



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

Кафедра метеорологических прогнозов

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Влияние низкой облачности и ограниченной видимости на
деятельность авиации на аэродроме Пулково»

Исполнитель Ковалева Ксения Айратовна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)
Богаткин Олег Георгиевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой 
(подпись)

доктор физико-математических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Дробжева Яна Викторовна
(фамилия, имя, отчество)

«3» мая 2018 г.

Санкт-Петербург
2018

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЛАКА	7
1.1. Физика образования облаков.....	7
1.1.1. Кучевообразные облака.....	8
1.1.2. Волнистые облака	9
1.1.3. Слоистообразные облака	10
1.2. Влияние низкой облачности на полеты	12
1.3. Методы прогноза низких облаков.....	16
1.3.1. Прогноз высоты нижней границы облачности по формулам .	17
1.3.2. Прогноз высоты нижней границы облачности по методу Е.И. Гоголевой	18
1.3.3. Прогноз высоты нижней границы облачности по методу главного авиаметеорологического центра	20
1.3.4. Прогноз низкой облачности по методу З.А.Спарышкиной.....	23
2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ЕГО ОБРАБОТКИ	24
2.1. Характеристика исходного материала	24
2.2. Методы обработки исходных данных.....	26
2.3. Физико-географическая характеристика исследуемого района	26
3. АНАЛИЗ НИЗКОЙ ОБЛАЧНОСТИ НА АЭРОДРОМЕ ПУЛКОВО	31
3.1. Годовой ход низкой облачности.....	31
3.2. Суточный ход низкой облачности.....	40
3.3. Оценка влияния низких облаков на полеты.....	44
3.4. Проблема высотного строительства СПб	45

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	50
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	52

ВВЕДЕНИЕ

Распределение облачности, ее годовой и суточный ход, повторяемость различных высот ее нижней границы все еще остаются изучены не в полной мере. Причина в отсутствии подробных данных об облачности на станциях и, в частности – недоступность для анализа данных, которые существуют. С другой стороны, данные о низкой облачности и ее характеристиках необходимы для изучения и моделирования процессов пограничного слоя, для проверки численных моделей; а также для предоставления метеорологической информации авиации и разработки методов прогнозирования авиационной погоды.

Выполнение взлета, полета, посадки, пилотирования самолетов и вертолетов затруднено при низкой облачности. Высота облачности – это довольно сложное метеорологическое условие погоды, прямо или косвенно влияющее на полеты и посадку самолетов. Рассматривалась облачность ниже 300 метров на территории аэропорта Пулково. Изучение этого элемента имеет большое практическое значение, так как дает возможность подсчитать время, в течение которого приостанавливается работа на данном аэродроме.

Высота облачности в большей мере определяет возможность производства взлета и посадки самолетов. В целях обеспечения безопасности и регулярности полетов для каждого аэродрома устанавливаются обязательные для этого аэродрома величины элементов погоды минимально допустимые при взлете и посадке. Эти минимальные условия определяются многими факторами, например, такими как: типом воздушного судна, бортовым и наземным оборудованием, рельефом местности и имеющимися препятствиями в районе аэродрома и многими другими. Нижняя граница облаков и дальность видимости определяют тот минимум погодных условий, при которых возможны взлет и посадка самолетов. С облаками связаны грозы – наиболее опасное для авиации метеорологическое явление.

Выявлялись сложные условия различной степени по низкой облачности, а также определялась повторяемость этих параметров погоды, затрудняющих или исключающих взлет и посадку самолетов на аэродроме Пулково.

Актуальность исследования обусловлена тем, что нижняя граница высоты облачности является важным комплексным метеорологическим элементом и его оценка имеет огромное значение при обеспечении безопасности полетов, особенно при взлете и посадке воздушного судна на аэродроме Пулково.

Объект – величина нижней границы высоты облачности, оценка ее как фактора безопасности полетов.

Предмет исследования – повторяемости годовых и суточных ходов нижней границы высоты облаков.

Цель исследований – анализ данных параметров нижней границы высоты облачности за период с 2013 по 2017 гг. для повышения эффективности метеорологического обеспечения полетов в аэропорту Пулково.

Определены следующие задачи:

- 1) Провести анализ годового и суточного ходов повторяемости высоты нижней границы облачности за период с 2013 по 2017 гг.;
- 2) Провести комплексный анализ нижней границы облачности;
- 3) Определить повторяемость исследуемого параметра погоды, затрудняющего или исключающего взлет и посадку самолетов на аэродроме Пулково.

Структура работы. Работа состоит из введения, трех глав и заключения.

В первой главе рассматриваются физика образования низкой облачности, влияние низкой облачности на полеты и методы ее прогнозирования.

Во второй главе рассматриваются исходные материалы, методы их обработки и физико-географические данные аэродрома Пулково и общая климатическая характеристика территории.

В третьей главе проведен анализ годового и суточного хода повторяемости высоты нижней границы облачности и рассмотрена повторяемость нижней границы облачности на аэродроме в годовом и суточном ходе. В заключении обобщены результаты исследований и проведены выводы.

Информационным обеспечением и методическими основами проводимых исследований для выполнения работы являются: научная литература, методические указания, научные статьи, материалы метеорологических наблюдений.

Общий объем представленной работы составляет 53 страниц, 10 таблиц и 14 рисунков. Список использованных источников включает 21 наименование.

1. ОБЛАКА

1.1. Физика образования облаков

Облако представляет собой видимую совокупность взвешенных капель воды и кристаллов льда, расположенных на определенной высоте над земной поверхностью. Облака являются результатом конденсации и сублимации атмосферных водяных паров. Конденсацию водяного пара и образование облака вызывают те же процессы, которые приводят к появлению тумана. Облака образуются в результате увеличения общего содержания влаги или вследствие уменьшения значения температуры воздуха. На практике оба фактора играют важную роль. В свободной атмосфере наиболее важными процессами, которые приводят к понижению температуры и образованию облачных масс, являются восходящее движение воздушных масс и адвекция. Понижение температуры также может быть вызвано излучением и турбулентным перемешиванием (как вертикальным, так и горизонтальным).

Исследования динамики атмосферы показали, что облачность влияет на поле движения (динамику) атмосферы, главным образом на поле вертикальных скоростей. Роль облаков в формировании и изменении климата планеты Земля огромна.

Внешний вид и внутренняя структура облака различаются в зависимости от вертикального перемещения и горизонтального размера области, охватываемой физическим процессом. Разделяют кучевообразные (конвективные), волнистообразные и слоистообразные облака. Однако, хотя такое облачное деление в основном основано на его внешнем виде, этот принцип основан на характеристиках физического процесса образования облаков (в основном связанных с типом и величиной движения воздуха в вертикальном направлении). Другой принцип классификации облаков основан на значении высоты нижней границы облачных масс (морфологической классификации) [14, с.401]. Высота нижней границы облаков – это

расстояние по вертикали от земной поверхности до нижнего основания облаков [6, с. 86].

1.1.1. Кучевообразные облака

Кучевообразные облака имеют форму отдельных облачных масс. Такие облака зачастую имеют большую вертикальную протяженность, но плохо развиты по горизонтали в отличие от слоистообразной облачности. Основополагающими процессами, приводящими к формированию кучевых облаков, считаются термический перенос теплоты в жидкостях и турбулентность.

Конвекция является результатом излишнего нагрева изолированных воздушных масс при неустойчивой стратификации в приземных слоях атмосферы. В летнее время года в регионах с пониженным давлением над материком складываются наиболее подходящие условия для зарождения конвективных движений. Неустойчивая стратификация возникает под действием прямого притока солнечной радиации вблизи суши. В этих условиях отдельные перегретые воздушные массы начинают двигаться вертикально вверх с ускорением. Достигая уровня конденсации воздух полностью насыщается. По мере снижения температуры водяной пар конденсируется и появляются облака.

Приток солнечной радиации в дневные часы способствует увеличению неустойчивости нижнего слоя атмосферы, и в результате конвективных движений воздуха, происходит образование кучевой облачности. По этой причине в течение дня повторяемость кучевообразных облаков больше, чем в ночное время [14,с.402].

Высота нижней границы кучевых облаков или «облаков хорошей погоды» обычно составляет от 600 до 1200 метров, а вертикальная мощность не превышает нескольких сотен метров[4,с.25].

1.1.2. Волнистые облака

В атмосфере присутствуют волновые движения с амплитудами и длинами волн. Под влиянием таких движений при определенных условиях могут формироваться волнистообразные облака в виде слоя, состоящего из валов, гряд, плит и др. Такой слой горизонтально распространен на десятки и сотни километров. Эти облака имеют сравнительно небольшую вертикальную протяженность — в несколько десятков и сотен метров, в отдельных случаях до 2—3 км и более.

Созерцаемые в атмосфере волнистообразные облака в большей мере рождаются под воздействием тех волн, возникающие «задерживающих» слоях, т.е. в слоях с инверсионной или сильно устойчивой стратификацией и при обтекании воздухом горных массивов и возвышений (волны препятствий). В верхней части волны воздух движется вверх и охлаждается, приближаясь к состоянию насыщения. Таким образом образовывается облачность.

При обтекании горных массивов и возвышений возникает сложная система волн в которой чередуются слои с восходящими и нисходящими вертикальными движениями. Длина и амплитуда волн обуславливаются полным рядом факторов: скорости набегающего потока, вертикального градиента температуры, ширины горных цепей и др. Влияние гор сохраняется на всю тропосферу, а иногда даже и стратосферу).

Важную роль в образовании облаков упорядоченного строения оказывает ячейковая циркуляция.

Исследования облачности со спутников доказали, что в воздушной оболочке Земли часто образуются облачные массы, горизонтальные масштабы которых изменяются от 1 – 2 до десятков километров. Такие системы принято называть мезомасштабными. Облачные элементы, из которых состоит система, наиболее часто имеют форму не вполне идеальных ячеек — шестиугольников; наблюдаются также гряды облачности и некоторые переходные формы от первых ко вторым. Анализ опытных данных

позволил установить, что мезомасштабные облачные массы формируются под действием конвективных движений, развивающихся в слоях с неустойчивой стратификацией или над неоднородной земной или водной плоскостью. При сильно развитой конвекции облачные системы состоят из кучево-дождевых облаков, формирующих отдельные массивы, крупные гряды или спирали [14, с.428].

1.1.3. Слоистообразные облака

Слоистые облачные массивы - наиболее низкие облака. Высота их нижней границы варьируется в пределах от 30 до 400 метров, а толщина слоя изменяется от 100 до 600 метров[4, с.24].

Рассмотрим теорию образования и эволюции слоистообразной облачности, под которой подразумеваются как собственно слоистообразные, в основном фронтальные слоисто-дождевые – высокослоистые – перисто-слоистые, так и плотные волнистообразные, т.е. слоисто-кучевые – слоистые – высококучевые облака [14, с.434].

Слоистые облака образуются при циклонических депрессиях, вблизи атмосферных фронтов и при других системах плохой погоды. Вне зоны осадков облачность зачастую встречается в виде нескольких слоев протяженностью до 10 километров и больше, разделенных чистыми (безоблачными) промежутками, заполняющимися с началом выполнения осадков. Эти облака возникают в результате медленного, но продолжительного подъема во всем мощном слое воздуха, который при скорости несколько сантиметров в секунду может длиться в течение нескольких часов [15, с.18].

Общее для этих облаков состоит в том, что их горизонтальная протяженность во много раз превышает вертикальную. По этой причине основные факторы формирования слоистообразной облачности и, как следствие, исходные уравнения имеют одинаковый вид для облаков всех форм данной группы. Различия же между многочисленными формами, видами и

разновидностями слоистообразных облаков обусловлены вариациями основных физических параметров, от которых зависят условия формирования облачности [14, с.434].

В слоистых облаках выделяют 3 вида: туманообразные, волнистообразные и разорванно-слоистые [4, с.24].

1.1.4. Фазовое состояние облаков

Облака состоят из водных капель, кристаллов льда и смеси капель и кристаллов. Первые из них называют капельными (или водяными), вторые — кристаллическими (или ледяными), третьи — смешанными. При температуре воздуха больше 0 °С возможны только капельные облака. При температуре воздуха меньше 0 °С наблюдаются все три типа облаков, при этом капли воды пребывают в переохлажденном (метастабильном) состоянии. Процесс их замерзания случаен и не описывается никакими законами физики и термодинамики.

Температура воздуха — главный фактор, определяющий фазовое состояние частиц облака. Наиболее существенным среди других второстепенных факторов является форма облачной массы, неотделимая от характера процессов облакообразования.

Наиболее существенное влияние на вероятность замерзания переохлажденных капель и, как следствие, образования кристаллов льда обусловлено температурой капель (степень переохлаждения) и скоростью охлаждения, а также радиусом капель и временем пребывания капли при данной температуре. При увеличении скорости охлаждения от 0.05 до 0.5 °С/мин температура замерзания переохлажденной капли увеличивается на 2 °С. Конечно, количественно оценить скорость охлаждения в облаках разных форм, однако можно утверждать, что скорость охлаждения частиц воды в слоисто-дождевой облачности значительно больше, чем в слоистой, слоисто-кучевой и высококучевой облачности [14, с.496].

По фазовому строению облака делят на:

- 1) Водяные облака

- 2) Ледяные или кристаллические облака
- 3) Облака смешанного строения.

Практически всегда при образовании облачности первичными частицами являются жидкие частицы воды. Ледяные кристаллы образуются в облаке только при достижении его верхней частью высот с достаточно низкими температурами [19, 43 с]. Кристаллические облака часто создают характерные перистые формы, высота нижней границы которых располагается на уровне 7 – 10 километров [4, с.20]. Такие облака в данной работе не рассматриваются.

1.2. Влияние низкой облачности на полеты

К облакам нижнего яруса относят все формы и виды облаков, которые формируются, эволюционируют и присутствуют в нижнем слое воздуха (от 30 метров до 2 км) [4, с.23].

Воздушный транспорт является одной из самых зависящих от погоды разделов народного хозяйства. Согласно глобальной статистике, основная часть авиационных происшествий и предпосылок к ним объясняется сложными метеорологическими условиями: низкими облаками, облаками вертикального развития, осадками, грозами, турбулентностью и т.д.

Залогом беспрепятственной работы авиации является самая детальная информация о погоде, как наблюдающейся в текущий момент, так и прогнозируемой.

Метеорологические условия оказывают ключевое воздействие как и на экономические показатели работы самолетов, так и на безопасность движения: жизнь и здоровье людей часто находятся под влиянием погоды и качества информированности о ней.

Для гарантированности безопасности полетов в авиации установлены минимумы погоды. Они определяются высотой нижней границей облаков и видимостью, на которую оказывают влияние все виды осадков и туманов [9, с.141].

Уровень развития современного воздушного флота позволяет в современности выполнять полеты в любых погодных условиях. Конечно, погода накладывает ограничения на выполнение полетов, но делается это только ради безопасности пассажиров и экипажа.

Очевидно, что при простой погоде летать просто, а при сложной погоде работа пилота существенно осложняется.

Трудность управления самолетом в зоне облаков или при малой видимости заключается в том, что, во-первых, отсутствует визуальная ориентация и падают условия видимости с воздушного судна. Во-вторых, полет становится доступно совершать только по приборам. В-третьих, при полете в облаках или зоне плохой видимости зачастую возникает либо сильная болтанка, либо обледенение самолетов и вертолетов, либо другие опасные явления погоды, а также возможны миражи и цветные дымки, которые значительно осложняют полет [9, с.139].

Облака представляют собой своеобразное лицо погоды и являются свойственным определенной погоде метеорологическим элементом, наблюдение за которым позволяет командиру воздушного судна верно оценивать метеорологическую обстановку в воздухе, осмысливать состояние атмосферы и делать вывод об ожидаемой погоде на ближайшее время.

Изменяя тепловой и радиационный режим атмосферы, облака оказывают большое влияние на многие аспекты человеческой деятельности (прежде всего в области сельскохозяйственного производства), а также на флору и фауну Земли. Велика зависимость от облаков, туманов и осадков различных видов транспорта, прежде всего авиации.

Несмотря на развитие авиационной техники и оснащение самолетов и аэродромов современными приборами и оборудованием, облака и туманы по сей день остаются явлениями, которые в наибольшей степени влияют на взлет, посадку и полет самолета, на деятельность авиации в целом. Проводить полет в облаках значительно сложнее, чем вне облаков, вследствие:

- 1) сильного ухудшения видимости;

- 2) наличия обледенения (при отрицательных температурах);
- 3) более сильно развитого турбулентного обмена, вызывающего болтанку самолетов.

Полеты в облачных массах требуют особой подготовки экипажа, превосходного владения техникой пилотирования, опыта в использовании необходимого оборудования.

Полеты в дневное время суток в чистом небе обычно совершаются визуально. При этом в значительной степени облегчается опознание местности, контроль пути, определение расположения самолета, выполнения взлета и посадки.

Появление облаков и резкое увеличение облачности и ухудшение видимости качественно меняет метеорологическую обстановку и значительно осложняет пилотирование и аэронавигацию.

При попадании самолета в облако летчик теряет визуальную ориентацию и не может с помощью своего чувства равновесия удержать самолет в нужном положении. В условиях отсутствия зрительной ориентации, благодаря инерционным и центробежным силам у командира воздушного судна пропадает чувство ориентации своего тела в пространстве и контроль положения пилотируемого самолета сравнительно горизонта. Поэтому он должен вести самолет по приборам, не полагаясь на свои собственные чувства, которые могут создать только ложное представление.

В организме человека управление равновесием тела осуществляется с помощью вестибулярного аппарата, расположенного в среднем ухе. При отсутствии зрительной ориентации нормальная функциональная активность этого аппарата нарушается. Это приводит к появлению ложных ощущений.

Поэтому одной из особенностей полета в облаках является необходимость отказа от своих собственных ощущений горизонта и пространства и полная уверенность в показаниях соответствующих приборов. Это требует большой силы воли, навыков и опыта, а также наличия соответствующего оборудования самолета.

Небольшая облачность, не увеличивающаяся со временем, может и не оказывать какого-либо влияния на производство полетов, так как при этом сохраняются благоприятные условия для ведения визуальной ориентировки и выполнения полетных заданий. По мере понижения облачности увеличивается ее значимость для полетов, возрастают трудности в технике пилотирования и аэронавигации.

Наиболее важными этапами полета являются взлет и посадка самолетов. Взлет производится визуально при обязательном сохранении прямолинейности разбега и соблюдении мер безопасности. При этом ориентировка выполняется с помощью огней ограничения ВПП или осевых огней. Низкая облачность значительно сокращает время визуального полета и требует от летного состава высокого уровня подготовки.

Особенно большое влияние низкие облака оказывают при заходе воздушного судна на посадку. Связано это с особенностью получения пилотом информации, необходимой для оценки состояния атмосферы вокруг себя и осуществления требуемых действий. Практически только зрительный, слуховой, двигательный анализаторы и, отчасти, осязательный используются им при управлении самолетом визуально или при помощи приборов. Зрительным путем летчик получает до 80% информации, требуемой для пилотирования самолета. Поэтому в тех случаях, когда зрение не может дать объективную информацию о местонахождении воздушного судна, как это бывает при полете в облачных воздушных массах, командир оказывается в затруднительном положении.

Пробивание облачности над взлетно-посадочными полосами для захода на посадку выполняется по разработанной для данного аэродрома схеме с использованием посадочных систем. Схемы пробивания облачности составляются с учетом находящихся вокруг аэродромов естественных и искусственных препятствий, ориентацию ВПП, минимума погодных условий для этого аэродрома, т.е. всех метеорологических элементов, отвечающих за безопасность полета.

Применение посадочных систем и модернизации авиационных навигационных приборов позволило существенно уменьшить минимальные границы вертикальной и горизонтальной видимости, при которых самолет способен взлетать и приземляться.

Пилотирование самолета с момента выхода на посадочный курс и до окончания пробивания облаков при установленном минимуме погоды является самой сложной и самой ответственной частью полета. Его сложность заключается в том, что летному составу на этом этапе необходимо выполнять очень много различных по своей природе действий, которые сводятся, в основном, к способности правильно распределять внимание на приборы, точно ориентировать самолет по маршруту и предварительно рассчитанной глиссаде планирования[11, с.8-11].

Г.В. Заболотников в методическом пособии пишет: «Из всех метеорологических условий в качестве примеров сложности выбраны высота нижней границы облаков и видимость. Они, их сочетания, а также условия проведения полетов позволяют классифицировать метеорологические условия, как простые и сложные:

- 1) Простые метеоусловия (ПМУ) – такие, при которых весь полет, включая заход на посадку, может выполняться визуально.
- 2) Сложные метеорологические условия (СМУ) – такие, при которых полет полностью или частично выполняется по приборам» [11, с.11].

1.3. Методы прогноза низких облаков

В соответствии с основными руководящими документами по метеорологическому обеспечению гражданской авиации в авиационные прогнозы погоды включается следующая информация об облачности: количество облаков, их форма, а также высота нижней и верхней границ. Однако потребители метеорологической информации не требуют от метеорологической службы таких подробностей.

Читая специальную литературу разных лет, можно заметить, что пределы высоты нижней границы облаков, принимаемых за низкие, все время уменьшаются. Действительно, в 1950-е годы низкой облачностью считали облачность с высотой нижней границы в 300 метров и ниже, в 1980-е за низкие облака стали принимать облачность ниже 200 метров, а в настоящее время принимаются облака с нижней границей менее 100 метров. Это связано с уменьшением минимумов погоды, так как со временем оснащение самолетов становится более полным и модернизированным.

Только два явления погоды – низкие облака и туманы больше всего зависят от местных условий. Поэтому существует множество методов прогнозирования обоих явлений. Будут рассмотрены основные методы, использующиеся в различных регионах России. Многие из этих методов являются как синоптическими, так и аналитическими. В этом случае результаты прогноза будут намного лучше, чем при использовании непосредственно приведенных ниже графиков и формул. При решении этой проблемы можно с уверенностью говорить только о правильном физическом подходе.

В прогнозах, предназначенных для авиации в качестве параметров облачности указывается их количество, форма и высота нижней и верхней границ. Высота нижней границы облачного покрова по большей части измеряется в метрах или километрах и обычно округляется до десятков метров [7, с.22].

1.3.1. Прогноз высоты нижней границы облачности по формулам

Для определения высоты нижней границы облачности заметную популярность получили формулы, выведенные с помощью экспериментов:

$$1) \quad \text{формула Ипполитова: } H = 24 * (100 - R) \quad (1)$$

$$2) \quad \text{формула Ферреля: } H = 122 * (T - T_d)_0 \quad (2)$$

$$3) \quad \text{формула без автора: } H = 122 * (T - T_d) - m, \quad (3)$$

где H – высота нижней границы облаков, (м);

T – температура воздуха у земной поверхности ($^{\circ}\text{C}$);

T_d – температура точки росы у земной поверхности, ($^{\circ}\text{C}$);

R – относительная влажность, (%);

m – коэффициент, связанный с наличием осадков.

При мороси $m = 80$, при других видах осадков $m = 50$ и при не появлении осадков. При $m = 0$ формула преобразуется в формулу Ферреля).

1.3.2. Прогноз высоты нижней границы облачности по методу

Е.И. Гоголевой

Значения температуры T и температуры точки росы T'_d использованы Е.И. Гоголевой при построении графика для прогноза низкой облачности (рисунок 1). На графике по вертикальной оси отложена температура воздуха T , а по горизонтальной – прогностическая температура точки росы T'_d . Наклонные линии разделяют области с преобладанием облаков указанных пределов. Этот метод целесообразно применять при медленно меняющимися синоптическими условиями и достаточно хорошо выраженном переносе масс воздуха. Оптимальный период прогноза по этому методу 9 часов, однако, при необходимости с помощью метода Е.И. Гоголевой можно разрабатывать прогнозы с заблаговременностью до 12 часов.

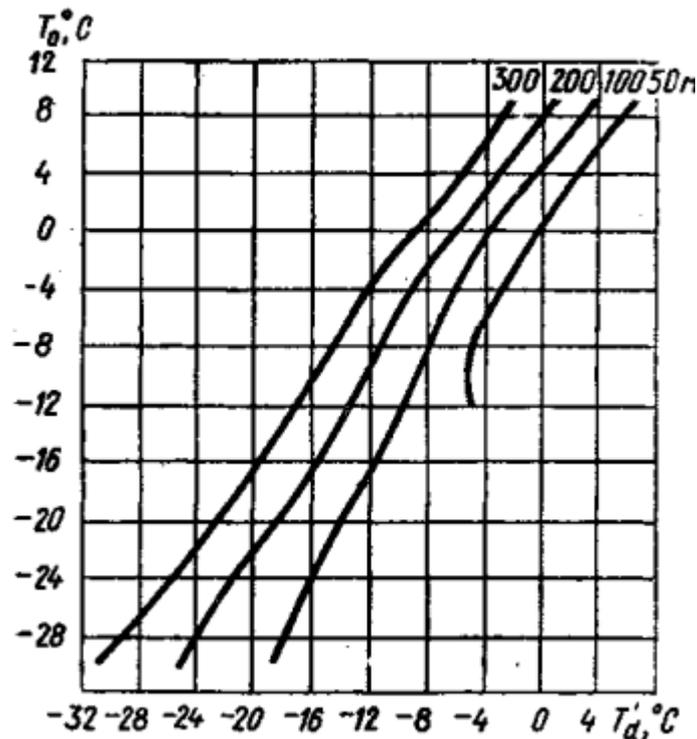


Рисунок 1 – График для прогноза высоты нижней границы облаков по методу Е.И. Гоголевой.

К.Г. Абрамович определены добавочные критерии прогноза низкой облачности. Если характерные для переноса воздуха изменения температуры переходят за значение 4°C за период времени 12 ч, то при адвекции тепла отмечается уменьшение значения высоты облачности, а при адвекции холода – увеличение. Если же адвективные изменения температуры больше или равны 6°C за период времени 12 ч, то при горизонтальном переносе тепла происходит облакообразование или резкое понижение облачности, а при переносе холода – повышение или исчезновение облаков. Вероятность, что эти прогнозы окажутся верными на европейской части Российской Федерации составляет около 80%.

На основе метода Е.И. Гоголевой разработано много других способов прогноза облачности, охватывающие другие параметры. Например, для прогноза высоты нижней границы облаков на срок до 12 часов можно рекомендовать график, представленный на рис.2. На графике вдоль вертикальных осей откладывается адвективное увеличение температуры у

земной поверхности ($T-T'$) за период прогноза, наклонные линии связаны с прогностическим значением ветра у земной поверхности, а значение высоты нижней границы облаков измеряется вдоль горизонтальной оси.

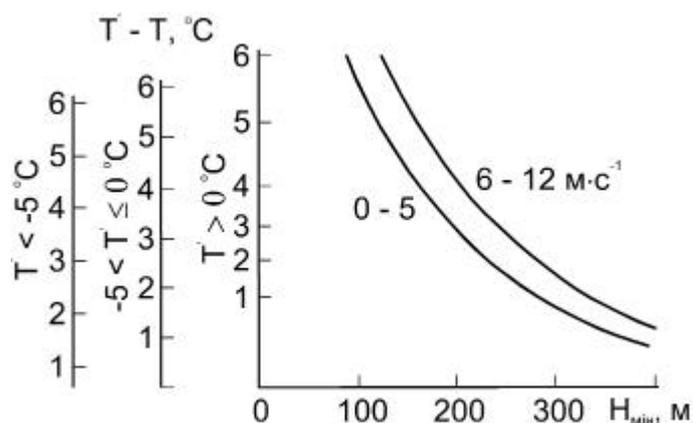


Рисунок 2 – График для прогноза минимальной высоты нижней границы облаков

Наличие трех шкал, ориентированных вертикально позволяет не пренебречь влиянием температуры на высоту облачного покрова. Первая шкала применяется, если значения температуры ниже -5°C , вторая – если значение температуры, попадает в промежуток от -5°C до 0°C , и третья – при положительных температурах. Чтобы оценить возможность образования облаков высотой ниже 300 метров в холодный период удобно использовать график, указанный на рисунке 3. Здесь температура воздуха у поверхности в данный момент T отражается вдоль горизонтальной оси, а величина предполагаемого нагрева ΔT – вдоль вертикальной оси. Разделительные линии пересекают весь график на два участка. Если точка с начальными значениями T и ΔT попадает в зону «Облака», то в прогноз должен указывать на низкую облачность, если нет – говорится об отсутствии низких облаков.

1.3.3. Прогноз высоты нижней границы облачности по методу главного авиаметеорологического центра

Служащими главного авиаметеорологического центра (ГАМЦ) выявлены способы прогноза нижней границы облачности, опирающиеся на информацию об изменениях температуры и температуры точки росы. Эти

методы сведены к использованию графиков, представленных на рисунках 4 и 5.

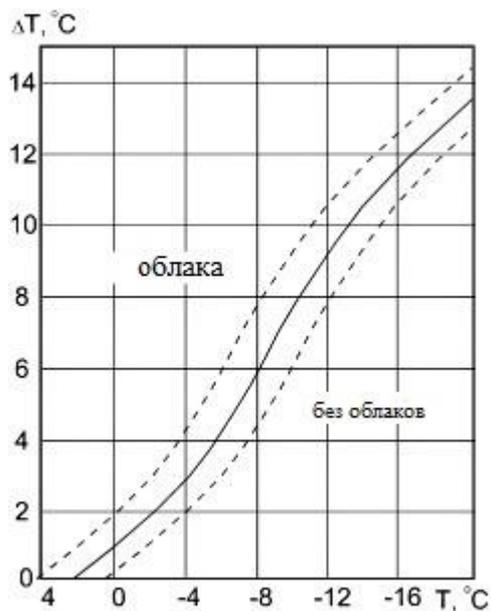


Рисунок 3 – График для прогноза облачности высотой 300 метров и ниже при адвекции тепла в холодный период

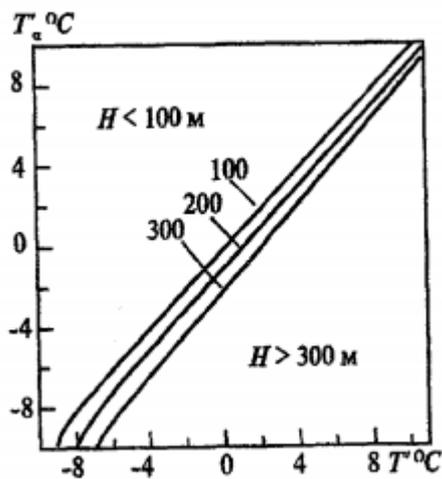


Рисунок 4 – График для прогноза высоты нижней границы облаков по ожидаемым значениям температуры T' и температуры точки росы T'_d

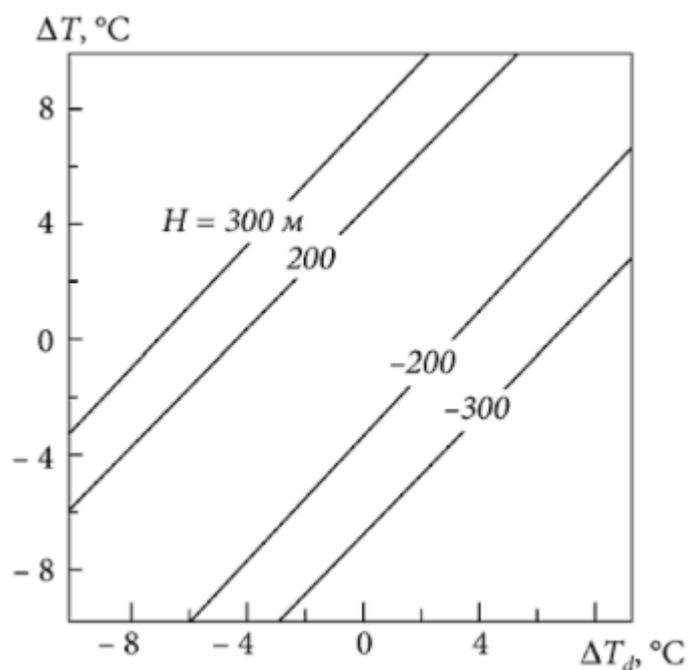


Рисунок 5 – График для оценки изменений высоты нижней границы облаков

Рисунок 4 позволяет оценить высоту нижней границы облачности по прогностическим значениям температуры T' и температуры точки росы T'_d , а рисунок 5 – изменение высоты облачности в зависимости от характерных для переноса тепла изменений температуры ΔT и температуры точки росы $\Delta T'_d$. Указанные графики дают удовлетворительные результаты при прогнозе облачности на срок от 6 до 12 часов. Очень часто за нижнюю границу низких облаков принимается уровень конденсации, для определения которого можно воспользоваться аэрологической диаграммой. Высоту нижней границы облачности можно оценить и по ожидаемому характеру погоды синоптическим и статистическим методом. Установлено, что для средних широт Европейской части России при осадках и дымке, ухудшающих видимость до 4 километров, высота нижней границы облачности обычно не превышает 100 – 200 метров; при видимости 1.5 – 4.0 километра высота облачности колеблется в пределах 60 – 10.0 метров, а при видимости менее 1.5 километров – 30 – 60 метров.

Не на всех рисунках подписаны значения величин на осях. Дело в том, что при прогнозе высоты нижней границы облаков на каждом аэродроме будет свой график, при своих значениях метеорологических величин будет наблюдаться облачность определенной высоты. Предлагается только подход к решению проблемы.

1.3.4. Прогноз низкой облачности по методу З.А.Спарышкиной

График для прогноза низкой облачности, предложенный З.А.Спарышкиной (рис.7.)

Он позволяет по значениям температуры T_0' и температуры точки росы $T_{до}'$ в начале траектории переноса определить возможность возникновения облачности высотой до 100 м. Оптимальное предварительное время при использовании данного метода 6 – 9 часов.

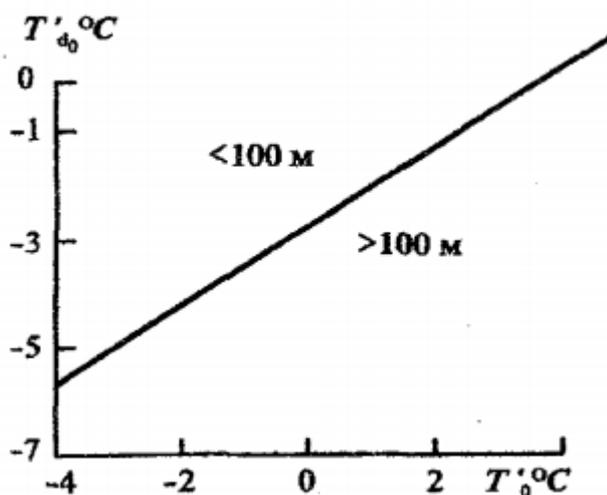


Рисунок 7 – График З.А. Спарышкиной для прогноза облачности высотой до 100 метров [8, с.113 – 122]

2. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ЕГО ОБРАБОТКИ

2.1. Характеристика исходного материала

Исходными данными для расчетов повторяемости нижней границы облачных масс послужил архив погоды, полученный с помощью электронного ресурса [2], в районе аэродрома Пулково. Период исследования составил 5 лет с 2013 по 2017 год. Архив погоды включает в себя ежечасные метеорологические наблюдения. Пропусков в ряде наблюдений не было.

Эпизодом непрерывного существования низкой облачности будем считать случай непрерывной регистрации облачности в определенной градации количества облаков в течение определенного числа сроков.

В работе исследована высота нижней границы облачности. Из дневников погоды регулярных наблюдений выбиралась необходимая для исследования информация.

Всего проанализировано 43824 наблюдения, из которых выбрано 10856, 4281 и 1357 случаев, соответствующих выбранному критерию – высоте нижней границы облачности, равной значению меньше 300, 200 и 100 метров соответственно.

В таблице 1 представлены исходные данные высоты нижней границы облаков за 31 декабря 2017 года.

Таблица 1 – Исходные данные 31.12.2017

Местное время	Данные об облачности
31.12.2017 23:00	Сплошная (100%) 990 м
31.12.2017 22:00	Сплошная (100%) 1020 м
31.12.2017 21:00	Сплошная (100%) 1050 м
31.12.2017 20:00	Сплошная (100%) 1140 м
31.12.2017 19:00	Сплошная (100%) 1050 м
31.12.2017 18:00	Незначительная (10–30%) 210 м, сплошная (100%) 1020 м
31.12.2017 17:00	Сплошная (100%) 1230 м
31.12.2017 16:00	Сплошная (100%) 1200 м
31.12.2017 15:00	Сплошная (100%) 1080 м
31.12.2017 14:00	Сплошная (100%) 1050 м
31.12.2017 13:00	Сплошная (100%) 990 м
31.12.2017 12:00	Сплошная (100%) 1020 м
31.12.2017 11:00	Сплошная (100%) 1050 м
31.12.2017 10:00	Сплошная (100%) 1050 м
31.12.2017 09:00	Сплошная (100%) 1020 м
31.12.2017 08:00	Рассеянная (40–50%) 270 м, сплошная (100%) 990 м
31.12.2017 07:00	Рассеянная (40–50%) 180 м, сплошная (100%) 990 м
31.12.2017 06:00	Разорванная (60–90%) 210 м, сплошная (100%) 990 м
31.12.2017 05:00	Разорванная (60–90%) 990 м
31.12.2017 04:00	Разорванная (60–90%) 990 м
31.12.2017 03:00	Разорванная (60–90%) 990 м
31.12.2017 02:00	Разорванная (60–90%) 990 м
31.12.2017 01:00	Разорванная (60–90%) 990 м
31.12.2017 00:00	Разорванная (60–90%) 990 м

2.2. Методы обработки исходных данных

1) Анализировались значения для высоты нижней границы облаков ниже 300, 200 и 100 метров.

2) Определялись годовой и суточный ходы облачности по тем же градациям.

Все расчеты проводились с помощью программы для работы с электронными таблицами *Microsoft Office Excel*. Все расчеты представлены в таблицах и графиках в тексте работы.

В ходе работы была рассмотрена и проанализирована повторяемость случаев высоты нижней границы облачности в различных градациях. Процент повторяемости определялся от общего числа наблюдений за 5 лет по каждому сроку.

2.3. Физико-географическая характеристика исследуемого района

Санкт-Петербург – город федерального значения Российской Федерации, субъект Российской Федерации, административный центр Северо-Западного федерального округа, место нахождения высших органов власти. Ленинградской области. Санкт-Петербург — 3-й по численности город Европы.

Город Санкт – Петербург (без учета пригородов) расположен между $60^{\circ} 05'$ (Промзона Парнас) и $59^{\circ} 48'$ северной широты (Авиагородок). Координаты центра — $59^{\circ}57'$ с. ш. $30^{\circ}19'$ в. д. (рисунок 8).

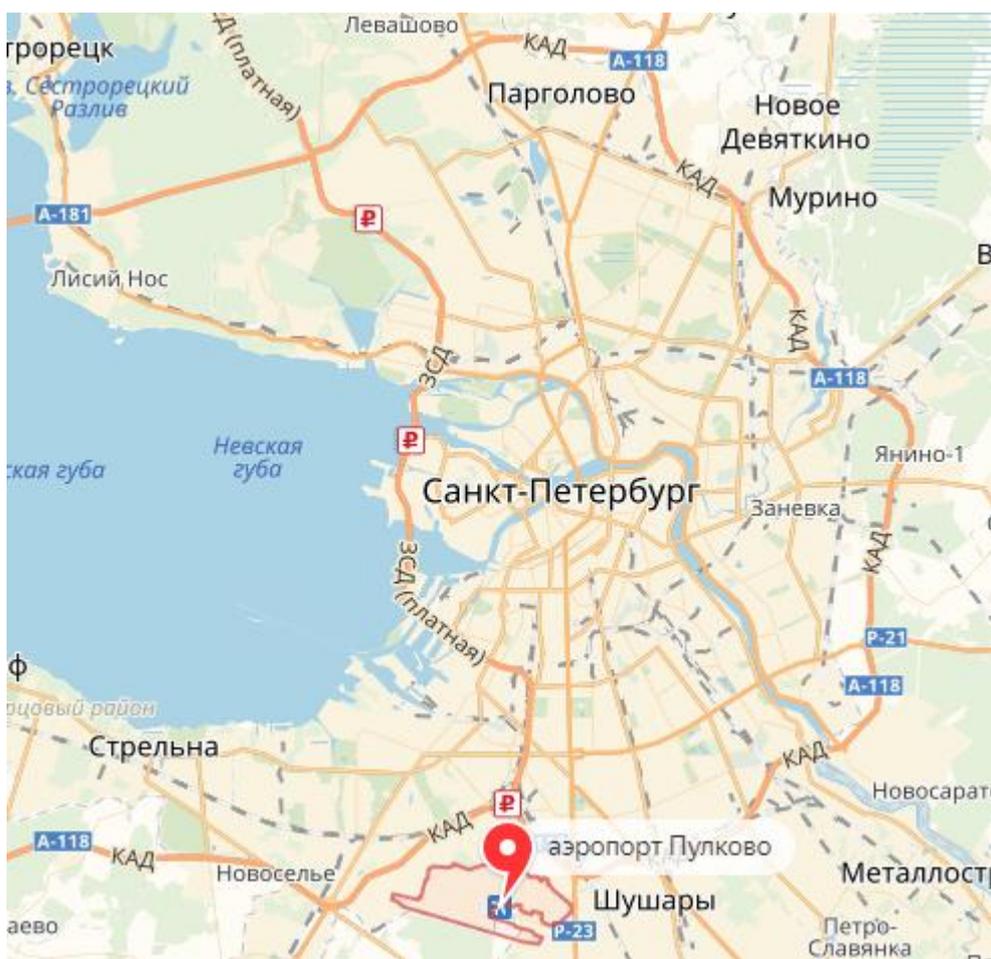


Рисунок 8 – Карта г. Санкт-Петербург

Город расположен на северо-западе Российской Федерации, в пределах Приневской низменности, на прилегающем к устью реки Невы побережье Невской губы Финского залива и на многочисленных островах Невской дельты.

Площадь территории города — 1.4 тысячи км². Из них территория высокоплотной, почти сплошной застройки составляет 650 км² [17]

Аэропорт Пулково – это международный аэропорт федерального значения в Северо-Западном федеральном округе России. Он является единственным аэропортом Санкт-Петербурга, обслуживающим официальные рейсы.

Аэродром Пулково расположен в 15 км от центра Санкт-Петербурга в Московском районе. Географические координаты контрольной точки аэродрома – КТА:

- широта – $59^{\circ}48'01''$ северная;
- долгота – $30^{\circ}15'45''$ восточная.

Абсолютная высота КТА ($H_{\text{кта}}$) = + 24 м

Абсолютная высота аэродрома ($H_{\text{аэр}}$) = + 24 м

Магнитное склонение (ΔM) восточное = $+6^{\circ}$

Разность между поясным (местным) и всемирным скоординированным (гринвичским) временем (ВСВ) – 3 часа.

Летное поле аэродрома имеет прямоугольную форму. Спутниковый снимок аэродрома представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Спутниковый снимок аэродрома Пулково [21]

На аэродроме имеется две взлетно-посадочные полосы: взлетно-посадочная полоса 10R/28L размером 3782×60 м и взлетно-посадочная полоса 10L/28R размером 3397×60 м, искусственное покрытие – цементобетон, класс А.

ССО: ВПП-10: ОВИ-2, ВПП-28: ОВИ-1

Также аэродром имеет систему магистральных, соединительных и вспомогательных рулежных дорожек, восьмую категорию по уровню требуемой пожарной защиты.

В аэропорту Пулково операции взлета и посадки могут осуществляться независимо от метеоусловий.

ИВПП имеют длины 3782 м и 3397 метров соответственно, оборудованы для взлета и посадки воздушных судов (ВС) всех типов. При выполнении полетов ВС по правилам визуальных полетов (ПВП), используется следующий минимум: по высоте нижней границы облаков не менее 150 м, по видимости не менее 2000 метров [5].

Ленинградская область и город Санкт-Петербург полностью находятся на территории Русской равнины, второе название которой Восточно-Европейская. Это обуславливает равнинный характер местности с небольшими абсолютными высотами. Высота города над уровнем моря: для центральной части – 1 – 5 метров, для северной части – 5 – 30 метров, для южной части – 5 – 22 метра.

Комфортные условия для человека устанавливаются только в летние месяцы. В остальной период условия дискомфортны, что объясняется повышенными значениями скорости ветра и относительной влажностью воздуха в холодный период года.

Чрезмерно влажный климат обуславливает обилие рек, озер и болот, распределение которых по территории региона во многом определяется ландшафтом и геологическим строением.

Территория СПб и вся речной бассейн ЛО относится к бассейну Балтийского моря [20, с.115]. Речная система потная (до 0.35 км/км²). Самый крупный водосбор (282000 км²) имеет главная река Санкт-Петербурга – река Нева. Истоками многих рек берет являются озера или болота. Все реки принадлежат к равнинному типу [12, с. 34].

Общая заболоченность местность достаточно велика. Площадь участков расположения болот достигает 17 %. Преобладающими являются верховые болота (78.6 %).

Климат региона относится к атлантико-континентальному типу климата. Морские воздушные массы определяют относительно мягкую зиму с

частыми оттепелями и умеренно-теплое, а иногда довольно холодное дождливое лето. Около 150 суток в год область характеризуется пасмурной погодой с общей облачностью 8-10 баллов, а значения относительной влажности воздуха колеблются у отметки в 80%.

Количество осадков в год составляет около 600 – 700 мм. Большая часть осадков выпадает в летне-осенний период. Зима выпадают в основном твердые осадки в виде снега. Постоянный снежный покров появляется во второй половине ноября – первой половине декабря. Сходит снег во второй половине апреля.

Почва региона характеризуется значительным разнообразием. Неоднородность местных природных условий – 12 почвообразующих пород, растительного покрова, рельефа и режимов увлажнения – часто вызывают резкую изменчивость почвенного покрова в пространстве. Преобладают почвы подзолистого и болотного типов [20, с. 115].

3. АНАЛИЗ НИЗКОЙ ОБЛАЧНОСТИ НА АЭРОДРОМЕ ПУЛКОВО

3.1. Годовой ход низкой облачности

Одним из метеорологических элементов, затрудняющим взлет и посадку самолетов, а, следовательно, влияющим на регулярность и безопасность полетов в аэропорту Пулково является низкая облачность (300 метров и ниже). Наличие низкой облачности усложняет или делает невозможным полеты самолетов по правилам визуальных полетов, а также взлет и посадку воздушных судов на ВПП. Повторяемость нижней границы облаков различных градаций отражает повторяемость высоты среднего уровня, около которого колеблется высота нижней границы облаков [16, с. 127].

Годовой ход повторяемости (число случаев) высоты облаков ниже 300, 200 и 100 метров отображены в таблицах 2–4.

Таблица 2 – Повторяемость (число случаев) высоты нижней границы облаков ниже 300 метров по месяцам года

месяц	год				
	2017	2016	2015	2014	2013
январь	398	322	366	362	391
февраль	263	192	271	344	275
март	149	162	113	71	64
апрель	194	209	170	26	75
май	22	51	68	150	73
июнь	74	34	8	98	22
июль	77	161	47	29	69
август	97	161	19	81	56
сентябрь	173	112	90	62	126
октябрь	263	163	110	193	141
ноябрь	312	452	446	475	238
декабрь	385	419	232	351	299
Среднее за год	201	203	162	187	152

Таблица 3 – Повторяемость (число случаев) высоты нижней границы облаков ниже 200 метров по месяцам года

месяц	год				
	2017	2016	2015	2014	2013
январь	144	138	134	133	131
февраль	81	51	133	161	146
март	64	97	25	24	14
апрель	82	113	56	9	23
май	4	28	28	57	33
июнь	18	8	3	40	6
июль	21	46	6	13	22
август	26	60	10	33	25
сентябрь	84	50	49	26	61
октябрь	85	53	53	83	30
ноябрь	102	148	265	258	114
декабрь	138	160	64	138	74
Среднее за год	71	79	69	81	57

Таблица 4 – Повторяемость (число случаев) высоты нижней границы облаков ниже 100 метров по месяцам года

месяц	год				
	2017	2016	2015	2014	2013
январь	68	56	26	27	19
февраль	20	14	55	34	57
март	30	22	5	6	2
апрель	25	47	15	5	8
май	1	17	3	20	5
июнь	1	1	0	10	1
июль	8	13	1	7	9
август	2	20	4	3	1
сентябрь	40	22	23	7	27
октябрь	11	28	16	39	4
ноябрь	37	19	98	102	34
декабрь	31	47	22	50	32
среднее за год	23	26	22	26	17

Очень часто климатологи предпочитают описывать облачность не средними ее значениями, а повторяемостью различных значений высоты нижней границы. На метеорологических станциях отмечается одновременно как общее количество облаков, так и количество облаков нижнего яруса.

Годовой ход повторяемости (%) высоты облаков ниже 300, 200 и 100 метров, отображен в таблицах 5–7.

Таблица 5 – Повторяемость (%) высоты нижней границы облаков ниже 300 метров по месяцам года

месяц	год				
	2017	2016	2015	2014	2013
январь	53.49	43.28	49.19	48.66	52.55
февраль	39.14	27.59	40.33	51.19	40.92
март	20.03	21.77	15.19	9.54	8.60
апрель	26.94	29.03	23.61	3.61	10.42
май	2.96	6.85	9.14	20.16	9.81
июнь	10.28	4.72	1.11	13.61	3.06
июль	10.35	21.64	6.32	3.90	9.27
август	13.04	21.64	2.55	10.89	7.53
сентябрь	24.03	15.56	12.50	8.61	17.50
октябрь	35.35	21.91	14.78	25.94	18.95
ноябрь	43.33	62.78	61.94	65.97	33.06
декабрь	51.75	56.32	31.18	47.18	40.19
среднее за год	27.56	27.76	22.32	25.77	20.99

Таблица 6 – Повторяемость (%) высоты нижней границы облаков ниже 200 метров по месяцам года

месяц	год				
	2017	2016	2015	2014	2013
январь	19.35	18.55	18.01	17.88	17.61
февраль	12.05	7.33	19.79	23.96	21.73
март	8.60	13.04	3.36	3.23	1.88
апрель	11.39	15.69	7.78	1.25	3.19
май	0.54	3.76	3.76	7.66	4.44
июнь	2.50	1.11	0.42	5.56	0.83
июль	2.82	6.18	0.81	1.75	2.96
август	3.49	8.06	1.34	4.44	3.36
сентябрь	11.67	6.94	6.81	3.61	8.47
октябрь	11.42	7.12	7.12	11.16	4.03
ноябрь	14.17	20.56	36.81	35.83	15.83
декабрь	18.55	21.51	8.60	18.55	9.95
среднее за год	9.71	10.82	9.55	11.24	7.86

Таблица 7 – Повторяемость (%) высоты нижней границы облаков ниже 100 метров по месяцам года

месяц	год				
	2017	2016	2015	2014	2013
январь	9.14	7.53	3.49	3.63	2.55
февраль	2.98	2.01	8.18	5.06	8.48
март	4.03	2.96	0.67	0.81	0.27
апрель	3.47	6.53	2.08	0.69	1.11
май	0.13	2.28	0.40	2.69	0.67
июнь	0.14	0.14	0.00	1.39	0.14
июль	1.08	1.75	0.13	0.94	1.21
август	0.27	2.69	0.54	0.40	0.13
сентябрь	5.56	3.06	3.19	0.97	3.75
октябрь	1.48	3.76	2.15	5.24	0.54
ноябрь	5.14	2.64	13.61	14.17	4.72
декабрь	4.17	6.32	2.96	6.72	4.30
Среднее за год	3.13	3.47	3.12	3.56	2.32

Повторяемость низкой облачности сильно варьирует от одного аэродрома к другому в зависимости как от общециркуляционных, так и от местных условий. Влияние местных условий иногда выражено очень сильно, и его не всегда легко объяснить [18, с.2].

На всех аэродромах, в их числе и на аэродроме Пулково, длительные эпизоды низкой облачности наиболее характерны для осенне-зимнего (ноябрь – февраль) периода. Летом (апрель – сентябрь), как правило, такие эпизоды кратковременны и немногочисленны. Это объясняется сменой процессов атмосферной циркуляции зимнего типа на летний тип и наоборот сменой летнего типа на зимний.

В таблице 8 отображены значения повторяемости нижней границы облаков, осредненные за весь период наблюдений (с 2013 по 2017 год).

Таблица 8 – Повторяемость (%) высоты нижней границы облаков ниже заданных значений по месяцам года

месяц	Высота нижней границы, м		
	300	200	100
январь	49.44	18.28	5.27
февраль	39.83	16.97	5.34
март	15.03	6.02	1.75
апрель	18.72	7.86	2.78
май	9.78	4.03	1.24
июнь	6.56	2.08	0.36
июль	10.30	2.90	1.02
август	11.13	4.14	0.81
сентябрь	15.64	7.50	3.31
октябрь	23.39	8.17	2.63
ноябрь	53.42	24.64	8.06
декабрь	45.32	15.43	4.89
Среднее за год	24.88	9.84	3.12

Годовой ход облачности ниже 300, 200 и 100 метров на аэродроме Пулково отображен на рисунках 10–12 соответственно.

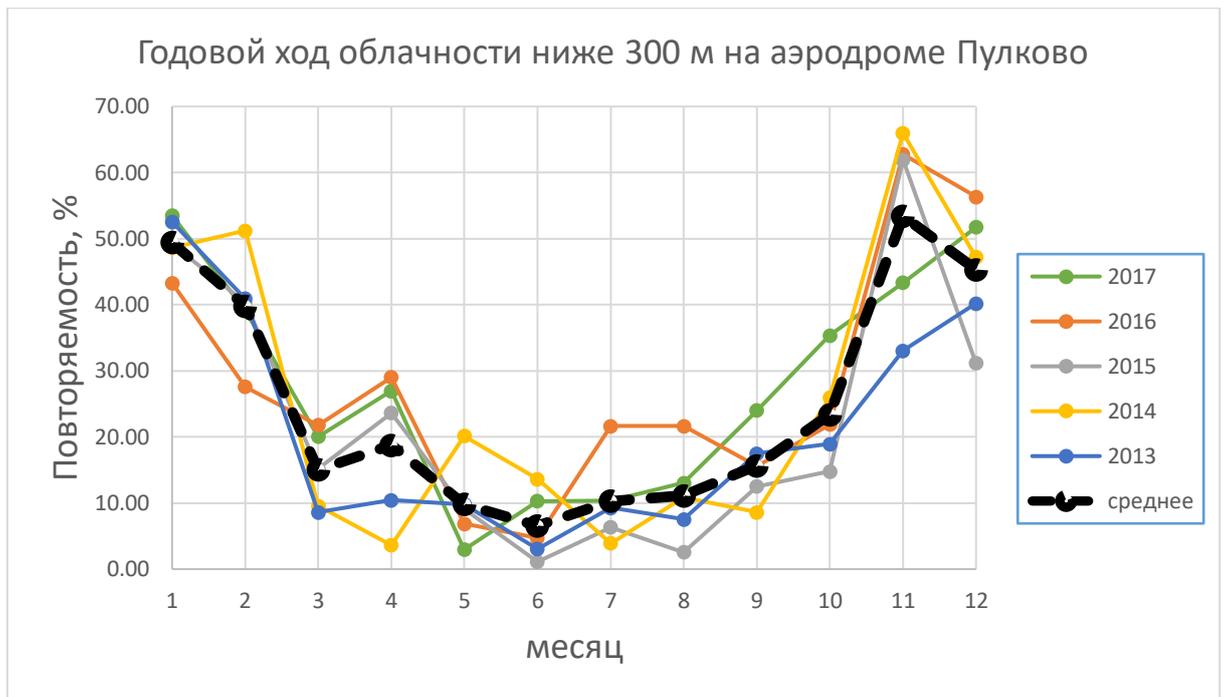


Рисунок 10 – Годовой ход облачности ниже 300 метров на аэродроме Пулково

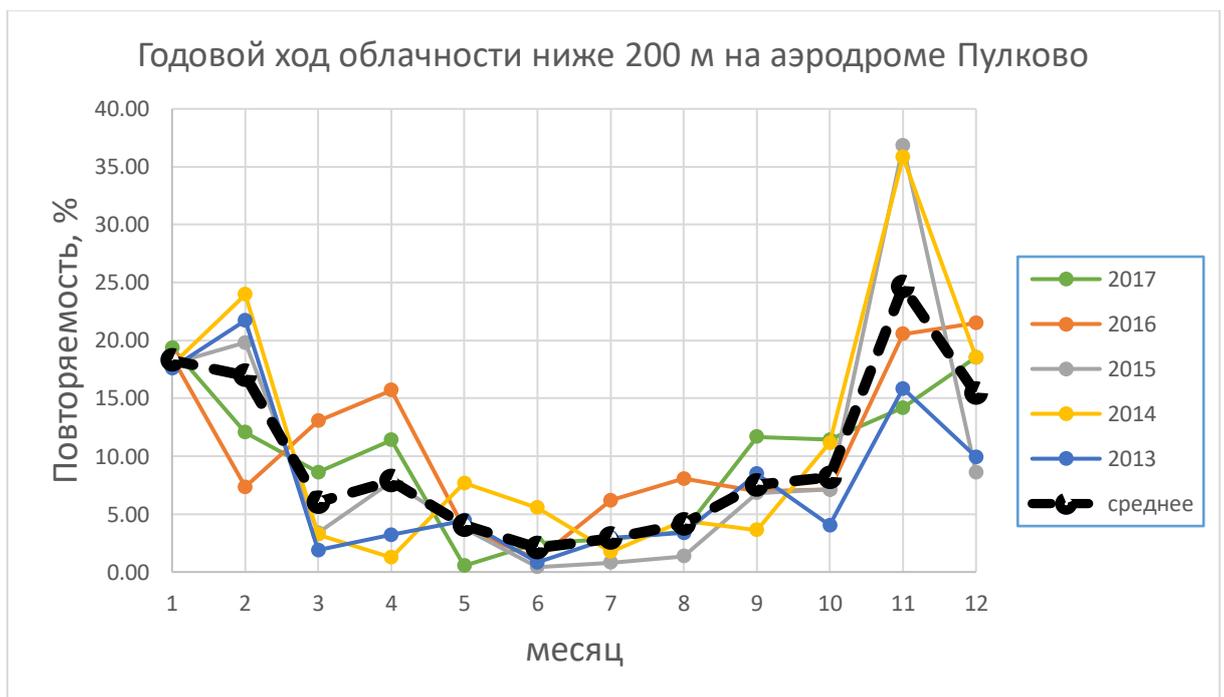


Рисунок 11 – Годовой ход облачности ниже 200 метров на аэродроме Пулково

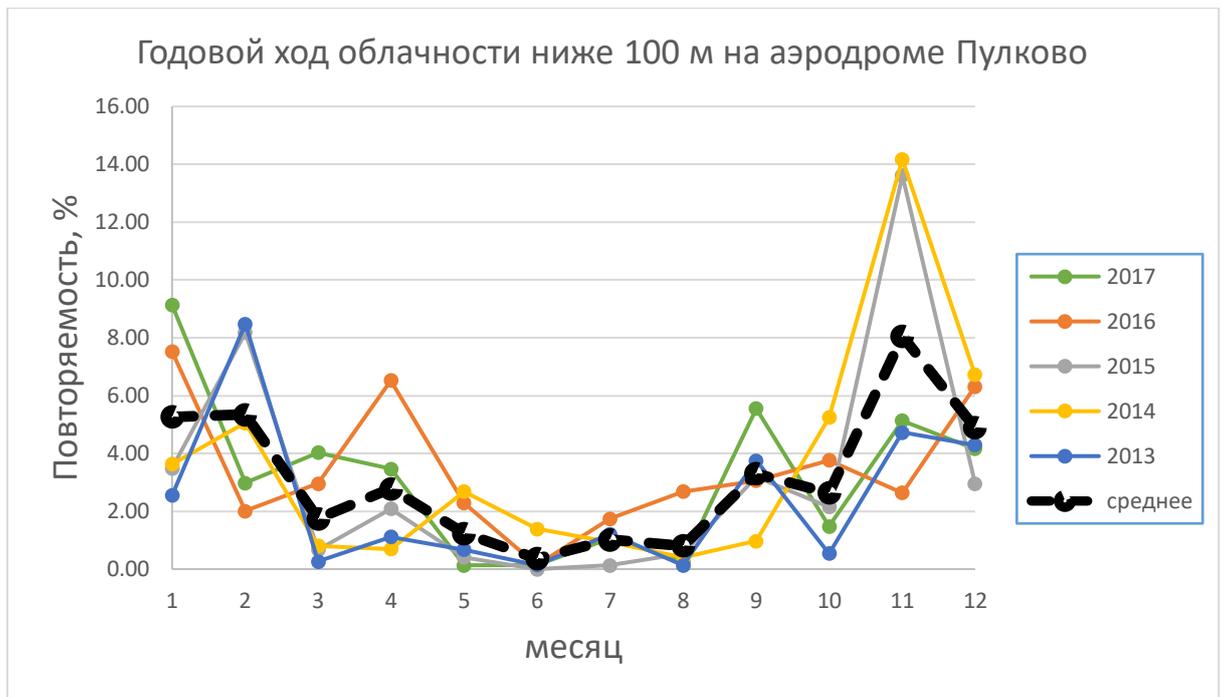


Рисунок 12 – Годовой ход облачности ниже 100 метров на аэродроме Пулково

Проанализировав таблицу 8 и рисунки 10 – 12 можно сделать вывод о том, что максимальная повторяемость высоты нижней границы облаков ниже 300 метров приходится на ноябрь (53.42%) и январь (49.44%) месяцы. Аналогичная ситуация складывается и с ВНГО ниже 200 и 100 метров. Максимальная повторяемость высоты облаков ниже 200 и 100 метров наблюдается в ноябре и составляет 24.64 % и 8.06% соответственно. Минимум повторяемости высоты облаков ниже 300 (6.56%), 200 метров (2.08%) и ниже 100 метров (0.36%) приходится на июнь (таблица 7).

3.2. Суточный ход низкой облачности

В таблицах 9 – 10 и на рисунке 13 отображены значения повторяемости нижней границы облаков ниже 300, 200 и 100 метров в различные часы суток на аэродроме Пулково за период 2013–2017 год.

Таблица 9 – Повторяемость (количество случаев) высоты нижней границы облаков ниже заданных значений в различные часы суток

Время (мск), час	ВНГО, м		
	<300	<200	<100
00	421	186	55
01	446	184	56
02	450	188	53
03	466	194	61
04	456	195	69
05	476	214	70
06	505	241	82
07	519	241	88
08	536	244	93
09	554	236	84
10	532	214	75
11	508	195	62
12	502	165	49
13	479	150	53
14	434	139	43
15	413	133	38
16	401	138	36
17	385	129	32
18	386	137	34
19	385	145	37
20	390	144	39
21	385	153	46
22	411	148	47
23	416	168	55

Таблица 10 – Повторяемость (%) высоты нижней границы облаков ниже заданных значений в различные часы суток

Время (мск), час	ВНГО, м		
	<300	<200	<100
00	0.96	0.42	0.13
01	1.02	0.42	0.13
02	1.03	0.43	0.12
03	1.06	0.44	0.14
04	1.04	0.44	0.16
05	1.09	0.49	0.16
06	1.15	0.55	0.19
07	1.18	0.55	0.20
08	1.22	0.56	0.21
09	1.26	0.54	0.19
10	1.21	0.49	0.17
11	1.16	0.44	0.14
12	1.15	0.38	0.11
13	1.09	0.34	0.12
14	0.99	0.32	0.10
15	0.94	0.30	0.09
16	0.92	0.31	0.08
17	0.88	0.29	0.07
18	0.88	0.31	0.08
19	0.88	0.33	0.08
20	0.89	0.33	0.09
21	0.88	0.35	0.10
22	0.94	0.34	0.11
23	0.95	0.38	0.13

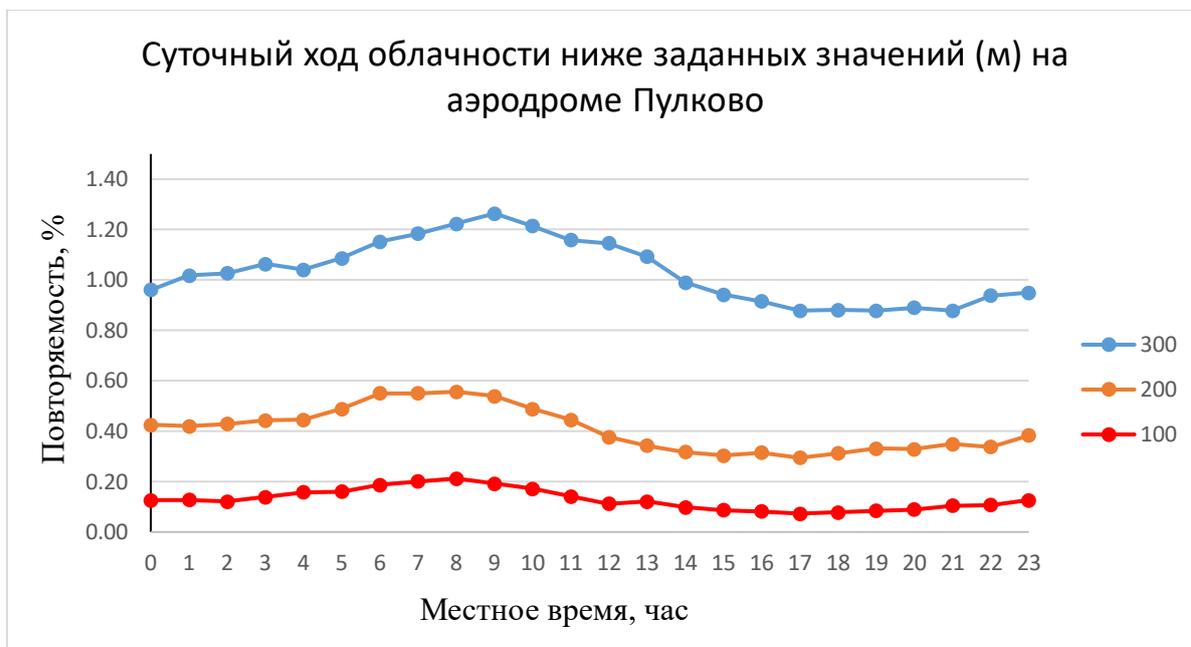


Рисунок 13– Суточный ход облачности ниже заданных значений на аэродроме Пулково

Суточный ход облачности сложен и зависит от вида облаков. Слоистые и слоисто-кучевые облака, связанные с выхолаживанием воздуха от земной поверхности и со относительно слабым турбулентным переносом водяного пара вверх, имеют максимум ночью и утром. Кучевые облака, связанные с неустойчивостью стратификации и хорошо выраженной конвекцией, возникают в основном днем и исчезают ночью. Облака упорядоченного восходящего движения, связанные с фронтами, не имеют четкого суточного хода.

На основании анализа таблиц 9 –10 и рисунка 13 можно сказать о том, что в суточном ходе облачности над сушей в умеренных широтах летом намечаются два максимума: более значительный утром, связанный с восходом солнца, и после полудня. В 09 часов процент повторяемости составил: ВНГО ниже 300 метров – 1.26 %, ниже 200 метров – 0.54%, ниже 100 метров – 0.19%.

В холодное время года, когда конвекция слаба или отсутствует, преобладает утренний максимум, который может стать единственным.

Также на основании рисунка 13 сделан вывод, что в суточном ходе почти везде выражен ночной рост количества значений ВНГО, что представляется

естественным следствием существования ночных инверсий температуры. Однако, следует иметь в виду, что ночные наблюдения количества облаков вообще не очень надежны: наблюдатель в безлунную ночь может лишь приблизительно оценить эту величину, особенно когда небо закрыто облаками не полностью.

3.3. Оценка влияния низких облаков на полеты

Значения высоты нижней границы облачности является одним из элементов, определяющих минимум погоды. И в тех случаях, когда высота нижней границы облаков опускается ниже установленного минимума аэродрома, полеты на этом аэродроме не выполняются [9, с.140].

Следует учесть, в июне 2006 года в аэропорту «Пулково» завершилась крупномасштабная реконструкция взлетно-посадочной полосы ИВП-2. Проект включал в себя комплекс аэродромно-строительных работ, усовершенствование объектов радиотехнического и метеорологического обеспечения полетов, а также замену светосигнального оборудования.

На взлетно-посадочные полосы аэродрома Санкт-Петербург (Пулково) и на АМЦ установлены:

- 1) основные и резервные метеорологические приборы фирмы «*Vaisala*»;
- 2) Автоматизированная метеорологическая информационно-измерительная система КРАМС-4;
- 3) Автоматизированная информационная система (АИС) «МетеоСервер»;
- 4) Автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс «Метеор-Метеоячейка»;
- 5) Грозопеленгатор;
- 6) Радиолокационная сеть «Марс»;
- 7) SADIS 2G;
- 8) АИС «Метеоконсультант»;
- 9) АИС «Метеоэксперт»
- 10) АИС «МетеоЦентр»;

11) АИС «МетеоБрифинг»

Данное оборудование позволяет осуществлять все процессы мониторинга состояния и технического обслуживания зон движения, включая ВПП, перейти на ежеминутные автоматизированные наблюдения, формирование и выдачу сводок авиапользователям [1].

Завершенная реконструкция ИВПП-2 расширила возможности аэропорта «Пулково» по приему и отправке воздушных судов, позволила эксплуатировать аэродром практически в любых метеоусловиях и принимать без ограничения все типы воздушных судов, включая новейший лайнер *Airbus A-380*. [5]

Следовательно, в связи с тем, что на аэродроме Пулково установлена самая современная навигационная система для посадки воздушных судов, низкая облачность не оказывает серьезного влияния на безопасность полетов.

3.4. Проблема высотного строительства СПб

Высотные здания – это многоэтажные здания, высота которых составляет 75 и более метров, то есть включающие в себя обычно более 25 этажей.

Высотное здание во все времена и по сей день приковывает взгляды и является атрибутом города. Но для того, чтобы возвести такой строительный объект, от архитекторов требуются уникальные инженерные и технологические решения, ведь где начинаются небоскребы, кончаются правила.

В связи с работой с большими высотами техническое оснащение, планировки и архитектурные решения высотных зданий во многом отличаются от малоэтажных зданий. Проект каждого высотного здания неповторим, так как для того или иного места застройки оказывают влияние определенные факторы окружающей среды.

Нехватка свободных территорий в крупных городах страны послужила причиной столь активного развития многоэтажного строительства, преобладающее на сегодняшний день по количественным показателям воздвижения. Высотные сооружения строятся не только в качестве жилых домов, но и множество бизнес-центров также стремится ввысь и обладает солидной этажностью.

В нашей стране к высотному строительству относятся по-разному. Кто-то считает многоэтажки средством спасения катастрофически заканчивающегося пространства в городах, ведь недаром такие здания прозвали «улицами вверх». А кто-то отдает предпочтение более обыденным размерам и, соответственно, малоэтажному строительству.

Международный форум, посвященный небоскрегам «100+ Forum Russia», поднял вопросы для серьезного обсуждения: для чего нужны высотные здания? Каковы достоинства и недостатки высотного строительства?

Против высотного жилья протестуют медики, которые заявляют, что продолжительное пребывание человека на уровне более 30 метров может побудить суицидальные наклонности. По данным иностранных ученых, в городах Германии, Великобритании, Франции, Испании не планируется возвращать сферу высотного жилищного строительства, поскольку обитатели небоскребов не испытывают чувство комфорта в «поднебесном раздолье». [3]

На высоте выше 30 метров в воздушной массе помещений скапливается гораздо больше болезнетворных бактерий, чем на нижних этажах. Это связано с тем, что теплый воздух имеет свойство подниматься вверх, а холодный – вниз. Через лестничные площадки и шахты лифтов теплый воздух засасывается из офисов нижних этажей и скапливается в офисах верхних. Другими словами, обитатели верхних этажей дышат тем воздухом, которым уже дышали работники нижних. Это явление заметно, начиная уже с пятого этажа зданий.

Изучения такого явления проводили в 1970-е годы во многих странах, в том числе и в СССР. Вследствие этого в Европе и США полностью остановили массовое строительство жилых зданий выше 25 метров. Однако не исключены случаи появления высотных зданий. [9]

Специалисты при строительстве тщательно подбирают лифты и другие инженерные системы. Они характеризуются высоким качеством и длительным гарантийным сроком. Это очень важно, т.к. в случае поломки лифта, служащие верхних этажей придется подниматься самостоятельно на большую высоту. [3]

Рассмотрим лифтовую систему небоскреба Лахта-Центр. В высотном здании будут использованы 38 лифта: двухуровневые пассажирские высокоскоростные и административно-хозяйственного назначения. Стратегия вертикального транспорта спроектирована таким образом, чтобы время ожидания в час пик не превышало 30 секунд, в некоторых группах время ожидания составляет 15 секунд [13].

Скорость экспресс-шаттла до обзорной площадки достигает 8 м/с, то есть 480 м/мин. При высоте башни 462 метра подъем наверх занимает не более минуты [13]. Из курса физики известно, что при изменении высоты на каждые 100 м величина давления изменяется на 10 мм ртутного столба. Проведя простые арифметические действия получаем: при использовании лифта величина градиента давления составляет около 45 мм ртутного столба, что, безусловно вредно для всех, не говоря о людях, страдающих болезнями сердца.

На больших высотах часто проектируются неоткрывающиеся окна, они имеют клапаны и форточки-створки, а во всем здании оборудована механическая система подачи и вытяжки воздуха и автоматическое кондиционирование. [3] В связи с этим существует такое явление, как резкие перепады атмосферного давления на верхних этажах, особенно если это здание повышенной этажности — 16 и выше [9].

Еще одним осложнением для высотных зданий является ветер. Из-за больших высот и в пространстве фасадов, скорость ветра, обтекающего здание, возрастает с высотой, а массивные воздушные завихрения могут создавать колебания, например, как при землетрясении силой 4-5 баллов. Временами возникает «завывание» в окружности здания.

Необходимо сказать о социальном здоровье обитателей высокоэтажных зданий. Любое высокое здание вмещает в себя большой коллектив рабочих. Это способствует тому, что люди ощущают себя в муравейнике, так как они не знают большинство сослуживцев. Вследствие этого возникает отчужденность от своего рабочего места. Психологи и социологи называют это чувством анонимности: ты никто среди неизвестных тебе людей.

Кроме того, достаточно большая повторяемость низкой облачности, наличие туманов и сильных осадков приводит к тому, что служащие верхних этажей небоскреба Лахта-Центр примерно до 25% рабочего времени будут находиться в облаках и не будут видеть земной поверхности. Это вызовет дополнительную психологическую нагрузку на сотрудников здания и снизит их продуктивность. Фото Лахта-Центр в пасмурную погоду представлено на рисунке 14.



Рисунок 14 – Фото Лахта-Центр в пасмурную погоду

Поэтому, по мнению ученых, многоэтажные проекты и в дальнейшем останутся немногочисленными. Однако они всегда будут присутствовать на рынке, так как спрос на такие комплексы не исчезнет – у таких зданий всегда найдется покупатель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнение взлета, полета, посадки, пилотирования самолетов и вертолетов существенно затрудняется при низкой облачности. Высота облачности довольно сложное метеорологическое условие погоды, прямо или косвенно влияющее на деятельность авиации.

Определялась повторяемость этого параметров ВНГО, затрудняющего взлет и посадку самолетов на аэродроме Пулково.

В результате обработки и анализа материалов полученные за период 2013-2017 год, сформированы следующие выводы:

- 1) За рассматриваемый период в районе аэродрома Пулково зафиксировано 10856 случаев со значениями ВНГО ниже 300 метров, 4281 случаев со значениями ВНГО ниже 200 метров и 1357 случаев – ниже 100 метров.
- 2) Проанализированы данные о наиболее низких облаках (вертикальная видимость <300 метров), влияющих на условия взлета и посадки воздушных судов;
- 3) Получены количественные характеристики суточного и годового хода повторяемости низкой облачности, продолжительности эпизодов ее существования;

В годовом ходе повторяемость ВНГО имеет два максимума: ноябрь (53.42% – ниже 300 метров) и январь (49.44% – ниже 300 метров), т.е. осенне-зимний период. Аналогично для ВНГО ниже 200 и 100 метров.

Минимум повторяемости высоты облаков ниже 300 (6.56%), 200 (2.08%) и 100 метров (0.36%) приходится на июнь.

Максимум повторяемости в суточном ходе приходится на утренние и послеобеденные часы, и в 09 часов составляет: ВНГО ниже 300 метров – 1.26 %, ниже 200 метров – 0.54%, ниже 100 метров – 0.19%.

- 4) Достаточно большое значение повторяемости высоты нижней границы облаков приводит к тому, что строительство небоскребов на северо-западе Российской Федерации нецелесообразно. Его следует запретить или строго ограничить.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. АМЦ «Пулково» | ФГБУ "Авиаметтелеком Росгидромета". [Электронный ресурс] URL: http://www.aviamet-szf.ru/?page_id=18 (дата обращения 12.04.2018)
2. Архив погоды в Пулково (аэропорт), METAR. [Электронный ресурс] URL: [https://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9F%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE_\(%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82\),_METAR](https://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%9F%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%BE_(%D0%B0%D1%8D%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82),_METAR) (дата обращения 28.12.2017)
3. Астафьева Н.С., Канищева Е.С., Никонова И.О. Перспективы строительства и эксплуатации небоскребов в 21 веке // Региональное развитие: электронный научно-практический журнал. № 1(5). 2015.
4. Атлас облаков / Д.П.Беспалов, А.М.Девяткин, Ю.А.Довгалоук и др. – СПб.:Гидрометеиздат,2006. – 248с.
5. Аэропорт Пулково (Санкт-Петербург). [Электронный ресурс] URL: <https://pulkovoairport.ru> (дата обращения 14.01.2017)
6. Баранов А.М. Погода и полеты самолетов и вертолетов / А.М.Баранов, П.Д.Астапенко, И.М.Шварев – Ленинград.:Гидрометеиздат, 1980. – 280 с.
Гидрометеиздат, 1991. – 232 с.
7. Богаткин О.Г. Авиационные прогнозы погоды. – 2-е изд., стереотипное. – СПб.:БВХ-Петербург, 2010. – 288 с.: ил. – (Учебное пособие)
8. Богаткин О.Г. Информационно-справочная книга авиационного метеоролога. – Санкт-Петербург: 2010. –220 с.
9. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии.Учебник. — СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – 339 с.
- 10.Высший класс: Как живут и работают на вершине небоскребов в Петербурге. [Электронный ресурс] URL: <http://www.the>

- village.ru/village/people/experience/255259-skyscraper (дата обращения 28.04.2018)
11. Заболотников Г.В. Влияние облачности и видимости на деятельность авиации: метод. Пособие / Заболотников Г.В.; РГГМУ. – Санкт-Петербург, 2006. – 28 с.
 12. Ландсберг Г.Е. Климат города / Г.Е. Ландсберг. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 247 с.
 13. Лахта Центр – официальный сайт многофункционального комплекса в Санкт-Петербурге. [Электронный ресурс] URL: <https://lakhta.center/ru/about/forspb/> (дата обращения 15.04.2018)
 14. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии – Физика атмосферы. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. – 752 с.
 15. Мейсон Б.Дж. Физика облаков / Перевод с английского Г.Т.Никандровой, В.С. Протопопова. - Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 544 с.
 16. Методические указания по составлению климатической характеристики аэропортов (сокращенный вариант). – М.: НИИАК, 49 1968. – 156 с.
 17. Официальный сайт Администрации Санкт Петербурга. [Электронный ресурс] URL: <http://gov.spb.ru/> (дата обращения 16.01.2018)
 18. Шакина Н.П., Скриптунова Е.Н., Ветрова Е.И., Иванова А.Р., Желнин А.А. Повторяемость низкой облачности на европейской территории бывшего СССР по данным наблюдений на аэродромах // Труды Гидрометцентра России. – 2012. – Вып. 348
 19. Шишкин Н. С. Облака, осадки и грозовое электричество. Гостехиздат, М., –1954. –280 с.
 20. Экологическая обстановка в районах Санкт-Петербурга / Под редакцией Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб., 2003. – 115 с.
 21. Google карты. [Электронный ресурс] URL: <https://www.google.ru/maps/@59.8020389,30.2777984,5342m/data=!3m1!1e3> (дата обращения 18.01.2018)