



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 сдвига ветра на аэродроме Талаги  
(г. Архангельск)

Исполнитель Нестерова Ангелина Олеговна  
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат географических наук, доцент  
(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)

«24» мая 2022 г.

Санкт-Петербург  
2022

## Содержание

Термины и определения .....	3
Перечень сокращений и обозначений .....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. СДВИГ ВЕТРА. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	7
1.1. Предупреждение о сдвиге ветра по аэродрому .....	8
1.2. Синоптические и метеорологические признаки обнаружения сдвига ветра.....	9
1.3. Виды сдвигов ветра.....	11
2. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ СДВИГА ВЕТРА НА АЭРОДРОМЕ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСКА (ТАЛАГИ) .....	17
2.1. Географическое описание города Архангельска и аэродрома Талаги .....	17
2.2. Анализ бортовых и фактических данных по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска .....	18
3. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ПО ДАННЫМ ЗОНДИРОВАНИЯ АЭРОПОРТА ТАЛАГИ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСКА .....	38
3.1. Анализ состояния приземного слоя по инверсиям .....	38
3.2. Анализ состояния атмосферы по индексам неустойчивости.....	40
4. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ЗА ПЕРИОД С 2016 ПО МАРТ 2022 ГОДА .....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	56
Список использованной литературы.....	58
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	59

## Термины и определения

В работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

*Глиссада* – траектория снижения самолёта в вертикальной плоскости на конечном этапе захода на посадку

*Микровзрыв (микропрорыв)* – частный случай шквала, сильное кратковременное нисходящее движение воздуха, связанное с грозовой деятельностью

*Изолированные грозы* – грозы, когда одна из десяти наблюдательных станций указывает грозу

*Отдельные грозы* – грозы, когда грозу дает одна из четырех наблюдательских станций

*Инверсия* – повышение температуры с высотой в некотором слое атмосферы, является задерживающим слоем и одной из причин образования сдвигов ветра.

*Угол атаки крыла* – угол между направлением скорости невозмущённого потока и хордой крыла

*Фронт порывов* – передняя кромка холодного плотного воздуха из грозовых нисходящих потоков, достигающих земной поверхности и распространяющихся во всех направлениях, подрезая более тёплый и менее плотный окружающий воздух

*Эшелон* – условная высота, рассчитанная при стандартном давлении и отстоящая от других высот на величину установленных интервалов

## Перечень сокращений и обозначений

В работе применены следующие сокращения и обозначения:

АМСГ – авиационная метеорологическая станция гражданская

ВС – воздушное судно

ВПП – взлётно-посадочная полоса

УВД – управление воздушным движением

Increasing tailwind – усиление попутного ветра

Intended path – предполагаемый путь

Outflow – отток

WS – wind shear – сдвиг ветра

WS WRNG – предупреждение о сдвиге ветра

FL – flight level – эшелон полёта

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной работы состоит в том, что главной задачей метеорологического обслуживания авиации является обеспечение и повышение безопасности на протяжении всех этапов полётов, особенно наиболее уязвимых – взлёта и посадки. Сдвиг ветра – это одно из опасных природных явлений для воздушных судов, быстро возникающее и трудно определяемое. Отсутствие информации о резких усилениях или ослаблениях ветра до сих пор является одной из причин лётных происшествий. И, следовательно, изучение данного явления необходимо для улучшения прогнозирования.

Целью выпускной квалификационной работы является исследование случаев сдвига ветра на аэродроме Архангельск (Талаги).

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. создать базы данных с помощью бортовой и фактической (METAR) информации за период с 2016 г. по март 2022 г.;
2. проанализировать распределение случаев сдвига ветра по интенсивности, сезонам, эшелонам и в зависимости от времени суток;
3. произвести типизацию синоптических ситуаций при образовании сдвига ветра;
4. проанализировать данные зондирования атмосферы по инверсии и индексам неустойчивости.

Объектом исследования выпускной квалификационной работы является аэродром Талаги города Архангельска, предметом исследования – сдвиг ветра.

Структура работы. Во введении обоснована актуальность проводимых исследований, поставлена цель, сформулированы задачи.

В первом разделе рассмотрены общие положения сдвига ветра (определение, критерии интенсивности, пример предупреждения, синоптические и метеорологические признаки и виды сдвига ветра).

Во втором разделе представлено географическое описание местонахождения аэродрома Талаги и анализ бортовых и фактических данных по сдвигу ветра за период с 2016 по март 2022 гг.

В третьем разделе представлен анализ состояния приземного слоя по данным зондирования.

В четвёртом – общие выводы за период 2016-март 2022 гг.

В заключении сформулированы основные результаты работы, полученные при написании выпускной квалификационной работы.

В списке литературы содержится 10 источников, включающие учебно-научную литературу.

В приложение А помещена таблица по фактическим данным по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2017 год.

## 1. СДВИГ ВЕТРА. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сдвиг ветра (WS) – это резкое изменение направления и/или скорости ветра в пространстве в районе аэродрома, включая нисходящие и восходящие воздушные потоки [6]. Представляет собой невидимое и внезапно возникающее явление.

Определяется как разность векторов ветра, зависящая от расположения двух точек, находящихся в пространстве. Продолжительность воздействия сдвига ветра на воздушное судно зависит от его скорости прохождения через этот слой при взлёте либо посадке.

Рассматривают вертикальный сдвиг ветра и горизонтальный: горизонтальный сдвиг измеряется в метрах в секунду на 600 метров расстояния, вертикальный – в метрах в секунду на 30 метров расстояния. Период осреднения равен 2 минутам.

В таблице 1.1 приведены критерии интенсивности сдвига ветра.

Таблица 1.1 – Критерии интенсивности сдвига ветра

Интенсивность сдвига ветра	Влияние на управление ВС	Вертикальный сдвиг ветра, м/с на 30 м высоты; горизонтальный сдвиг ветра на 600 м
Слабый	Незначительное	0-2.0
Умеренный	Значимое	2.1-4.0
Сильный	Существенные трудности	4.1-6.0
Очень сильный	Опасное	>6

Представленные выше критерии были введены в 1967 г. в Монреале на пятой Аэронавигационной конференции. Данная классификация была создана на основании того, что опасность, которая относится к сдвигам ветра, связана с

фронтами, то есть фронтами порывов при грозах и профилями сильных ветров вблизи земли [3]. Позже стало понятно, что подобный подход достаточно прост, и критерии стоит считать условными по следующим причинам:

- сдвиг ветра одной и той же интенсивности по-разному влияет на различные типы ВС;
- воздействие на ВС зависит от скорости и длительности прохождения через зону сдвига ветра;
- сдвиг ветра больше всего опасен при грозах, поскольку одновременно меняются все три составляющие ветра;
- информация об интенсивности сдвига ветра в единицах «скорость/расстояние» не является полезной для пилотов, летящих под углом наклона глиссады  $3^\circ$ , так как они мыслят категориями воздушной скорости. То есть изменение скорости – это либо ускорение, либо торможение в узлах (метрах) в секунду. Однако по руководству ИКАО величину сдвига ветра можно перевести из узлов/100 футов или м/с/30 м в узлы/сек или м/с/сек, тем самым выражая интенсивность в единицах ускорения – изменение скорости по времени, что будет удобно для пилотов [7].

### 1.1. Предупреждение о сдвиге ветра по аэродрому

Предупреждение о сдвиге ветра может основываться на использовании метеорологического оборудования (например, с помощью анемометров); с донесения с бортов воздушных судов, получаемых через органы ОВД; прогнозов явлений и синоптических ситуаций, способных вызывать данное явление.

Предупреждение представляет собой краткую информацию об ожидании или наличии сдвига ветра, который может оказать неблагоприятное воздействие на ВС [1].

На рисунке 1.1 представлен пример предупреждения о сдвиге ветра.

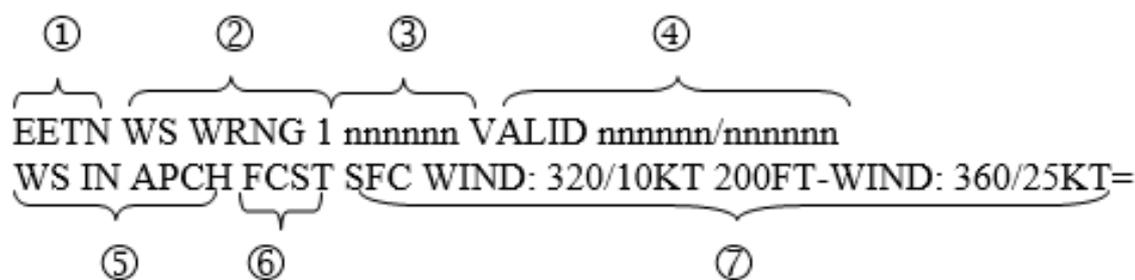


Рисунок 1.1 – пример предупреждения о сдвиге ветра

- 1 – указатель местоположения аэродрома;
- 2 – тип и порядковый номер предупреждения;
- 3 – время составления (дата и время UTC);
- 4 – период действия (дата и время UTC)/VALID TL nnnnn
- 5 – явление и его местоположение;
- 6 – указание о том, наблюдается явление [REP AT], ожидается [OBS] или прогнозируется [FCST];
- 7 – описание явления.

Предупреждение аннулируется в тех случаях, когда отмечается отсутствие сдвига ветра с бортов ВС или по истечению согласованного периода времени, когда сообщений о явлении не поступает.

## 1.2. Синоптические и метеорологические признаки обнаружения сдвига ветра

Сдвиг ветра может возникать при погоде характерной для периферии антициклонов или циклонов в ночные или утренние часы, так как появляются условия для ночной приземной инверсии температуры.

При приближающемся к аэродрому атмосферном фронте или барической ложбины, за ночь происходит увеличение горизонтального барического градиента, преимущественно при адвекции тепла на верхней границе пограничного слоя атмосферы. В возникших условиях во второй половине ночи могут сформироваться резкие вертикальные профили ветра в инверсионном слое; наиболее

сильные вертикальные сдвиги ветра в большинстве случаев наблюдаются выше 50-60 метров от земной поверхности – в верхнем слое инверсии. Если вечером произойдёт усиление ветра, то усилится турбулентность, инверсия температуры не возникнет, следовательно, резких вертикальных сдвигов наблюдаться не будет.

При схожести метеорологических условий сдвиг ветра будет несколько больше в условиях пересечённой местности, чем над равниной. Влияние рельефа возрастает при увеличении скорости ветра. Когда воздушный поток с большой скоростью обтекает препятствия, на наветренной стороне зарождаются восходящие потоки, увеличивается турбулентность и вертикальные и горизонтальные сдвиги ветра. Достигнув вершины обтекаемого препятствия, скорость и сдвиги ветра усиливаются. На подветренной стороне воздушный поток деформируется: здесь наблюдаются наибольшие сдвиг и турбулентность [6].

Размеры возмущённой зоны в горизонтальном направлении во много раз могут превышать протяжённость самого препятствия. В данной зоне иногда возникают «роторные» вихри, опасные для ВС, имеющие горизонтальную ось радиусом в 100 метров и более, в которых часто встречаются наиболее сильные вертикальные потоки и отдельные порывы.

#### *Метеорологические признаки распознавания сдвига ветра*

Для приближённой оценки сдвига ветра на аэродромах пользуются визуальными наблюдениями, данными шаропилотных наблюдений; анемометров, установленных на мачтах или на крышах зданий вблизи аэродрома; наземных метеорологических радиолокаторов и метеорологических спутников (снимки) [8]. В международной практике используют систему оповещения о сдвиге ветра на малых высотах (LLWAS), систему звукометрического обнаружения и измерения дальности (СОДАР) – используются звуковые волны для обнаружения температурных инверсий на малых высотах, и доплеровскую РЛС [7].

Экипаж ВС обязан знать метеорологические признаки наличия обсуждаемого явления на аэродроме, чтобы избежать попадания в данную зону путём задержки захода на посадку или взлёт или уходом на второй круг до момента, пока действие этих признаков не прекратится.

*Признаками наличия сдвига ветра являются:*

1. сильный порывистый приземный ветер: часто наблюдается при расположении аэродрома около высоких построек или холмов;
2. реакция ветровых конусов на различное направление ветра;
3. грозы: следует считать, что сдвиг ветра всегда возможен;
4. движения дымовых факелов в разные направления от антропогенных источников;
5. «вирга»: осадки, выпадающие из основания облаков, но при этом не достигающих земли по причине испарения. Несмотря на то, что осадки могут не достигать земли, нисходящие потоки доходят до земной поверхности;
6. чечевицеобразное облако: наличие стоячих волн на наветренной стороне горы;
7. шкваловый ворот, движущееся впереди пояса дождя и указывающее на наличие фронта порывов.

### 1.3. Виды сдвигов ветра

*Сдвиг вертикальных составляющих ветра*

Сдвиг ветра будет наиболее опасен в силу быстрых изменений его вертикальных составляющих. Главная причина – это нисходящие потоки или так называемые микропорывы. При нисходящем порыве мощные нисходящие потоки проникают сквозь нижнюю границу облачности, достигают земной поверхности и распространяются в радиальных направлениях.

На рисунке 1.2 представлено воздействие микропорыва на ВС.

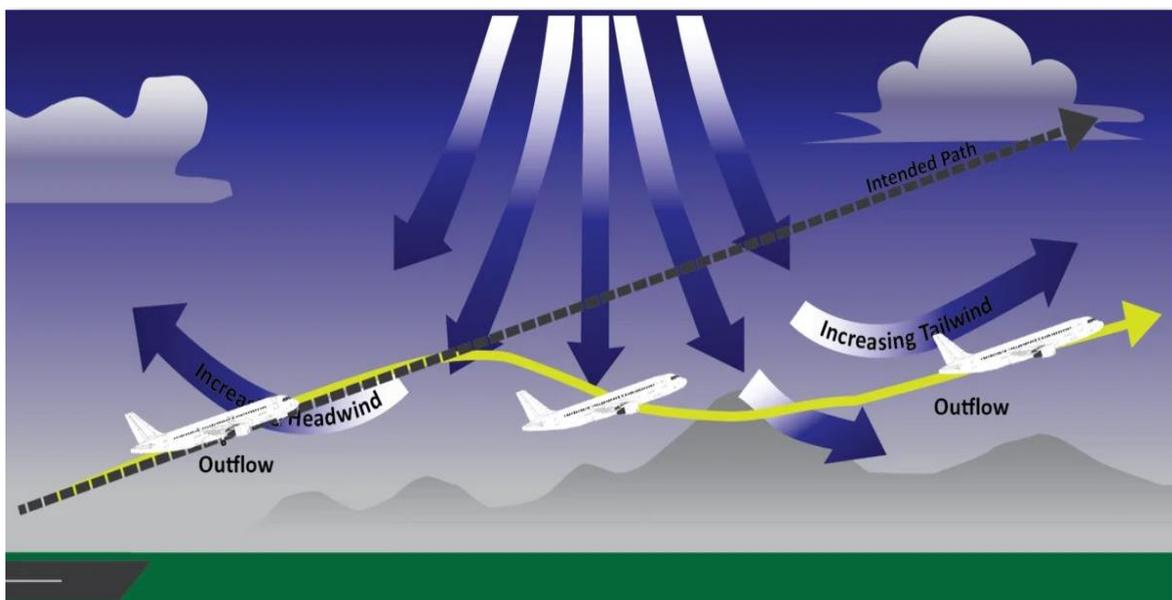


Рисунок 1.2 – Воздействие микропорыва на воздушное судно

Нисходящие потоки и их влияние на ВС зависят от структуры самолёта, интенсивности микропорыва и местоположения, где нисходящий поток расположен относительно полёта.

При нисходящих порывах ВС сталкивается с воздействием встречного ветра.

*Сдвиг встречного или попутного (горизонтального) ветра по отношению к направлению ВПП*

Сдвиги ветра встречного направления могут возникать вблизи земной поверхности при посадке или взлёте при градиентах, типичных для сильного ветра (при струйных течениях на малых высотах), при полётах недалеко от грозовой деятельности или же при полётах через атмосферные фронты.

*Различают четыре типа воздействия встречного или попутного ветра на ВС с учётом невмешательства пилота:*

1. Посадка самолёта при ослабевающем встречном ветре и усиливающемся попутном: по инерции ВС сохраняет свою путевую скорость, воздушная скорость уменьшается, вследствие этого, уменьшается подъёмная сила. В связи с этим фактическая траектория движения проходит ниже глиссады – ВС «проваливается» и в итоге посадка может быть завершена недолётом до ВПП.

На рисунке 1.3 представлена схема посадки самолёта при ослабевающем встречном ветре и усиливающемся попутном.



Рисунок 1.3 – Посадка самолёта при ослабевающем встречном ветре и усиливающимся попутном

2. Посадка при усиливающемся встречном ветре и уменьшающемся попутном: увеличиваются воздушная скорость и подъёмная сила, самолёт «подбрасывает», в итоге происходит перелёт рассчитанной точки касания ВПП и дальнейшим выкатыванием ВС за пределы дальнего конца ВПП.

На рисунке 1.4 представлена схема посадки самолёта при усиливающемся встречном ветре и уменьшающемся попутном.



Рисунок 1.4 – Посадка самолёта при усиливающемся встречном ветре

3. Взлёт при ослабевающем встречном ветре: происходит уменьшение подъёмной силы, «проваливание» ВС, что может привести к выходу за нижний предел безопасного набора высоты.

На рисунке 1.5 представлена схема взлёта при ослабевающем встречном ветре.



Рисунок 1.5 – Взлет самолёта при ослабевающем встречном ветре

4. Взлёт при усиливающемся встречном ветре: увеличение подъёмной силы с высотой, «подбрасывание» ВС, траектория полёта оказывается выше расчётной, самолёт будет лететь выше номинальной траектории начального набора высоты. По этой причине самолёт может попасть на закритические углы атаки, что приведёт к срыву потока, сваливанию самолёта на крыло и дальнейшего столкновения с землёй.

На рисунке 1.6 представлена схема взлёта при усиливающейся составляющей встречного ветра.



Рисунок 1.6 – Взлёт самолёта при усиливающемся встречном ветре

### *Влияние бокового сдвига ветра*

Так как самолёт взлетает и приземляется против ветра, ВПП выбираются с соответствующим направлением (курс взлёта или посадки). В таких случаях встречная или попутная составляющая ветра преобладает над боковой. Сдвиг составляющих бокового ветра влияет на углы скольжения и сноса, заставляя судно крениться, испытывать боковой снос от заданной траектории. Не оказывает существенного влияния на скорость, угол атаки и, как следствие, не изменяет состояние равновесия сил, которые действуют на ВС по вертикали [3].

### Сдвиг ветра в области фронта порывов

Исходя из определения, фронт порывов напоминает пологий холодный фронт, но отличается от него наиболее сильными характеристиками – сдвигом ветра, турбулентностью и скоростью ветра.

На рисунке 1.7 представлен разрез фронта порывов.

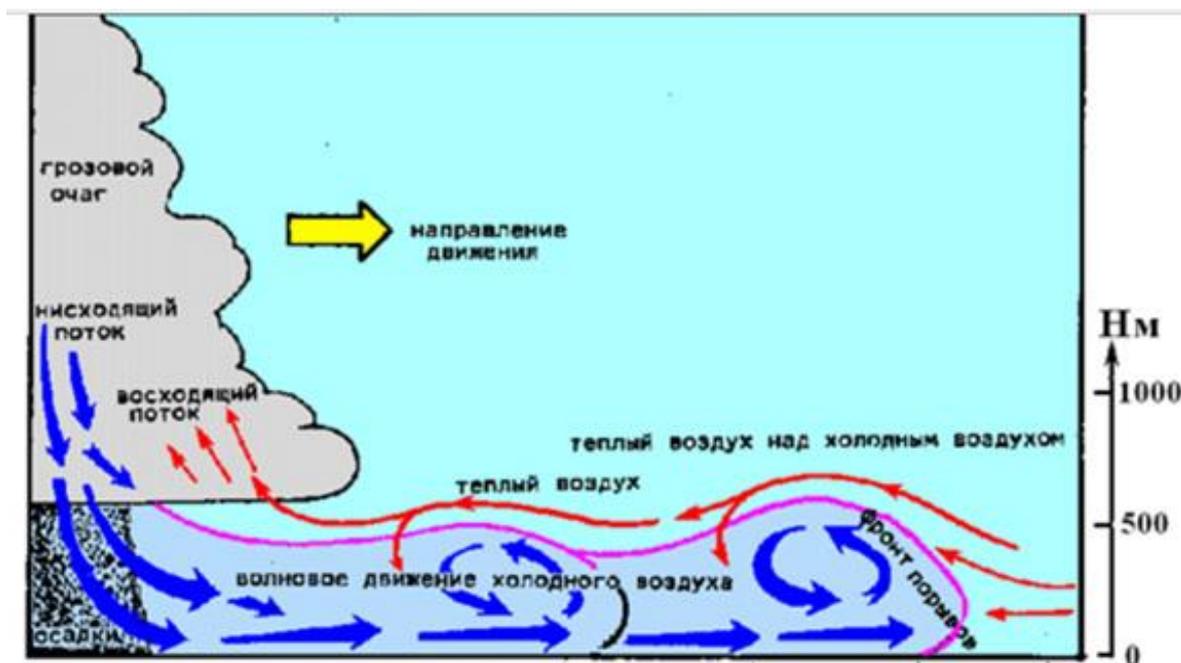


Рисунок 1.7 – Разрез фронта порывов

Изначально движение фронта одинаково во всех направлениях вдоль поверхности земли, но так как движется сам грозовой очаг, то фронт порывов опережает его в том же направлении. Данный процесс может усилиться, если холодный нисходящий поток будет достигать земли под углом, а не в прямом направлении, и в результате холодное течение будет двигаться в определённом направлении. После прохождения передней части фронта наблюдаются сдвиги ветра в горизонтальном направлении на уровне земли.

Фронт может опережать грозовой очаг на 20 километров вперёд, скорость порывов после прохождения фронта – до 100 км/ч и более, направление изменения приземного ветра до  $180^\circ$  [3].

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ОБРАЗОВАНИЯ СДВИГА ВЕТРА НА АЭРОДРОМЕ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСКА (ТАЛАГИ)

### 2.1. Географическое описание города Архангельска и аэродрома Талаги

Для исследования сдвига ветра были использованы бортовые и фактические данные аэропорта Архангельск (Талаги) имени Ф. А. Абрамова. Город и сам аэропорт располагаются в устье реки Северной Двины на расстоянии 30-35 километров от её впадения в Двинской залив Белого моря. На западе в пяти километрах от аэродрома находится река Кузнечиха, на юго-западе в двух километрах от аэродрома – р. Юрас. Территория представляет собой обширную равнину, местами заболоченную и с небольшим уклоном к Белому и Баренцеву морям.

На рисунке 2.1 представлена карта Архангельской области. Аэропорт Талаги обозначен указателем.

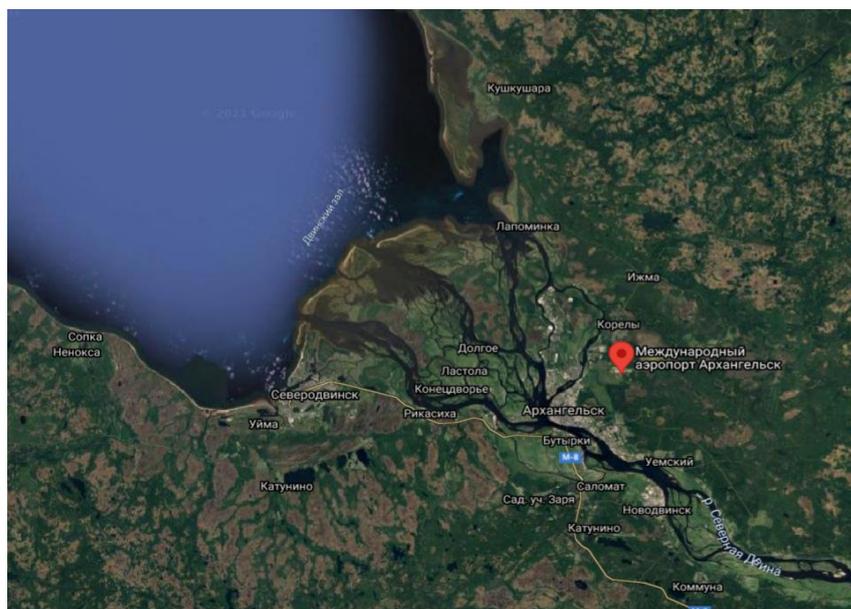


Рисунок 2.1 – Местоположение аэропорта на материковой карте Архангельской области

ВПП ориентирована с запада на восток. С севера к ВПП примыкает лес высотой 10-15 м, на северо-востоке и востоке расположены болота.

В районе аэродрома имеются искусственные препятствия:

- здание аэровокзала, здание КДП, жилые дома – высота около 20-30 м;

– водонапорная башня – высота 32 м.

Географическое распределение направлений ветра и его скоростей определяется сезонным режимом барических центров, стационарирующих над Северной Атлантикой и Евразией, и орографических условий. В холодное время года ветровой режим формируется под влиянием Исландского минимума, который в тёплое время года заполняется и его деятельность ослабевает.

В районе аэродрома наиболее неблагоприятными направлениями ветра, перпендикулярными к взлётно-посадочной полосе, являются северные и южные. Усиление этих ветров до скорости более 10 м/с затрудняет взлет и посадку самолетов.

## 2.2. Анализ бортовых и фактических данных по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска

По общим бортовым и фактическим данным были выбраны случаи сдвига ветра за период 2016-март 2022 г. (табл. 2.1-2.7).

Бортовые данные за 2016 г. представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Бортовые данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2016 год

Дата	Время наблюдения (UTC)	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Номер борта	Эшелон, слой
10.05.2016	6.19	+	-	MOD	-	6307	750 M (FL020-FL030)
31.07.2016	12.33	+	-	SEV	-	46651	0-600 M (FL000-FL020)
27.08.2016	11.52	+	-	FBL	-	N164	FL030 (900 M)
09.09.2016	13.02	+	-	MOD	-	AUL308	SFC/FL005
17.12.2016	13.32	+	-	MOD	-	46692	

Из 5 выявленных случаев сдвига ветра: по одному случаю приходилось на слабую интенсивность (27 августа) и сильную (31 июля), три случая – на умеренную (10 мая, 9 сентября и 17 декабря). Чаще случаи сдвига ветра приходились на дневное время, два случая (10 мая и 27 августа) – утренние.

10 мая сдвиг ветра умеренной интенсивности наблюдался в 6.19 UTC на высоте 750 м [FL020-FL030].

31 июля сильный сдвиг ветра наблюдался в 12.33 UTC между земной поверхностью и 600 м [FL020].

27 августа слабый сдвиг ветра наблюдался в 11.52 UTC на FL030 [900 м].

9 сентября умеренный сдвиг ветра наблюдался в 13.02 UTC между земной поверхностью и эшелонном 005.

17 декабря наблюдался умеренный сдвиг ветра. Эшелон, на котором был зафиксирован случай, не указывался.

За 2017 год анализ производился только по полученным фактическим данным. Таблица А1 представлена в ПРИЛОЖЕНИИ А.

За 2017 год из 14 выявленных случаев сдвига ветра: 4 приходилось на слабую интенсивность (7 и 8 января, 29 марта и 28 мая), на умеренную – 11 и на сильную – 1 случай (7 января). Чаще случаи сдвига приходились на утреннее и дневное время, по 4 случая было зафиксировано в ночное время (8 января, 27 августа, 2 сентября и 8 ноября) и 2 случая - в вечернее время (7 января и 7 ноября).

7-го января было зафиксировано 3 случая сдвига ветра с различной интенсивностью – слабой, умеренной и сильной. Умеренный сдвиг ветра наблюдался с 14:48 до 15:00 [12 минут], слабый – с 16:44 до 17:00 [16 минут] и сильный с 17:48 до 18:00 [12 минут]. При умеренном и слабом сдвиге наблюдалась высокослоистая и слоисто-кучевая облачность, из осадков – снег; при сильном сдвиге – высокослоистая, высококучевая и слоисто-кучевая облачность, осадков не регистрировалось.

С 7-го на 8-ое января был зарегистрирован слабый сдвиг ветра, продолжительность которого составила с 23:44 до 00:00 [16 минут]. Была зафиксирована слоисто-дождевая облачность, из явлений – слабое обледенение в облаках.

29-го марта с 8:18 до 8:30 [12 минут] – слабый сдвиг, сопутствующая облачность – кучево-дождевая.

26-го апреля с 11:07 до 11:30 [23 минуты], затем с 14:41 до 15:00 [19 минут] наблюдался умеренный сдвиг ветра. С 11:07 до 11:30 в слое от 50 до 150 м, сопутствующая облачность – высокостроистая, высококучевая и кучевая. С 14:41 до 15:00 – в слое от 50 до 200 м, сопутствующая облачность – высокостроистая и слоисто-кучевая, явление – умеренное обледенение в облаках.

28-го апреля наблюдался умеренный сдвиг ветра с 10:58 до 11:15 [18 минут] в слое от 360 до 1200 м. Сопутствующая облачность – высокостроистая, кучево-дождевая, явление – слабое обледенение в облаках.

28-го мая – слабый сдвиг ветра с 6:56 до 7:02 [6 минут], сопутствующая облачность – слоисто-кучевая.

31-го мая – умеренный сдвиг ветра с 12:52 до 13:15 [23 минуты] в слое от земной поверхности до 150 м, сопутствующая облачность – высокостроистая, высококучевая и слоисто-кучевая.

13-го июля умеренный сдвиг ветра наблюдался в 8:30, отмечалась перистая, высококучевая и кучевая облачность, из сопутствующих явлений – умеренная турбулентность.

27-го августа с 3:56 до 4:28 [32 минут] – умеренный сдвиг ветра в слое от 150 до 300 м. Сопутствующая облачность – разорванно дождевая, кучево-дождевая, явления – ливневой дождь и дымка.

30-го августа наблюдался умеренный сдвиг ветра с 16:22 до 16:30 [8 минут], затем с 16:54 до 17:06 [12 минут] в слое от земной поверхности до 300 м. В первом случае наблюдалась высококучевая и слоисто-кучевая облачность, во втором – слоисто-кучевая и кучево-дождевая.

2-го сентября наблюдался умеренный сдвиг ветра с 0:12 до 0:30 [18 минут], с 2:17 до 2:43 [31 минута], с 4:43 до 5:00 [17 минут] и с 8:52 до 9:00 [8 минут]. В

первом случае сдвиг был в слое от земной поверхности до 170 м, сопутствующая облачность – высокостроистая, высококучевая, слоисто-кучевая и кучево-дождевая; во втором – в слое от земной поверхности до 300 м, сопутствующая облачность – слоисто-кучевая, разорванно дождевая и кучево-дождевая; в третьем – в слое от земной поверхности до 10 м (на взлёте), сопутствующая облачность – слоисто-кучевая, кучево-дождевая и разорванно дождевая; в четвёртом – в слое от земной поверхности до 70 м, сопутствующая облачность – слоисто-кучевая и кучево-дождевая.

29-го сентября – умеренный сдвиг ветра с 8:57 до 9:00 [3 минуты], сопутствующая облачность – слоисто-кучевая и кучево-дождевая.

С 7-го на 8-ое ноября наблюдался умеренный сдвиг ветра в слое от земной поверхности до 600 м: с 23:58 до 0:17 [19 минут] и с 0:47 до 1:15 [28 минут]. Сопутствующая облачность – кучево-дождевая.

Данные за 2018 г. представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Бортовые и фактические данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2018 год

Дата	Время наблюдения (UTC)	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Номер борта	Эшелон, слой
06.01.2018	16:21:39	-	+	MOD	Frnb, CB, SHSN		
	16:30:00	-	+	MOD	Frnb, CB, SHSN		
	16:39:00	-	+	MOD	Frnb, CB, SHSN		
05.02.2018	08.32	+	-	MOD	-	ULAA	FL00/005
	8:37:34	-	+	MOD	Ac		0-500 М (FL010-FL020)
	9:00:00	-	+	MOD	Ac		

Продолжение таблицы 2.2

29.03.2018	09.36	+	-	MOD	-	AFL119	SFC/FL020 (600 M)
	10.29	+	-	FBL	-	AH-26	SFC/FL013
	9:33:00	-	+	MOD	Ac, CB, SHSN		
	10:00:00	-	+	MOD	Ac, CB, SHSN		
	10:32:00	-	+	FBL	Frnb, CB		
	11:00:00	-	+	FBL	As, CB, SHSN		
30.03.2018	3:57:00	-	+	FBL	Ac, Sc		
13.08.2018	16.05	-	+	MOD	-	46520	100-150 м
	13:07:39	-	+	MOD	As, Ac, CB, TSRA		
	13:15:00	-	+	MOD	As, Ac, CB, TSRA		
	13:30:00	-	+	MOD	As, Ac, CB		
22.08.2018	12:43:00	-	+	MOD	CB		
	12:45:00	-	+	MOD	CB		
	13:00:00	-	+	MOD	CB		
08.10.2018	18:37:00	-	+	MOD	-		300-600 м
	18:45:00	-	+	MOD	-		
	19:00:00	-	+	MOD	-		
22.10.2018	13.14	+	-	MOD	-	AUL308	SFC/FL020 (600 M)
	13:12:00	-	+	MOD	Frnb, Sc, CB, SHRA		
	13:15:00	-	+	MOD	Frnb, Sc, CB, SHRA		
	13:30:00	-	+	MOD	Frnb, Sc, CB, SHRA		

За 2018 год из 8 выявленных случаев сдвига ветра: 2 приходилось на слабую интенсивность (29 и 30 марта), на умеренную – 7 (6 января, 5 февраля, 29 марта, 13 и 22 августа, 9 и 22 октября), сильная отсутствовала. Чаще случаи сдвига ветра наблюдались в утреннее и дневное время, один случай (8 октября) – вечернее, а также был зафиксирован ночной сдвиг (30 марта).

6-го января по фактическим данным умеренный сдвиг фиксировался с 16:21 до 16:39 [18 минут], сопутствующая облачность – разорванные дождевые и кучево-дождевые облака, явления – дождь со снегом.

5-го февраля по бортовым данным сдвиг ветра наблюдался между двумя эшелонами (FL000/FL005) в 8:32, по фактическим данным – с 8:37 до 9:00 [23 минуты] в слое 0-500 м (FL010-FL020). Явления – высококучевая облачность.

29-го марта: по бортовым данным умеренный сдвиг ветра наблюдался в 9:36 от земной поверхности до эшелона 020 (600 метров) и по фактическим – с 9:33 до 10:00 [27 минут]. На аэродроме наблюдались следующие явления погоды: высококучевая, кучево-дождевая облачность и разорванные дождевые облака, осадки – дождь со снегом. В 10:29 от земной поверхности до эшелона 013 (390 м) сдвиг ветра был слабым, такой же по интенсивности сдвиг фиксировался на аэродроме с 10:32 и 11:00 [28 минут].

30-го марта на аэродроме в 3:57 сдвиг наблюдался слабый, облачность – высококучевая и слоисто-кучевая.

13-го августа наблюдался умеренный сдвиг ветра. По фактическим данным: продолжительность с 13:07 до 13:30 [23 минуты], явление сопровождалось высококучевыми, высокослоистыми, кучево-дождевыми облаками и грозой с дождём (в 13:30 отсутствовал). По бортовым данным явление наблюдалось в 16:05 в слое 100-150 м.

22-го августа также отмечался умеренный сдвиг продолжительностью с 12:43 до 13:00 [17 минут], фиксировалась кучево-дождевая облачность.

8-го октября продолжительность сдвига ветра с умеренной интенсивностью на аэродроме была с 18:37 до 19:00 [23 минуты] в слое 300-600 м (FL030/FL020).

22-го октября на борту явление отмечалось в 13:14, на аэродроме с 13:12 до 13:30 [18 минут]; облачность – разорванные дождевые, слоисто-кучевые и кучево-дождевые облака, осадки – дождь со снегом.

Данные за 2019 г. представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Бортовые и фактические данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2019 год

Дата	Время наблюдения (UTC)	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Номер борта	Эшелон, слой
14.02.2019	23.00	+	-	FBL	-	A1332	FL010
	23:00:00	-	+	FBL	-		
	23:15:50	-	+	FBL	-		
	23:30:00	-	+	FBL	-		
23.03.2019	17.03	+	-	MOD	TURB	A1336	
	17:03:00	-	+	MOD	Frnb, CB, MOD TURB		300-1000
	17:15:00	-	+	MOD	Frnb, CB, MOD TURB		300-1000
	17:30:00	-	+	MOD	Frnb, CB, MOD TURB		300-1000
03.05.2019	14.40	+	-	MOD	-	1772	SFC/FL010
	14:41:19	-	+	MOD	Ac, Sc, CB		0-30 м
	14:45:00	-	+	MOD	Ac, Sc, CB		
	15:00:00	-	+	MOD	Ac, Sc, CB		
05.05.2019	06.40	+	-	FBL	-	A1338	FL003
	6:40:00	-	+	FBL	As, Ac, Sc		
	7:00:39	-	+	FBL	Sc, CB		
01.06.2019	08.10	+	-	MOD	-	AFL1332	SFC/FL020
	7:09:44	-	+	MOD	Cu		
	7:30:00	-	+	MOD	Cu		
03.08.2019	23:00:00	-	+	MOD	Sc, CB, FBL ICE INC		
	23:30:00	-	+	MOD	Sc, CB, FBL ICE INC		
15.09.2019	4:35:00	-	+	MOD	CB		
	4:46:00	-	+	MOD	Frnb, CB		
	4:48:23	-	+	MOD	CB		
	5:00:00	-	+	MOD	CB		

За 2019 год из 7 выявленных случаев сдвига ветра: 2 приходилось на слабую интенсивность (14 февраля, 5 мая), на умеренную – 5 (23 марта, 3 мая, 1 июня, 3 августа и 15 сентября), сильная отсутствовала. Чаще сдвиги приходились

на утреннее и дневное время, два дня (14 февраля и 3 августа) – на вечернее и один – ночное (15 сентября).

14-го февраля по бортовым данным отмечался сдвиг ветра слабой интенсивности в 23:00 на эшелоне 010 (300 м), также с 23:00 до 23:30 [30 минут] явление наблюдалось на аэродроме.

23-го марта по бортовым данным сдвиг слабой интенсивности отмечен в 17:03, сопутствующее явление – турбулентность; по фактическим данным в слое от 300 до 1000 м с 17:03 до 17:30 [27 минут], сопутствующая облачность – кучево-дождевая и разорванная дождевая, явление – умеренная турбулентность.

3-го мая в 14:40 по бортовым данным зафиксирован умеренный сдвиг от земной поверхности до эшелона 010 (300 метров). По фактическим с той же интенсивностью сдвиг наблюдался на аэродроме с 14:41 до 15:00 [19 минут] в слое от 0 до 30 м, облачность высококучевая, слоисто-кучевая и кучево-дождевая.

5-го мая в 6:40 на борту самолёта на эшелоне 030 (900 метров) и на аэродроме с 6:40 до 7:00 [20 минут] был зарегистрирован слабый сдвиг ветра. В 6:40 облачность наблюдалась высококучевая, высокослоистая и слоисто-кучевая, в 7:00 – слоисто-кучевая и кучево-дождевая.

1-го июня в 8:10 умеренный сдвиг наблюдался от земной поверхности до эшелона 020 (600 м), с 7:09 до 7:30 [21 минуту] – умеренный сдвиг ветра на аэродроме с сопутствующей кучевообразной облачностью.

3-го августа – умеренный сдвиг на аэродроме с 23:00 до 23:30 [30 минут], сопутствующие облака – слоисто-кучевые и кучево-дождевые, также наблюдалось слабое обледенение в облаках.

15-го сентября с 4:35 до 5:00 [25 минут] – умеренный сдвиг, в течение этого времени отмечались кучево-дождевая облачность, в 4:46 наблюдались разорванные дождевые облака.

Данные за 2020 г. представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Бортовые и фактические данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2020 год

Дата	Время наблюдения (UTC)	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Номер борта	Эшелон, слой
22.02.2020	08.39	+	-	FBL	-	ARH119	SFC/FL020
23.04.2020	12.52	+	-	FBL	-	9642	FL006-001
	12:49:00	-	+	FBL	Sc, CB		0-200
	12:52:00	-	+	FBL	Sc, CB		
	13:00:00	-	+	FBL	Sc, CB		
14.05.2020	07.46	+	-	MOD	MOD TURB	R1332	FL030
	7:47:20	-	+	MOD	MOD TURB, CB		
	7:58:00	-	+	MOD	MOD TURB, CB		
	8:00:00	-	+	MOD	Ac, Sc, CB		
16.08.2020	12.55	+	-	MOD	MOD TURB	AUL308	SFC/FL020
	12:52:29	-	+	MOD	MOD TURB, Sc		
	13:00:00	-	+	MOD	MOD TURB, Sc		
	13:08:00	-	+	MOD	MOD TURB, Sc		
	13:12:00	-	+	MOD	MOD TURB, Sc		
22.09.2020	18.30	+	-	MOD	-	AUL146	SFC/FL002
	18:33:34	-	+	MOD	MOD ICE INC, Ac, Sc, CB		
	18:38:00	-	+	MOD	MOD ICE INC, Ac, Sc, CB		
	18:45:00	-	+	MOD	MOD ICE INC, Ac, Sc, CB		
	18:56:00	-	+	MOD	MOD ICE INC, Ac, Sc, CB		
	19:00:00	-	+	MOD	MOD ICE INC, Ac, Sc, CB		

Продолжение таблицы 2.4.

07.11.2020	18:23:00	-	+	MOD	Sc, CB, Frnb		
	18:30:00	-	+	MOD	Sc, CB, Frnb		
	18:53:04	-	+	MOD	Sc, CB, Frnb		
10.11.2020	09.00	+	-	FBL	MOD TURB	AFL1332	
	9:00:13	-	+	FBL	MOD TURB, Ac, Sc		0-400
	9:15:00	-	+	FBL	MOD TURB, Ac, Sc		0-401
	9:30:00	-	+	FBL	MOD TURB, Sc		0-402

За 2020 год из 7 выявленных случаев сдвига ветра: 3 приходилось на слабую интенсивность (22 февраля, 23 апреля и 10 ноября), на умеренную – 4 (14 мая, 16 августа, 22 сентября и 7 ноября), сильная отсутствовала. Утренние сдвиги ветра были зафиксированы 3 раза (22 февраля, 14 мая и 10 ноября), дневные (23 апреля и 16 августа) и вечерние (22 сентября и 7 ноября) – 2 раза.

22-го февраля на борту самолёта в 8:39 был зафиксирован слабый сдвиг ветра от земной поверхности до эшелона 020 (600 м).

23-го апреля в 12:52 по бортовым данным был слабый сдвиг между двумя эшелонами FL001/FL006 (30 м/180 м). По аэродрому явление наблюдалось с 12:49 до 13:00 [11 минут] между 0-200 метров с облаками слоисто-кучевой и кучево-дождевой формы.

14-го мая наблюдался умеренный сдвиг ветра в 7:46 на эшелоне 030 (900 метров) с сопутствующим явлением – умеренная турбулентность; на аэродроме с 7:47 до 8:00 [13 минут], в 7:47 и 7:58 – умеренная турбулентность, кучево-дождевая облачность, в 8:00 – высококучевые, слоисто-кучевые и кучево-дождевые облака.

16-го августа в 12:55 между земной поверхностью и эшелонем 020 (600 метров) зафиксирован умеренный сдвиг ветра, сопутствующее явление – умеренная турбулентность. По аэродрому явление наблюдалось с 12:52 до 13:12 [20 минут], отмечалась слоисто-кучевая облачность и умеренная турбулентность.

22-го сентября в 18:30 от земной поверхности до эшелона 002 (60 метров) был зарегистрирован умеренный сдвиг ветра. На аэродроме наблюдался с 18:33 до 19:00 [27 минут]. Сопутствующее явление – умеренное обледенение в облаках, облачность – высококучевая, слоисто-кучевая и кучево-дождевая.

7-го ноября по фактическим данным наблюдался умеренный сдвиг с 18:23 до 18:53 [30 минут] с сопутствующими слоисто-кучевыми, кучево-дождевыми и разорванными дождевыми облаками.

10-го ноября в 9:00 по бортовым данным был слабый сдвиг с сопутствующей умеренной турбулентностью. По аэродрому слабый сдвиг ветра наблюдался с 9:00 до 9:30 [30 минут], сопутствовали – умеренная турбулентность, высококучевая и слоисто-кучевая облачность.

Данные за 2021 г. представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Бортовые и фактические данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2021 года

Дата	Время наблюдения (UTC)	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Номер борта	Эшелон, слой
24.02.2021	19:22:00	-	+	MOD	Sc, CB		0-150
	19:28:00	-	+	MOD	Sc, CB		
	19:30:00	-	+	MOD	Sc, CB		
02.03.2021	18:33:36	-	+	MOD	Sc		
	19:00:00	-	+	MOD	Sc		
10.04.2021	8:36:00	-	+	SEV	Sc, CB		
	8:45:00	-	+	SEV	Sc, CB		
	8:57:00	-	+	SEV	Sc, CB		
	9:00:00	-	+	SEV	Sc, CB		

За 2021 года из 3 выявленных случаев сдвига ветра: ноль приходилось на слабую интенсивность, на умеренную – два (24 февраля, 2 марта) и на сильную – один случай (10 апреля). Утренний сдвиг ветра был зафиксирован 1 раз (10 апреля), вечерние – 2 раза (24 февраля и 2 марта), дневные не наблюдались.

24-го февраля по фактическим данным был умеренный сдвиг ветра, продолжавшийся с 19:22 до 19:30 [8 минут] в слое от земной поверхности до 150 метров. Облачность – слоисто-кучевая и кучево-дождевая.

2-го марта с 18:33 до 19:00 [27 минут] – умеренный сдвиг, сопутствующая облачность – слоисто-кучевая.

10-го апреля – сильный сдвиг ветра с 8:36 до 9:00 [24 минуты] с сопутствующей слоисто-кучевой и кучево-дождевой облачностью.

Данные за январь-март 2022 г. представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Бортовые и фактические данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2022 года

Дата	Время наблюдения (UTC)	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Эшелон, слой
24.02.2022	14:45:54	-	+	FBL	As, Sc	
	15:00:00	-	+	FBL	As, Sc	
16.03.2022	6:27:47	-	+	FBL	Ci	
	6:30:00	-	+	FBL	Ci	12-250 М
	6:45:00	-	+	FBL	Ci	
26.03.2022	13:03:00	-	+	MOD	Frnb, CB	
	13:15:17	-	+	MOD	Frnb, CB	
	13:30:00	-	+	MOD	Frnb, CB	
	13:38:00	-	+	MOD	Frnb, CB	
	13:41:00	-	+	MOD	Frnb, CB	
	14:02:00	-	+	MOD	Frnb, CB	
	14:06:00	-	+	MOD	Frnb, CB	
	14:10:00	-	+	MOD	Frnb, CB	
	14:26:00	-	+	MOD	Frnb, CB	
	15:01:00	-	+	MOD	Frnb, CB	

За 2022 года из 3 выявленных случаев сдвига ветра: два приходилось на слабую интенсивность (24 февраля и 16 марта), на умеренную – один (26 марта), сильная отсутствовала. Утренний сдвиг ветра был зафиксирован 1 раз (16 марта), дневные – 2 раза (24 февраля и 26 марта), вечерние не наблюдались.

24-го февраля с 14:46 до 15:00 [14 минут] был зафиксирован слабый сдвиг ветра, сопутствующая облачность – высокостроистая и слоисто-кучевая.

16-го марта – сдвиг слабой интенсивности с 6:28 до 6:45 [17 минут], сопутствующая облачность – перистая.

26-го марта – сдвиг умеренной интенсивности с 13:03 до 13:41 [38 минут], затем с 14:02 до 15:01 [59 минут]; сопутствующая облачность – кучево-дождевая и разорванно дождевая.

В таблице 2.7 и на рисунке 2.2 представлены данные по количеству различной интенсивности сдвига ветра и их повторяемость за период с 2016 по март 2022 г.

Таблица 2.7 – Количество случаев сдвига ветра по интенсивности

Интенсивность сдвига ветра	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Общее количество	Повторяемость, %
<i>Слабая</i>	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>0</i>	<i>2</i>	<i>14</i>	<i>28%</i>
<i>Умеренная</i>	<i>3</i>	<i>11</i>	<i>7</i>	<i>5</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>33</i>	<i>66%</i>
<i>Сильная</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>3</i>	<i>6%</i>
<i>Итого</i>	<i>5</i>	<i>16</i>	<i>9</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>3</i>	<i>3</i>	<i>50</i>	<i>100%</i>

По таблице 2.7 можно увидеть, что количество случаев сдвига ветра со слабой интенсивностью за исследуемый период составляет 14 случаев, учитывая, что за 2021 г. ни одного случая слабого сдвига не было зафиксировано. Умеренная интенсивность в общей сумме составляет 33 случая, максимум приходился

на 2017 г. – 11 случаев. Три случая сильного сдвига было зафиксировано в июле 2016 г., в январе 2017 г. и в апреле 2021 г.

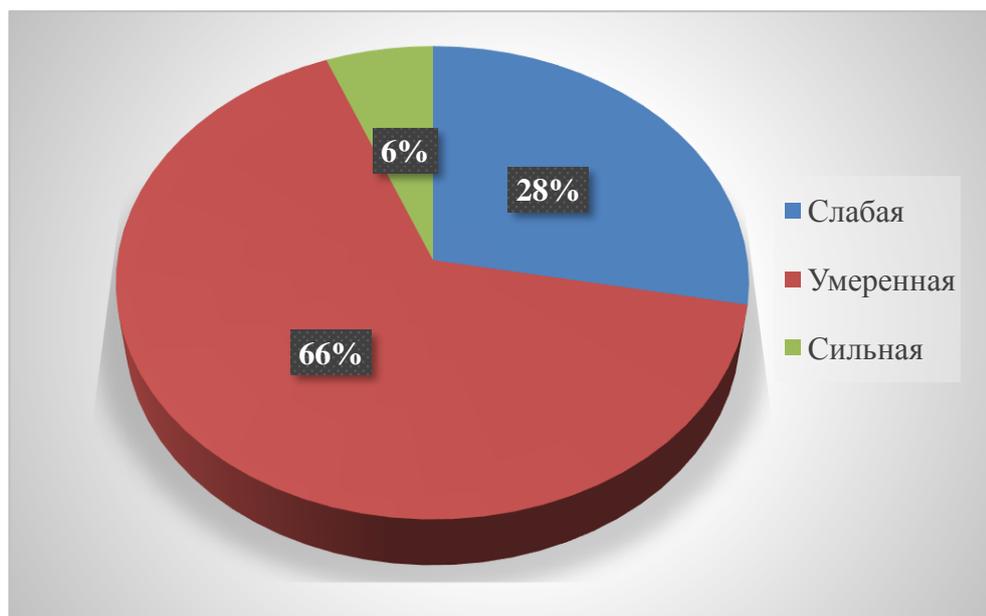


Рисунок 2.2 – Повторяемость случаев сдвига ветра по интенсивности на аэродроме г. Архангельск (Талаги) за период 2016-март 2022 гг.

На диаграмме (рис. 2.2) видно, что за период 2016-март 2022 гг. наибольшую повторяемость имел умеренный сдвиг ветра (66%), затем слабый (28%) и три случая было зафиксировано с сильным по интенсивности сдвигом ветра – (6%).

В таблице 2.8 и на гистограмме 2.3 представлены количество случаев и повторяемость случаев сдвига ветра по сезонам.

Таблица 2.8 – Количество случаев сдвига ветра по сезонам

Интенсивность сдвига ветра	Зима	Весна	Лето	Осень	Общее количество
<i>Слабая</i>	5	7	1	1	14
<i>Умеренная</i>	5	10	8	10	33
<i>Сильная</i>	1	1	1	0	3
<i>Итого</i>	11	18	10	11	50
<i>Повторяемость, %</i>	22	36	20	22	100

По таблице 2.8 видно, что наибольшее количество случаев сдвига ветра было весной (18 случаев), по 11 случаев – зимой и осенью и 10 случаев – летом.

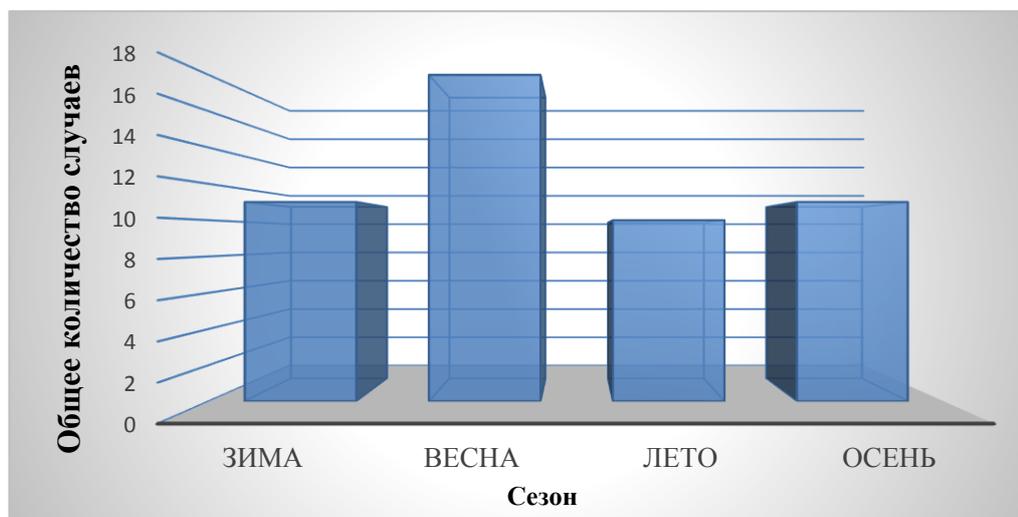


Рисунок 2.3 – Повторяемость случаев сдвига по сезонам ветра на аэродроме г. Архангельск (Талаги) за период 2016-март 2022 гг.

Исходя из гистограммы (рис. 2.3) видно, что наибольшая повторяемость случаев сдвига ветра по сезонам была весной, наименьшая – летом. Наибольшее количество сдвигов ветра весной обуславливается тем, что активизируются синоптические процессы, устойчивые воздушные массы сменяются неустойчивыми, тёплый воздух с океана начинает смещаться на охлаждённую поверхность.

Количество случаев и повторяемость сдвига ветра по эшелонам представлены в таблице 2.9 и на рисунке 2.4.

Таблица 2.9 – Количество случаев сдвига ветра по эшелонам

Интенсивность сдвига ветра	0-600 м [SFC/FL030]	600-1500 м [FL030/FL050]	1500-3000 м [FL050/FL100]	Выше 3000 м [выше FL100]	Повторяемость, %
<i>Слабая</i>	<i>13</i>	<i>1</i>	-	-	<i>27</i>
<i>Умеренная</i>	<i>31</i>	<i>4</i>	-	-	<i>67</i>
<i>Сильная</i>	<i>3</i>	-	-	-	<i>6</i>

Продолжение таблицы 2.9

<i>Итого</i>	<i>47</i>	<i>5</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>100</i>
--------------	-----------	----------	----------	----------	------------

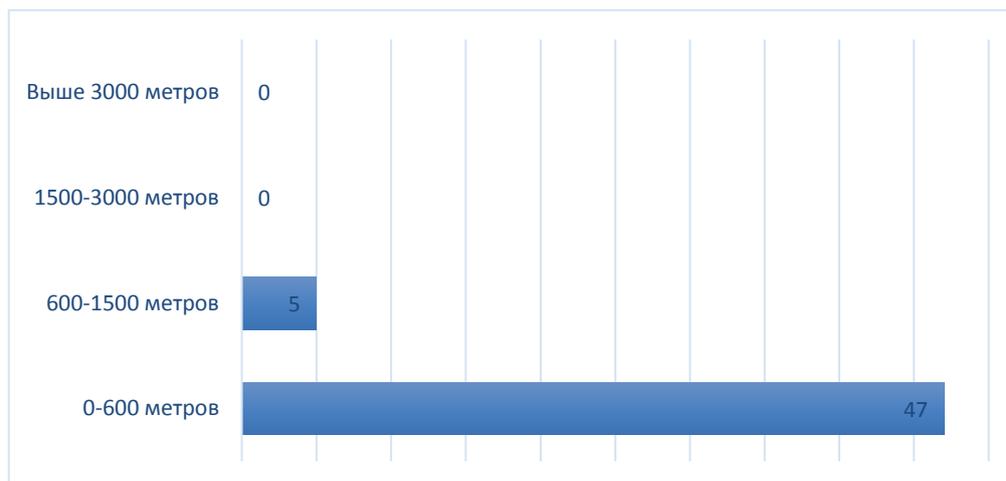


Рисунок 2.4 – Повторяемость случаев сдвига по эшелонам на аэродроме г. Архангельск (Талаги) за период 2016-март 2022 гг.

Сдвиги ветра в большей степени наблюдались (рис. 2.4) в промежутке от земной поверхности до 600 метров (до эшелона 020). Один случай с умеренным сдвигом произошёл в промежутке от 300 до 1000 метров 23 марта 2019 года. Выше 1500 метров сдвигов не было.

Количество случаев сдвига ветра и их повторяемость возникновения в зависимости от времени суток представлена в таблице 2.10 и на рисунке 2.5.

Таблица 2.10 – Количество случаев сдвига ветра в зависимости от времени суток

Интенсивность	Ночное время	Утреннее время	Дневное время	Вечернее время
<i>Слабая</i>	<i>2</i>	<i>8</i>	<i>3</i>	<i>2</i>
<i>Умеренная</i>	<i>4</i>	<i>9</i>	<i>14</i>	<i>7</i>
<i>Сильная</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>0</i>
<i>Итого</i>	<i>6</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>9</i>
<i>Повторяемость, %</i>	<i>12</i>	<i>35</i>	<i>36</i>	<i>17</i>

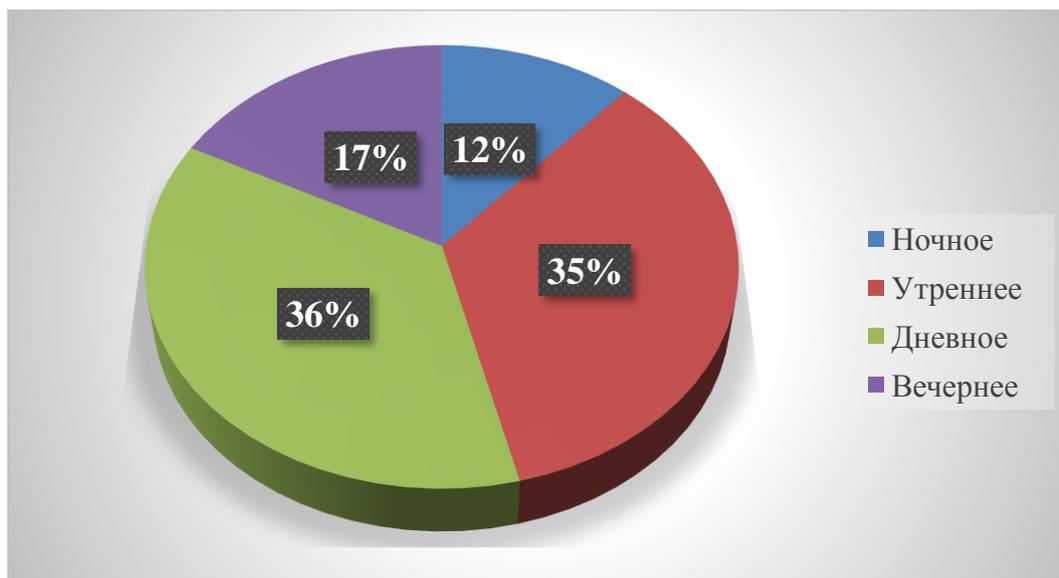


Рисунок 2.5 – Повторяемость случаев сдвига по времени суток на аэродроме г. Архангельск (Талаги) за период 2016-март 2022 гг.

Можно увидеть (табл. 2.10 и рис. 2.5), что сдвиг ветра фиксировался преимущественно в дневное время (19 случаев), меньше – в ночное (6 случаев). На утреннее время приходилось 18 случаев, а на вечернее – 9. Наибольшее количество случаев сдвига ветра в утреннее и дневное время можно объяснить тем, что в эти времена суток самолёты и вертолеты, сообщающие о данном явлении, летают чаще, чем в ночное и вечернее.

В результате проведенного анализа синоптических ситуаций (используя приземные карты погоды), были определены типовые синоптические ситуации при возникновении сдвига ветра на аэродроме г. Архангельск (Талаги), которые представлены в таблице 2.11 и на рисунке 2.6.

Таблица 2.11 – Типовые синоптические ситуации при возникновении сдвига ветра на аэродроме г. Архангельск (Талаги)

Синоптическая ситуация	Количество случаев	Повторяемость, %
<i>Периферии циклонов и антициклонов</i>	14	30%
<i>Тыловая, передняя часть циклона</i>	13	27%
<i>Передняя, тыловая часть ложбины</i>	5	11%
<i>Ложбина</i>	2	4%
<i>Южная периферия ложбины</i>	2	4%
<i>Гребень антициклона</i>	2	4%
<i>Тёплый сектор</i>	2	4%
<i>Седловина</i>	2	4%
<i>Центр циклона</i>	2	4%
<i>Тёплый фронт</i>	2	4%
<i>Тыловая часть гребня</i>	1	2%
<i>Периферия гребня</i>	1	2%

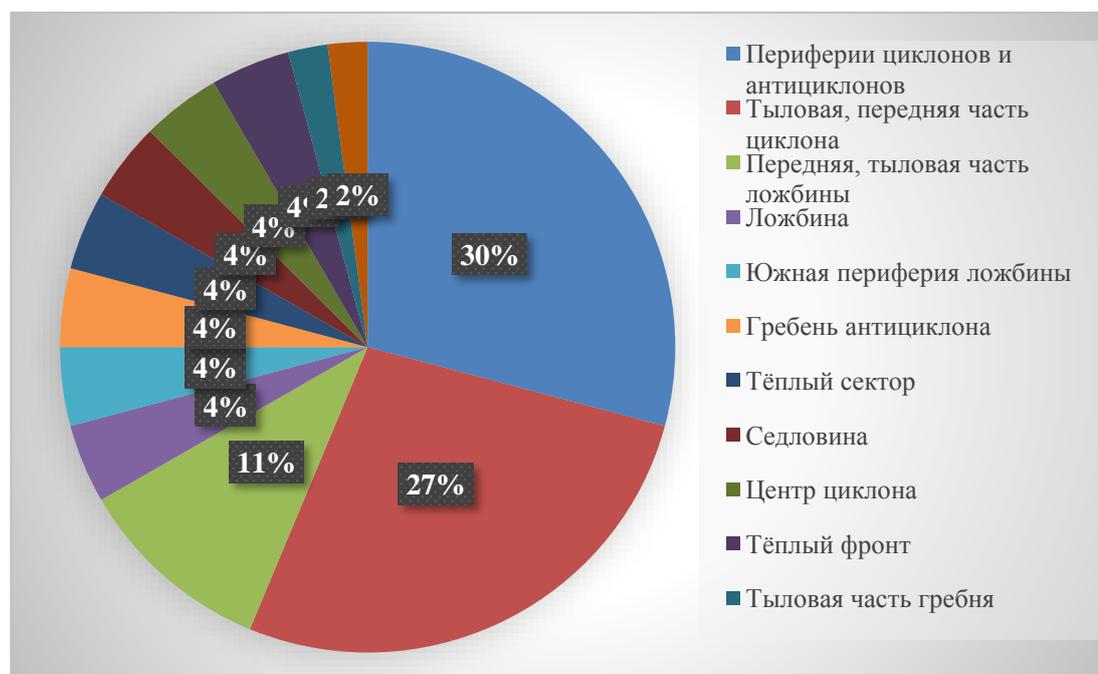


Рисунок 2.6 – Повторяемость случаев сдвига по синоптическим ситуациям на аэродроме г. Архангельск (Талаги) за период 2016-март 2022 гг.

По таблице 2.11 и рисунку 2.6 видно, что наибольшее количество сдвигов ветра наблюдалось на перифериях циклонов и антициклонов (14 случаев – 30%) и в тыловых и передних частях циклонов (13 случаев – 27%), меньшее количество – тыловая часть и периферия гребня.

Большое количество сдвигов ветра на перифериях антициклонов и циклонов можно объяснить сгущением изобар, турбулентностью, возможным влиянием других барических образований. В тыловой и передней части: приближением тёплого фронта или прохождением холодного, при которых изменяется направление и скорость ветра; осадки; грозы.

На рисунках 2.7 и 2.8 представлены примеры синоптических ситуаций на приземных синоптических картах погоды при зафиксированных случаях сдвига ветра (09.09.2016, 22.08.2018 гг.) [2].

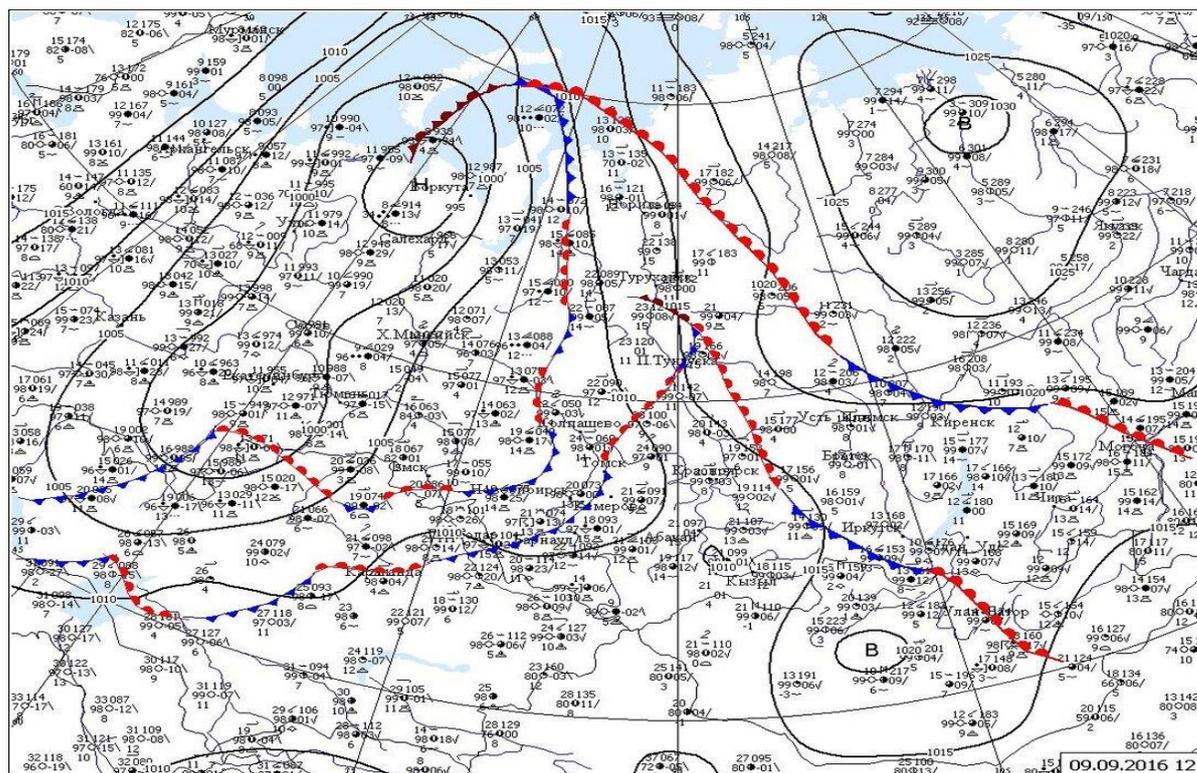


Рисунок 2.7 – Приземная синоптическая карта за 09.09.2016 12 UTC (восточная периферия антициклона)

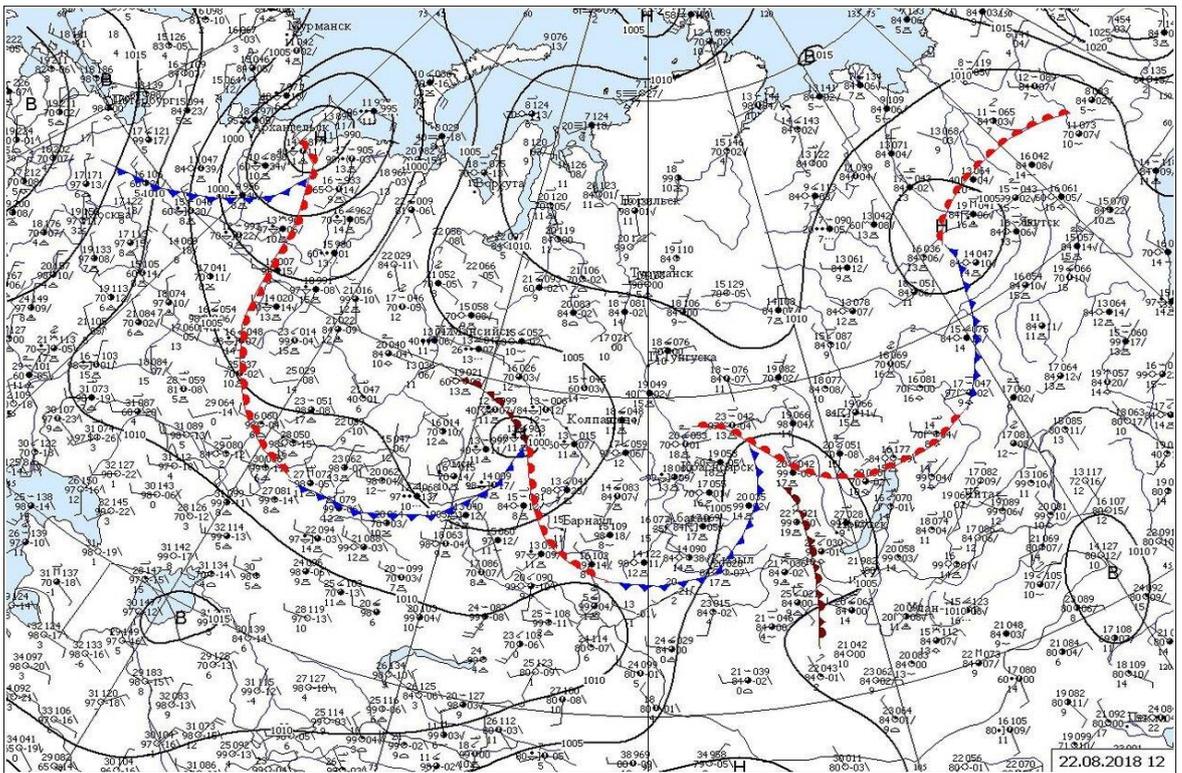


Рисунок 2.8 – Приземная синоптическая карта за 22.08.2018 г., 12 UTC  
(тыловая часть циклона)

### 3. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ ПО ДАННЫМ ЗОНДИРОВАНИЯ АЭРОПОРТА ТАЛАГИ ГОРОДА АРХАНГЕЛЬСКА

#### 3.1. Анализ состояния приземного слоя по инверсиям

По выбранным случаям сдвига ветра за период с 2016 по март 2022 г. были проанализированы данные зондирования атмосферы [5] от земной поверхности до высоты 600 метров. В качестве предикторов были выбраны инверсия и индексы неустойчивости. В таблице 3.1 представлены зафиксированные случаи инверсии в слое от 0 до 600 м.

Таблица 3.1 – Инверсии приземного слоя

Дата и время	Состояние приземного слоя	Высоты [м]	Температура по высотам	Скорость (м/с) и направление (°) ветра по высотам	Разность высот/мощность инверсии (верхняя и нижняя границы слоя инверсии) [м]	Разность температур между высотами [°C]
10.05.2016 [6.19]	инверсия	0	4.8	2/ 315	210	0.6
		145	5.2	8/ 330		
		185	5.3	10/ 330		
		210	5.4	10/ 331		
30.08.2017 [16:22-17:06]	инверсия	6	15.2	4/180	52	0.6
		58	15.8	6/200		
05.02.2018 [8:32-9:00]	инверсия	425	-14.1	19/ 71	168	2
		593	-12.4	22/ 75		
22.08.2018 [12:43-13:00]	инверсия	6	8.6	12/ 315	142	0.4
		148	9.0	26/ 320		
08.10.2018 [18:37-19:00]	инверсия	6	1.0	3/ 225	85	0.8
		91	1.8	11/ 205		
		504	1.6	17/ 190	85	0.4
		589	2.0	13/ 240		

Продолжение таблицы 3.1

14.02.2019 [23:00- 23:30]	инверсия	504	-9.5	15/ 181	83	0.2
		587	-9.3	17/ 185		
03.05.2019 [14:00- 15:00]	инверсия	6	5.6	4/ 135	230	0.6
		232	6.2	9/ 150		
16.08.2020 [12:52- 13:12]	инверсия	6	14.8	6/ 340	118	0.2
		124	15.0	9/ 323		

10-го мая 2016 г. мощность инверсии составляла 210 м, направление ветра изменялось от 315° до 331°, скорость ветра – от 2 до 10 м/с, разность температуры между высотами – 0.6°С.

30 августа 2017 г. мощность инверсии составляла 52 м, направление ветра изменялось от 180° до 200°, скорость ветра – от 4 до 6 м/с, разность температуры между высотами – 0.6°С.

5-го февраля 2018 г. мощность инверсии составляла 168 м, направление ветра изменялось от 71° до 75°, скорость ветра – от 19 до 22 м/с, разность температуры между высотами – 2°С.

22-го августа 2018 г. мощность инверсии составляла 142 метра, направление ветра изменялось от 315° до 320°, скорость ветра – от 12 до 26 м/с, разность температуры между высотами – 0.4°С.

8-го октября 2018 г. наблюдалось две инверсии: первая инверсия была мощностью 85 м, направление ветра изменялось от 225° до 205°, скорость – от 3 до 11 м/с, разность температуры между высотами – 0.8°С; у второй мощность тоже составляла 85 м, направление ветра изменялось от 190 до 240°, скорость – от 13 до 17 м/с, разность температуры между высотами 0.4°С.

3-го мая 2019 г. мощность составляла 230 м, направление ветра изменялось от 135° до 150°, скорость ветра – от 4 до 9 м/с, разность температуры между высотами – 0.6°С.

16-го августа 2020 г. мощность составляла 118 м, направление ветра изменялось от 323° до 340°, скорость ветра – от 6 до 9 м/с, разность температуры между высотами – 0.2°C.

При анализе данных зондирования было выявлено 8 случаев инверсий с 2016 по март 2022 г. По причине запуска радиозондов только два раза в сутки [в 00 UTC и 12 UTC], время зондирования, когда наблюдалась инверсия может не совпадать со временем, когда были зафиксированы сдвиги ветра.

### 3.2. Анализ состояния атмосферы по индексам неустойчивости

Метод Вайтинга:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + TD_{850} - (T_{700} - TD_{700}) \quad (1)$$

$T_{850,700,500}$  – температура окружающей среды на изобарической поверхности 850, 700 и 500 гПа,

$TD_{850,700}$  – температура точки росы на 700 и 850 гПа [10].

$(T_{850} - T_{500})$  – статистическая нестабильность между 850 и 500 гПа,

$(T_{700} - TD_{700})$  – сухость воздушной массы на 700 гПа.

–  $K > 20$  – грозы ожидаются.

K-индекс характеризует степень конвективной неустойчивости воздушной массы.

*Total totals index* – общий итоговый индекс:

$$TT = VT + CT \quad (2)$$

Vertical totals index (VT) и Cross total index (CT) – составляющие индекса Total Totals (TT).

–  $> 45$  – ожидание неустойчивости атмосферы.

a) *Vertical totals index* – общее вертикальное значение, представляет собой статическую стабильность между 850 и 500 гПа:

$$VT = T_{850} - T_{500} \quad (3)$$

$T_{850,500}$  – температура на 850 и 500 гПа.

–  $>28$  – тропосфера обладает высоким потенциалом конвективной неустойчивости.

b) *Cross total index* – индекс кросс-тотал – мера содержания влаги:

$$CT = TD_{850} - T_{500} \quad (4)$$

$TD_{850}$  – температура точки росы на 850 г Па,

$T_{500}$  – температура на 500 гПа.

–  $>18$  – неустойчивость атмосферы.

В таблице 3.2 представлены критерии индексов неустойчивости за 2016 г.

Таблица 3.2 – Критерии индексов неустойчивости за 2016 г.

Дата	К	Критерии	VT	Критерии	СТ	Критерии	ТТ	Критерии
10.05.2016	11.4	<20	23.6	<28	20.6	>18	44.2	<45
31.07.2016	26.4	>20	22.1	<28	19.0	>18	41.1	<45
27.08.2016	Данные отсутствуют	-	-	-	-	-	-	-
09.09.2016	13.1	<20	22.6	<28	20.8	>18	43.4	<45
17.12.2016	Данные отсутствуют	-	-	-	-	-	-	-

За 2016 год наблюдалось 5 случаев сдвигов ветра: 2 случая приходилось на К-индекс меньше 20 (10 мая и 9 сентября) – атмосфера была недостаточно неустойчивой, К-индекс больше 20 – 1 случай (31 июля) – атмосфера неустойчива, за 27 августа и 17 декабря данные отсутствуют.

Рассматривая составляющую Vertical Total Index, критерия больше 28 не наблюдалось в течение 2016 г.

Рассматривая составляющую Cross Total Index за 2016 г., все показатели были больше 18 – атмосфера была в неустойчивом состоянии.

По итоговому индексу Total Totals Index по всем случаям было <45 – устойчивая атмосфера.

В таблице 3.3 представлены критерии неустойчивости за 2017 г.

Таблица 3.3 – Критерии индексов неустойчивости за 2017 г.

Дата	К	Крите- рии	VT	Крите- рии	СТ	Крите- рии	ТТ	Крите- рии
07.01.2017	Данные от- сутствуют	-	-	-	-	-	-	-
08.01.2017	Данные от- сутствуют	-	-	-	-	-	-	-
29.03.2017	5.7	<20	29.8	>28	24.8	>18	54.6	>45
26.04.2017	8.7	<20	23.6	<28	14.6	<18	38.2	<45
28.04.2017	3.6	<20	22.6	<28	18.5	>18	41.1	<45
28.05.2017	-0.7	<20	20.2	<28	16.2	<18	36.4	<45
31.05.2017	15.9	<20	23.6	<28	21.3	>18	44.9	<45
13.07.2017	Данные от- сутствуют	-	-	-	-	-	-	-
27.08.2017	28.8	>20	25.5	<28	24.6	>18	50.1	>45
30.08.2017	Данные от- сутствуют	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3.3

02.09.2017	10.5	<20	14.5	<28	12.7	<18	27.2	<45
	-7.1	<20	15.2	<28	13.4	<18	28.6	<45
29.09.2017	0.9	<20	21.2	<28	18.2	>18	39.4	<45
07.11.2017	13.9	<20	23.2	<28	22.2	>18	45.4	>45
08.11.2017	13.9	<20	23.2	<28	22.2	>18	45.4	>45

За 2017 год наблюдалось 14 случаев сдвигов ветра: 10 случаев приходилось на К-индекс меньше 20 – недостаточно неустойчивая атмосфера, К-индекс больше 20 – 1 случай (27 августа) – устойчивая атмосфера, за 7 и 8 января, 13 июля и 30 август данные отсутствуют, два случая были отрицательными – 28 мая и 2 сентября. 2 сентября в течение всего дня наблюдался умеренный сдвиг, поэтому данные по зондированию брались за 00 UTC и 12 UTC.

Рассматривая составляющую Vertical Total Index, тропосфера обладала высоким потенциалом конвективной неустойчивости только 29 марта [29.8].

Рассматривая составляющую Cross Total Index за 2017 г., атмосфера была в неустойчивом состоянии 29 марта [24.8], 28 апреля [18.5], 31 мая [21.3], 27 августа [24.6], 29 сентября [18.2] и 7 [22.2] и 8 ноября [22.2].

По итоговому индексу Total Totals Index атмосфера была в неустойчивом состоянии 29 марта [54.6], 27 августа [50.1] и 7 и 8 ноября [45.4].

Критерии индексов неустойчивости за 2018 г. представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Критерии индексов неустойчивости за 2018 г.

Дата	К	Критерии	VT	Критерии	СТ	Критерии	ТТ	Критерии
06.01.2018	18.2	<20	27.0	<28	25.2	>18	52.2	>45
05.02.2018	-24.3	<20	18.0	<28	6.0	<18	24.0	<45
29.03.2018	14.8	<20	29.6	>28	28.1	>18	57.7	>45
30.03.2018	12.4	<20	29.2	>28	26.9	>18	56.1	>45

Продолжение таблицы 3.4

13.08.2018	20.2	>20	21.1	<28	19.8	>18	40.9	<45
22.08.2018	15.8	<20	20.4	<28	18.3	>18	38.7	<45
08.10.2018	2.4	<20	20.0	<28	9.0	<18	29.0	<45
22.10.2018	21.8	>20	23.5	<28	21.5	>18	45	=45

За 2018 год наблюдалось 8 случаев сдвигов ветра: 6 случаев приходилось на К-индекс меньше 20 (6 января, 5 февраля, 29 и 30 марта, 22 августа, 8 октября) – устойчивая атмосфера, один случай был отрицательным (5 февраля), К-индекс больше 20 – 2 случая (13 августа и 22 октября) – неустойчивая атмосфера.

Рассматривая составляющую Vertical Total Index, критерий больше 28 наблюдался только один день (30 марта) и равнялся 29.2. Тропосфера обладала высоким потенциалом конвективной неустойчивости. В остальных случаях критерий был меньше 28.

Рассматривая составляющую Cross Total Index за 2018 г., неустойчивость атмосферы наблюдалась 6 января [25.2], 29 [28.1] и 30 марта [26.9], 13 [19.8] и 22 августа [18.3], и 22 октября [21.5].

По итоговому индексу Total Totals Index атмосфера была неустойчива 6 января [52.2], 29 [57.7] и 30 марта [56.1], и 22 октября равнялась 45.

Критерии индексов неустойчивости за 2019 г. представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Критерии индексов неустойчивости за 2019 г.

Дата	К	Крите- рии	VT	Крите- рии	СТ	Крите- рии	ТТ	Крите- рии
14.02.2019	8.3	<20	20.0	<28	19.2	>18	39.2	<45
23.03.2019	-5.7	<20	19.0	<28	2.0	<18	21.0	<45
03.05.2019	12.7	<20	26.6	<28	20.6	>18	47.2	>45
05.05.2019	14.0	<20	25.6	<28	24.2	>18	49.8	>45
01.06.2019	15.9	<20	27.1	<28	17.1	<18	44.2	<45
03.08.2019	19.2	<20	19.5	<28	18.5	>18	38.0	<45

Продолжение таблицы 3.5

15.09.2019	24.8	>20	24.5	<28	23.5	>18	48.0	>45
------------	------	-----	------	-----	------	-----	------	-----

За 2019 год наблюдалось 7 случаев сдвига ветра: 6 случаев приходилось на К-индекс меньше 20 (14 февраля, 23 марта, 3 и 5 мая, 1 июня, 3 августа) – атмосфера находилась в устойчивом состоянии, один случай был отрицательным (23 марта), К-индекс больше 20 – один случай (15 сентября) – атмосфера была неустойчива.

Рассматривая составляющую Vertical Total Index, критерия больше 28 не наблюдалось в течение 2019 г.

Рассматривая составляющую Cross Total Index, атмосфера в неустойчивом состоянии наблюдалась 14 февраля [19.2], 3 [20.6] и 5 мая [24.2], 3 августа [18.5] и 15 сентября [23.5].

По итоговому индексу Total Totals Index неустойчивость атмосферы приходилась на 3 [47.2] и 5 мая [49.8], и 15 сентября [48.0].

Критерии индексов неустойчивости за 2020 г. представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Критерии индексов неустойчивости за 2020 г.

Дата	К	Критерии	VT	Критерии	СТ	Критерии	ТТ	Критерии
22.02.2020	13.7	<20	22.4	<28	21.4	>18	43.8	<45
23.04.2020	0.9	<20	20.4	<28	16.7	<18	37.1	<45
14.05.2020	3.7	<20	29.2	>28	20.2	>18	49.4	>45
16.08.2020	11.3	<20	21.9	<28	14.9	<18	36.8	<45
22.09.2020	16.3	<20	24.2	<28	22.9	>18	47.1	>45
07.11.2020	13.7	<20	28.0	=28	26.2	>18	54.2	>45
10.11.2020	9.9	<20	26.4	<28	23.7	>18	50.1	>45

За 2020 год наблюдалось 7 случаев сдвига ветра: все приходились на К-индекс меньше 20, отрицательных случаев не было.

Рассматривая составляющую Vertical Total Index, тропосфера обладала высоким потенциалом конвективной неустойчивости 14 мая [29.2], 7 ноября критерий равнялся 28, в остальных случаях – меньше 28.

Рассматривая составляющую Cross Total Index, неустойчивость атмосферы наблюдалась 22 февраля [21.4], 14 мая [20.2], 22 сентября [22.9], 7 [26.2] и 11 ноября [23.7].

По итоговому индексу Total Totals Index неустойчивость атмосферы приходилась на 14 мая [49.4], 22 сентября [47.1], 7 [54.2] и 11 ноября [50.1].

Критерии индексов неустойчивости за 2021 г. представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Критерии индексов неустойчивости за 2021 г.

Дата	К	Критерии	VT	Критерии	СТ	Критерии	ТТ	Критерии
24.02.2021	-6.9	<20	18.0	<28	18.0	=18	36.0	<45
02.03.2021	5.2	<20	25.2	<28	21.4	<25	46.6	>45
10.04.2021	16.4	<20	26.0	<28	22.4	<25	48.4	>45

За 2021 год наблюдалось 3 случая сдвига ветра, которые приходились на индекс меньше 20, один случай был отрицательный.

Рассматривая составляющую Vertical Total Index, критерия больше 28 не наблюдалось в течение 2021 г.

Рассматривая составляющую Cross Total Index, 24 февраля значение равнялось 18, в остальные дни – было меньше (устойчивость атмосферы).

По итоговому индексу Total Totals Index неустойчивое состояние атмосферы приходилось на 2 марта [46.6] и 10 апреля [48.4].

Критерии индексов неустойчивости за 2022 г. представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Критерии индексов неустойчивости за 2022 г.

Дата	К	Крите- рии	VT	Крите- рии	СТ	Крите- рии	ТТ	Крите- рии
24.02.2022	-7.7	<20	23.4	<28	11.4	<18	34.8	<45
16.03.2022	-7.7	<20	25.4	<28	10.4	<18	35.8	<45
26.03.2022	7.3	<20	22.4	<28	19.8	>18	42.2	<45

За 2022 год наблюдалось 3 случая сдвига ветра, которые приходились на индекс меньше 20, два случая были отрицательными.

Рассматривая составляющую Vertical Total Index, критерия больше 28 не наблюдалось в течение 2022 г.

Рассматривая составляющую Cross Total Index, неустойчивость атмосферы наблюдалась только 26 марта.

По итоговому индексу Total Totals Index атмосфера была устойчива.

Учитывая данные зондирования, которые проводятся 2 раза в сутки [00 и 12 UTC], прогнозировать сдвиг ветра по аэрологическим диаграммам с наибольшей точностью невозможно, поэтому нужно привлекать синоптический метод, который включает в себя анализ синоптической ситуации.

#### 4. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ЗА ПЕРИОД С 2016 ПО МАРТ 2022 ГОДА

Рассматриваются зафиксированные случаи только с умеренным и сильным сдвигом, поскольку принято считать, что слабый сдвиг ветра может быть всегда.

##### *2016 год*

*10 мая 6.19 UTC* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием седловины, по данным зондирования в 00 UTC наблюдалась инверсия мощностью 210 м. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*31 июля 12.33 UTC* – сильный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием центра циклона (вероятное прохождение недалеко находившегося фронта окклюзии), по данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга атмосфера была неустойчива, по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*9 сентября 13.02 UTC* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием восточной периферии антициклона, по данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*17 декабря 13.32 UTC* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тыловой части ложбины, данные по зондированию отсутствовали.

##### *2017 год*

*7 января 14:48-15:00, 17:47-18:00* – умеренный и сильный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием восточной периферии циклона, сопутствующая облачность – высокостроистая, слоисто-кучевая, явление – снег. Данные зондирования отсутствовали.

*26 апреля 11:07-11:30, 14:41-15:00* – умеренный сдвиг ветра, в первой половине аэродром находился под влиянием прохождения тёплого фронта, во вто-

рой – находился в тёплом секторе циклона. В утреннее время сдвиг сопровождался высокостроистой, слоисто-кучевой и кучевой облачностью; в дневное – высокостроистой, слоисто-кучевой облачностью и умеренным обледенением в облаках. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*28 апреля 10:58-11:15* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием ложбины циклона, сопутствующая облачность – высококучевая, кучево-дождевая, явление – слабое обледенение в облаках. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*31 мая 12:52-13:15* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием восточной периферии циклона, сопутствующая облачность – высококучевая, высокостроистая и слоисто-кучевая. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*13 июля 8:30* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тыловой части гребня, сопутствующая облачность – перистая, высококучевая и кучевая, явления – умеренная турбулентность. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу информация отсутствовала.

*27 августа 3:56-4:28* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием центра циклона, сопутствующая облачность – разорванная дождевая, кучево-дождевая, явления – ливневой дождь и дымка. По данным зондирования за 00 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера находилась в неустойчивом состоянии.

*30 августа 16:22-17:06* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием южной периферии ложбины, сопутствующая облачность – высокостроистая, слоисто-кучевая, в 17:06 была отмечена кучево-дождевая. По данным зондирования за 12 UTC наблюдалась инверсия мощностью 52 м. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу информация отсутствовала.

*2 сентября 0:11-0:30, 2:16-2:43, 4:43-5:00 и 8:51-9:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром в ночное время находился под влиянием тыловой части циклона, утром – под влиянием восточной периферии антициклона. Сдвиг в первом случае сопровождался высокостроистой, высококучевой, слоисто-кучевой и кучево-дождевой облачностью; во втором – слоисто-кучевой, разорванно дождевой и кучево-дождевой; в третьем – слоисто-кучевой, кучево-дождевой и разорванно дождевой; в четвёртом – слоисто-кучевой и кучево-дождевой. По данным зондирования за 00 и 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*29 сентября 8:57-9:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием восточной периферии антициклона (с востока шла ложбина циклона, а также поблизости находился холодный фронт), сопутствующая облачность – слоисто-кучевая и кучево-дождевая. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*С 7-го на 8-ое ноября 23:58-0:17, 0:47-1:15* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием северо-западной периферии циклона (с юга приближался гребень антициклона), сопутствующая облачность – кучево-дождевая. По данным зондирования за 00 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга атмосфера была устойчива, по общему итоговому индексу – неустойчива.

## **2018 год**

*6 января 16:21-16:39* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тёплого сектора, сопутствующая облачность и явление – ливневой снег, кучево-дождевая и разорванная дождевая облачность. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга атмосфера была устойчива, по общему итоговому индексу – неустойчива.

*5 февраля 8:32-9:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием восточной периферии антициклона (с юго-востока приближался цик-

лон), на аэродроме отмечалась высококучевая облачность. По данным зондирования за 12 UTC наблюдалась инверсия мощностью 168 м. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*29 марта 9:36-10:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием южной периферии ложбины, сопутствующая облачность и явление – ливневым снегом, высококучевая и кучево-дождевая облачность. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга атмосфера была устойчива, по общему итоговому индексу – неустойчива.

*13 августа 13:07-13:30* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тыловой части циклона, отмечалась гроза с дождём, кучево-дождевая, высококучевая и высокостроистая облачность. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга атмосфера находилась в неустойчивом состоянии, по общему итоговому индексу была устойчива.

*22 августа 12:43-13:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тыловой части циклона (с юга на север продвигался гребень антициклона), отмечено наличие кучево-дождевой облачности, в 12 UTC по данным зондирования наблюдалась инверсия мощностью 142 м. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*8 октября 18:37-19:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием гребня антициклона, по данным зондирования за 00 UTC (для анализа взято 9 октября) наблюдалась инверсия от 6 до 91 м (мощность – 85 м) и от 504 до 600 (мощность – 85 м). По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*22 октября 13:12-13:30* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тыловой части циклона, отмечался ливневой дождь, кучево-дождевая, слоисто-кучевая и разорванно дождевая облачность. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была неустойчива.

## 2019 год

*23 марта 17:03-17:30* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием передней части ложбины (недалеко находился фронт окклюзии), отмечалась умеренная турбулентность, кучево-дождевая и разорванно дождевая облачность. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*3 мая 14:40-15:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тыловой части циклона, отмечалась кучево-дождевая, высококучевая и слоисто-кучевая облачность. По данным зондирования за 12 UTC наблюдалась инверсия мощностью 230 м. По индексу Вайтинга атмосфера находилась в устойчивом состоянии, по общему итоговому индексу была неустойчива.

*1 июня 07:09-8:10* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием северной периферии гребня, отмечалась кучевая облачность. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*3 августа 23:00-23:30* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тыловой части ложбины, отмечалось слабое обледенение, кучево-дождевая и слоисто-кучевая облачность. По данным зондирования за 00 UTC (для анализа взято 4 августа) инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*15 сентября 4:35-5:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием южной периферии циклона, отмечалась кучево-дождевая и разорванно дождевая облачность. По данным зондирования за 00 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера находилась в неустойчивом состоянии.

## 2020 год

*14 мая 7:46-8:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тыловой части циклона (с юга продвигался гребень антициклона), отмечалась умеренная турбулентность, кучево-дождевая и слоисто-кучевая облачность.

По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга атмосфера находилась в устойчивом состоянии, по общему итоговому индексу – в неустойчивом.

*16 августа 12:52-13:12* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием ложбина, отмечалась умеренная турбулентность и слоисто-кучевая облачность. По данным зондирования за 12 UTC наблюдалась инверсия мощностью 118 м. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера была устойчива.

*22 сентября 18:30-19:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тыловой части циклона, отмечалось умеренное обледенение, кучево-дождевая, слоисто-кучевая и высокослоистая облачность. По данным зондирования за 00 UTC (для анализа взято 23 сентября) инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга атмосфера находилась в устойчивом состоянии, по общему итоговому индексу – в неустойчивом.

*7 ноября 18:23-18:53* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием холодного фронта, отмечалась слоисто-кучевая, разорванная дождевая и кучево-дождевая облачность. По данным зондирования за 00 UTC (для анализа взято 8 ноября) инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга атмосфера находилась в устойчивом состоянии, по общему итоговому индексу – в неустойчивом.

### **2021 год**

*24 февраля 19:22-19:30* – умеренный сдвиг, аэродром находился под влиянием западной периферии антициклона (приближение циклона с северо-северо-запада), отмечалась слоисто-кучевая и кучево-дождевая облачность. По данным зондирования за 00 UTC (для анализа взято 25 февраля) инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера находилась в устойчивом состоянии.

*2 марта 18:33-19:00* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием тыловой части циклона, отмечалась слоисто-кучевая облачность. По

данным зондирования за 00 UTC (для анализа взято 3 марта) инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга атмосфера находилась в устойчивом состоянии, по общему итоговому индексу – в неустойчивом.

*10 апреля 8:36-9:00* – сильный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием передней части циклона, отмечалась слоисто-кучевая и кучево-дождевая облачность. По данным зондирования за 12 UTC инверсии не наблюдалось. По индексу Вайтинга атмосфера находилась в устойчивом состоянии, по общему итоговому индексу – в неустойчивом.

### **2022 год**

*26 марта с 13:03 до 13:43 и с 14:02 до 15:01* – умеренный сдвиг ветра, аэродром находился под влиянием северной периферии циклона, отмечалась разорванная дождевая и кучево-дождевая облачность. По данным зондирования за 12 UTC инверсия не наблюдалась. По индексу Вайтинга и по общему итоговому индексу атмосфера находилась в устойчивом состоянии.

*Периферии циклонов и антициклонов:* сгущение изобар, влияние других барических образований, облачность (разорванная дождевая и кучево-дождевая), турбулентность.

*Тыловая, передняя часть циклона:* приближение фронтов – холодного или тёплого; ливневые осадки, при которых нисходящие потоки доходят до земной поверхности, а затем расходятся вдоль земли по радиусу; турбулентность; кучево-дождевая облачность перед холодным фронтом, сопровождающаяся сильным ветром с порывами или шквалом, грозой.

*Передняя, тыловая часть ложбины:* турбулентность, кучево-дождевая облачность; сильное сгущение изобар; инверсия.

*Ложбина:* область схождения приземного ветра, которая приводит к образованию облаков и осадков.

*Южная периферия ложбины:* образование кучево-дождевой облачности.

*Гребень антициклона:* влияние бриза либо двух рек поблизости аэродрома, либо фронтом морского бриза, дующего с Белого моря; инверсия.

*Тёплый сектор:* зимой ливневой снег, кучево-дождевая облачность.

*Седловина:* возможное наличие инверсия; влияние бриза либо двух рек поблизости аэродрома, либо фронтом морского бриза, дующего с Белого моря.

*Центр циклона:* возможное нахождение рядом фронта окклюзии; ливневой дождь; кучево-дождевая облачность.

*Тёплый фронт:* изменение направления и скорости ветра; обложные осадки; слоисто-дождевая облачность.

*Тыловая часть гребня:* турбулентность; влияние бриза либо двух рек поблизости аэродрома, либо фронтом морского бриза, дующего с Белого моря.

*Периферия гребня:* влияние бриза либо двух рек поблизости аэродрома, либо фронтом морского бриза, дующего с Белого моря; кучевая облачность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из теоретических данных, можно сделать вывод, что на возникновение сдвига ветра влияет значительное количество признаков – от рельефа местности до шкваловых воротов.

Взлёт и заход на посадку в условиях сильного WS запрещается. Если при заходе на посадку воздушное судно попало под его влияние, нужно немедленно уходить на второй круг или следовать на запасной аэродром [рекомендации экипажам воздушных судов и органам управления воздушным движением]. Органы УВД обязаны оценивать метеорологическую обстановку на аэродроме и в положенное время доносить до экипажа самолёта информацию о прогнозировании или наличии изменений в направлении и/или в скорости ветра.

Для достижения поставленной цели были созданы базы данных с помощью бортовой и фактической информации (METAR) за период с 2016 г. по март 2022 г. аэродрома Талаги г. Архангельска. За данный период в сумме было выявлено 47 случаев.

Исходя из бортовых и фактических данных с аэродрома Талаги г. Архангельска, был проведен анализ случаев сдвига ветра по интенсивности (табл. 9), по сезонам (табл. 10), по эшелонам (табл. 11), по количеству случаев в зависимости от времени суток (табл. 12). По интенсивности больше всего наблюдался умеренный сдвиг (66%), чаще в весеннее время (36%), в промежутке между земной поверхностью и 600 м [SFC/FL030] (90%) и днём (36%).

Были проанализированы синоптические карты для выявления синоптических ситуаций, в которых возникают сдвиги ветра. В большей степени сдвиги ветра наблюдались на перифериях циклонов и антициклонов (14 случаев – 30%) и в тыловой, передней частях циклонов (13 случаев – 27%), меньше – в тыловой части и на периферии гребня (по 1 случаю – 2%).

Также для всех случаев сдвига ветра по данным зондирования были выбраны два предиктора – инверсия и индексы неустойчивости. При анализе данных зондирования было выявлено 8 случаев инверсий с 2016 по март 2022 г. По

причине запуска радиозондов только два раза в сутки [в 00 UTC и 12 UTC], время зондирования, когда наблюдалась инверсия, может не совпадать со временем, когда были зафиксированы сдвиги ветра.

Второй предиктор – индексы неустойчивости – индекс-К (Вайтинга), Total Totals Index и его составляющие Vertical Total Index и Cross Total Index. За период 2016-март 2022 г. по индексу Вайтинга, Total Totals Index и составляющей Vertical Total Index атмосфера обладала устойчивостью, по Cross Total – неустойчивостью.

В результате проведенного анализа, можно отметить, что для прогноза сдвигов ветра необходимо использовать комплексный подход: анализ синоптической ситуации, данных зондирования атмосферы, бортовой погоды, расчёт критериев неустойчивости и, несомненно, необходимо знание местных особенностей территории прогнозирования.

Процесс запросов бортовой погоды до настоящего времени остаётся актуальным, так как позволяет уточнять погодные условия по маршруту и на всех этапах полёта и повышать точность прогнозов, что приводит к достижению главной цели синоптика-прогнозиста – повышения безопасности полетов в метеорологическом отношении.

## Список использованной литературы

1. Агентство окружающей среды. Авиационная метеорологическая информация. <http://www.lennuilm.ee/?lang=ru>
2. Архив синоптических карт [Электронный ресурс]:  
[http://www1.wetter3.de/archiv\\_dwd\\_dt.html](http://www1.wetter3.de/archiv_dwd_dt.html)
3. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – 339 с.
4. Богаткин О.Г. Практикум по курсу «Основы авиационной метеорологии». – СПб.: изд. РГГМУ, 2009. – 136 с.
5. Карта зондирования. [Электронный ресурс]:  
<http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html>
6. Позднякова В.А. Практическая авиационная метеорология. Учебное пособие для лётного и диспетчерского состава ГА. – Екатеринбург: Уральский УТЦ ГА, 2010. – 113 с.
7. Руководство по сдвигу ветра на малых высотах. Международная организация гражданской авиации [ИКАО], 2005.
8. Сафонова Т.В. Авиационная метеорология: учеб. пособие/ Т.В. Сафонова. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2005. – 215 с.
9. Glossary of Meteorology. [Электронный ресурс]:  
[https://glossary.ametsoc.org/wiki/Stability\\_index](https://glossary.ametsoc.org/wiki/Stability_index)
10. Sounding Map. [Электронный ресурс]:  
<http://weather.uwyo.edu/upperair/indices.html>

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

А1 – Фактические данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2017 год

Дата	Время наблюдения (UTC)	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Эшелон, слой
07.01.2017	14:48:35	-	+	MOD	As, Sc, SN	0-300 M
	14:59:00	-	+	MOD	As, Sc, SN	0-300 M
	15:00:00	-	+	MOD	As, Sc, SN	0-300 M
	16:44:26	-	+	FBL	As, Sc, SN	0-300 M
	16:45:00	-	+	FBL	As, Sc, SN	
	17:00:00	-	+	FBL	As, Sc, SN	
	17:47:47	-	+	SEV	As, Sc	
	18:00:00	-	+	SEV	As, Ac, Sc	
	23:44:11	-	+	FBL	Ns, FBL ICE INC	
08.01.2017	0:00:00	-	+	FBL	Ns, FBL ICE INC	
29.03.2017	8:17:56	-	+	FBL	CB	
	8:30:00	-	+	FBL	CB	
26.04.2017	11:07:00	-	+	MOD	AsAc, Cu	50-150 M
	11:11:26	-	+	MOD	AsAc, Cu	
	11:16:00	-	+	MOD	As, Cu	
	11:18:00	-	+	MOD		
	11:21:00	-	+	MOD		
	11:30:00	-	+	MOD		
	14:41:39	-	+	MOD	As, Sc, MOD ICE INC	50-200
	14:45:00	-	+	MOD	As, Sc, MOD ICE INC	
	15:00:00	-	+	MOD	As, Sc, MOD ICE INC	
28.04.2017	10:58:20	-	+	MOD	As, CB, FBL ICE INC	360-1200
	11:00:00	-	+	MOD	As, CB, FBL ICE INC	360-1200
	11:15:00	-	+	MOD	As, CB, FBL ICE INC	
28.05.2017	6:56:19	-	+	FBL	Sc	
	7:00:00	-	+	FBL	Sc	
	7:01:00	-	+	FBL	Sc	
	7:02:00	-	+	FBL	Sc	
31.05.2017	12:52:00	-	+	MOD	As, Ac, Sc	0-150
	13:00:00	-	+	MOD	As, Ac, Sc	
	13:15:00	-	+	MOD	As, Ac, Sc	
13.07.2017	8:30:00	-	+	MOD	Ci, Ac, Cu, MOD TURB	

Продолжение приложения А1

27.08.2017	3:56:00	-	+	MOD	Frnb, CB, SHRA, BR	150-300
	4:00:00	-	+	MOD	Frnb, CB, SHRA, BR	
	4:15:00	-	+	MOD	Frnb, CB, SHRA, BR	
	4:24:00	-	+	MOD	Frnb, CB, SHRA, BR	
	4:28:00	-	+	MOD		
30.08.2017	16:22:32	-	+	MOD	As, Sc	0-300
	16:30:00	-	+	MOD	As, Sc	
	16:54:26	-	+	MOD	As, Sc	0-300
	17:00:28	-	+	MOD	Sc	
	17:06:32	-	+	MOD	CB	
02.09.2017	0:11:57	-	+	MOD	As, Ac, Sc, CB	0-170
	0:23:12	-	+	MOD	As, Ac, Sc, CB	
	0:30:00	-	+	MOD	As, Ac, Sc, CB	
	2:16:51	-	+	MOD	Sc, CB	0-300
	2:30:00	-	+	MOD	Sc, CB	0-300
	2:42:00	-	+	MOD	Sc, CB, Frnb	
	2:43:00	-	+	MOD	Sc, CB, Frnb	
	4:43:07	-	+	MOD	Sc, CB, Frnb	0-10 (взлёт)
	4:45:32	-	+	MOD	CB, Frnb	
	5:00:00	-	+	MOD	CB, Frnb	
	8:51:54	-	+	MOD	Sc, CB	0-70
	9:00:00	-	+	MOD	Sc, CB	
29.09.2017	8:57:00	-	+	MOD	Sc, CB	
	9:00:00	-	+	MOD	Sc, CB	
07.11.2017	23:58:00	-	+	MOD	CB	0-600
08.11.2017	0:00:00	-	+	MOD	CB	
	0:17:00	-	+	MOD	CB	
	0:47:39	-	+	MOD	CB	0-600
	0:51:00	-	+	MOD	CB	
	1:00:00	-	+	MOD	CB	
	1:15:00	-	+	MOD	CB	