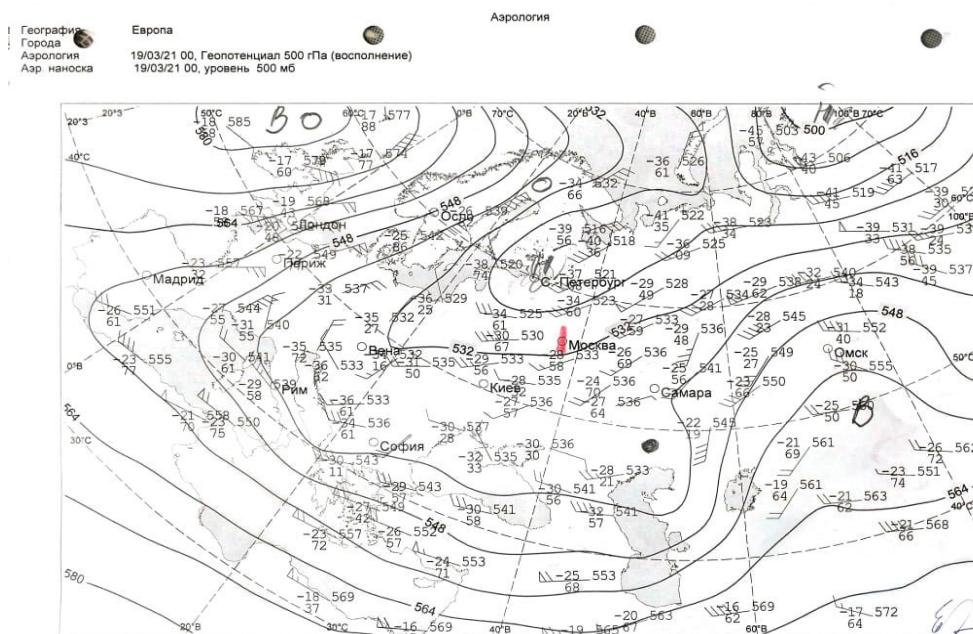


Рисунок 4.2.5 – Уровень АТ 500 гПа 19.03.2021 00 UTC

По ведущему потоку к аэродрому смещалась влажная воздушная масса, сопровождавшаяся небольшой адвекцией холода.

По данным Р/З за 00 UTC 19.03.21 наблюдалась устойчивая стратификация атмосферы (Рисунок 4.2.6).

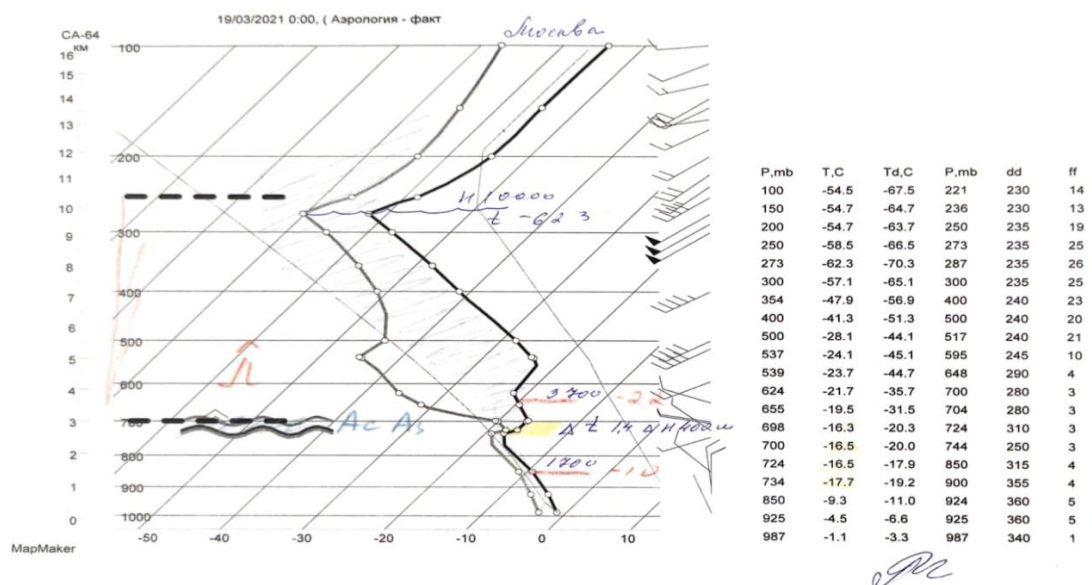


Рисунок 4.2.6 – Аэрологическая диаграмма 19.03.2021 за 00 UTC

Температура у поверхности земли была -1.1°C . Дефицит точки росы в слое от земли до 3 км составил $1.5^{\circ}-2.5^{\circ}$, что также подтверждает наличие влажной массы. На высоте от 2 до 3 км наблюдается инверсия с перепадом температуры 1.4°C . Изотерма -10°C находится на высоте 1700 м. В слое от 2 до 3 км по данным радиозондирования отмечается облачность среднего яруса As, As, также очень высокая влажность. При температуре $-10^{\circ}-12^{\circ}$ облака состоят из переохлажденных капель.

Наличие облаков среднего яруса подтверждают данные ДМРЛ за 06.50 UTC. Также в нашей зоне зафиксирована отдельная Sc облачность с верхней кромкой до 1100 метров. Водность этих облаков по данным ДМРЛ также значительная. Из облаков выпадают слабые осадки (Рисунок 4.2.7).

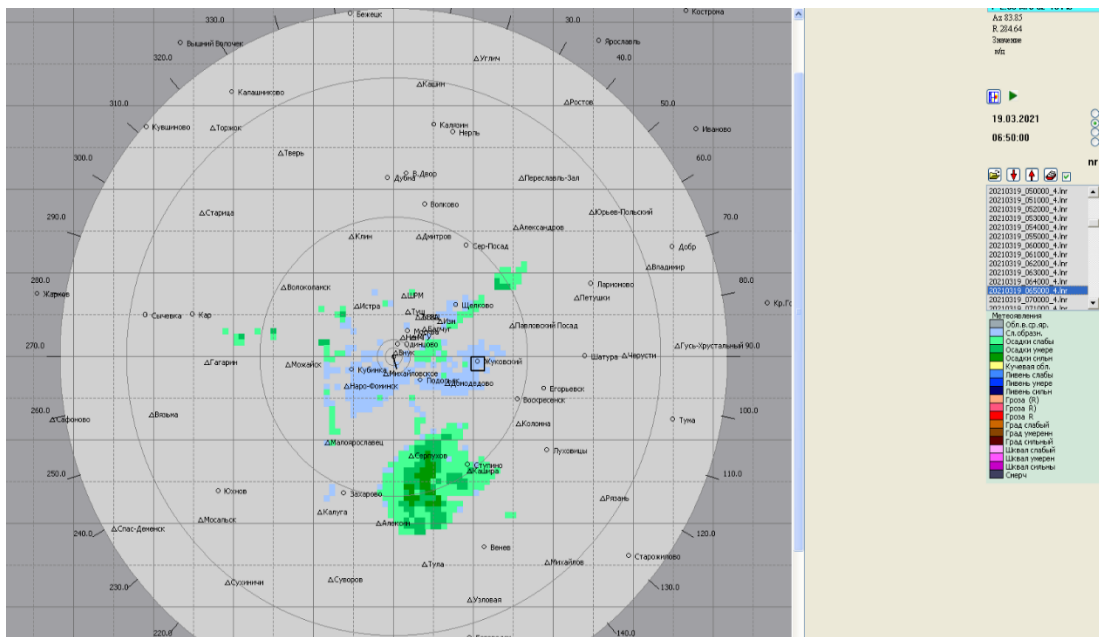


Рисунок 4.2.7 – ДМРЛ 19.03.2021 за 06.50 UTC

В период, когда борт передал сообщение о наличие обледенения, на аэрологической диаграмме наблюдалась многослойная облачность Sc формы, с нижней кромкой 300-400 метров и 8 октантов средняя As и As. Шел слабый обложной снег, без ухудшения видимости при температуре у земли -0.3°C , температуре точки росы -3.0°C , влажности 81%. Ветер в момент обледенения наблюдался 320° , 4-5м/с.

Создались все условия для обледенения. Отрицательная температура в зоне взлета и посадки, высокая влажность, дефицит точки росы $<3^{\circ}\text{C}$, который сохраняется до высоты верхней границы слоя инверсии. Задерживающий слой, под которым образовались внутримассовые облака (Sc, As, As) по структуре состоят из переохлажденных капель, которые сформировали осадки в виде мокрого снега.

Так как в предыдущие сроки, 12 часов назад наблюдалась небольшая адвекция тепла, то наличие адвекции холода в период обледенения, не сыграла большой роли. Наблюдаемое обледенение носит внутримассовый характер.

При анализе повторяемости обледенения на эшелоне полета FL0-FL030, где в большинстве случаев образуется внутримассовая слоистообразная

облачность, было зафиксировано 37 случаев – 31%. Так как Sc облака по своему фазовому состоянию в большинстве бывают водяными переохлаждёнными, поэтому вероятность обледенения в них очень велика. Из-за того, что водность облака и размер капель увеличивается от нижней границы кверху, поэтому интенсивность обледенения достигла умеренной и была зафиксирована при взлете борта ИЛ-76.

Заключение

Для обеспечения безопасности полетов в период большой вероятности образования обледенения в районе аэродрома Раменское требуется высокое качество и эффективность прогноза. Для этого необходимы прежде всего анализ и прогноз расположения в пространстве облачных систем и выделение в них слоев со значениями температуры, при которых обледенение возможно.

В первую очередь определяются высоты изотерм 0, -10 и -20 °С и производится их сопоставление с высотами границ облачных слоев. При консультации летного состава перед вылетом это необходимая процедура для расчета высоты, на которой с учетом кинетического нагрева и скорости полета, температура поверхности самолета будет равна 0 °С. В случае отсутствия аэрологических данных можно использовать связь обледенения со значениями дефицита точки росы при различных градициях температуры.

В работе был проведен анализ для подтверждения этой зависимости. Для этого были произведены расчеты дефицита точки росы на уровне изотерм от 0°С до -10°С и от -10°С до -20°С за весь период исследования. Результат показал прямую взаимосвязь: чем меньше показатели дефицита точки росы, тем больше вероятность образования облачности и тумана.

Был проведен анализ повторяемости случаев с обледенением в разных синоптических ситуациях. В зоне аэродрома Раменское обледенение в гребне на периферии антициклона образуется с большей повторяемостью - 22%. В малоградиентном поле, в котором, как правило, образуется внутримассовая облачность, повторяемость составляет - 16%. Этот вид барического поля был рассмотрена более детально с учетом зон образования. Повторяемость в области повышенного давления составила - 47%, в области пониженного – 53%.

При расчете интенсивности количество слабого обледенения за весь период преобладает – 62 случая. Причиной результата может быть невысокая скорость полета ВС, т.к. данные о фактически наблюдающемся обледенении

воздушные борта передают, в основном, на взлете или посадке, пребывая в данных зонах короткий период, а интенсивность напрямую зависит от скорости полета и времени пребывания в зоне переохлажденных осадков.

Количество умеренной интенсивности составило 46 случаев. Такой результат связан с тем, что чаще всего подтверждение обледенения в нашем аэропорту передают по запросу синоптика. Если бы бортовую погоду передавали регулярно, количество случаев с умеренной интенсивностью было бы зафиксировано больше. Достоверность информации об интенсивности обледенения обеспечивается чувствительностью и видом сигнализаторов, установленных на каждом двигателе, которые делятся на две группы: косвенные и прямого действия.

Для качественной оценки возможной интенсивности обледенения синоптики могут использовать косвенные признаки характера эволюции облаков и соответствующих изменений их микроструктуры: развитие облаков указывает на некоторое увеличение их водности, а, следовательно, на увеличение вероятности умеренного или сильного обледенения; размывание облаков, наоборот, является показателем слабого обледенения или его отсутствия. Развитие фронтальных слоистообразных облаков в большинстве случаев связано с размыванием фронта.

Годовое распределение по месяцам за весь период исследования показал повторяемость обледенения в осенне-зимний период более высокую 98 случаев - 82%. Этот переходный период характерен обилием осадков в виде дождя, снега, мороси, ледяного дождя, снежной крупы, большой влажностью и температурой окружающего воздуха от 0°C до минусовых значений. В теплый период обледенение отмечается намного реже - 18%. На годовое распределение влияет умеренно-континентальный климат и влияние холодных воздушных масс из Арктики.

Практически примыкающая к летному полю Москва-река, в районах МК пос 121°- (700 м), середине ВПП (500 м) и МК пос 301°- (400 м), которая приводит к образованию на аэродроме частых туманов, может являться

дополнительным фактором образования обледенения в нижних слоях слоистой облачности, выше нулевой изотермы.

Если рассматривать образование обледенения с учетом высоты эшелона, то на уровне FL031-FL050 в районе аэродрома Раменское, обледенения более активное - 43%. В этой зоне могут формироваться фронтальные облака смешанного характера - слоисто-дождевые, облака холодного фронта 1 рода и фронта окклюзии по типу холодного, с кучево-дождевыми (СВ) облаками с интенсивным восходящим и нисходящим движением.

Рассмотренные детально случаи образования обледенения в облаках подтверждают высокое качество прогноза синоптиков аэродрома Раменское, выпуская своевременно предупреждение об неблагоприятном и порой опасном явлении погоды.

Для обеспечения безопасности полетов в период большой вероятности образования обледенения, в зоне аэродрома Раменское, требуется высокое качество прогноза, своевременное применение мер по обработке ВПП службами аэродрома, наличие и применение активных методов борьбы с обледенением во время полетов. Отсутствие происшествий подтверждает качество работы служб аэродрома, своевременность и точность прогноза и наличие противообледенительных систем.

Список использованных источников

1. Богаткин О.Г. «Авиационные прогнозы погоды», О.Г. Богаткин – СПб: РГГМУ, 2007. – 352 с.
2. Богаткин О.Г. «Авиационная метеорология», О.Г. Богаткин – С.-П.: изд. РГГМУ, 2005. – 318 с.
3. Баранов А.М., Мазурин Н.И., Солонин С.В., Янковский И.А., «Авиационная метеорология», Гидрометеиздат, 1966. - 281 с.
4. Абрамович К.Г. «Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации», К.Г Абрамович, А.А. Васильев – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 301 с
5. Яковлев А.М. «Авиационная метеорология», изд. Транспорт, 1971.- 276с.
6. Позднякова В.А. «Практическая авиационная метеорология», – г. Екатеринбург, 2010. – 70 с.
7. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии / Учебник. – СПб: Изд. РГГМУ, 2009.- 339 с.
8. Инструкция по метеорологическому обеспечению полетов воздушных судов на аэродроме Раменское. – г. Жуковский, 2020.-21с.
9. Климатологическое описание аэродрома Раменское. – г. Жуковский, 2020.-10с.