

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

Кафедра метеорологических прогнозов

Направление подготовки 05.03.04 «Гидрометеорология»

Отчёт о проведении производственной практики (НИР)

**Анализ условий образования сдвига ветра на аэродроме города
Архангельск (Талаги)**

Студента очной формы обучения

4 курса, группы ГМ-Б18-1

Нестеровой Анжелины Олеговны

Руководитель

Волобуева Ольга Васильевна

доцент кафедры

метеорологических прогнозов

Санкт-Петербург

2021

Оглавление

Термины и определения	3
Перечень сокращений и обозначений	4
Введение.....	5
1. Сдвиг ветра. Общие положения.....	6
1.1. Синоптические признаки для обнаружения сдвига ветра.....	6
1.2. Метеорологические признаки распознавания сдвига ветра.....	7
1.3. Сдвиг встречного или попутного (горизонтального) ветра	8
1.4. Влияние бокового сдвига ветра	10
1.5. Сдвиг вертикальных составляющих ветра.....	11
1.6. Сдвиг ветра в области фронта порывов	12
2. Анализ условий образования сдвига ветра на аэродроме города Архангельск (Талаги).....	13
3. Анализ состояния приземного слоя по данным зондирования аэропорта города Архангельска (Талаги).....	25
Заключение	27
Список использованных источников	28

Термины и определения

В настоящем отчете о НИР применяют 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

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 настоящем отчете о НИР применяют 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

FL – flight level – эшелон полёта

Введение

Главная задача метеорологического обслуживания авиации – это обеспечение и повышение безопасности на протяжении всех этапов полётов, особенно наиболее уязвимых – взлёта и посадки.

Сдвиг ветра является одним из опасных природных явлений для воздушных судов, быстро возникающим и трудно определяемым. При таких этапах, как взлёт и посадка, данное явление приводит к следующим происшествиям: недолёт до взлётно-посадочной полосы или выкатывание за пределы дальнего конца полосы, выход за нижний или верхний пределы траектории начального набора высоты.

При управлении самолётом в непосредственной близости от поверхности земли экипаж должен иметь в обязательном порядке информацию о направлении и скорости ветра, а также о возможных резких изменениях этих параметров вдоль траектории движения. Отсутствие информации о резких усилениях или ослаблениях ветра до сих пор является одной из причин лётных происшествий.

Цель научно-исследовательской работы – ознакомление с резкими изменениями скорости и направлениями ветра, так называемыми, сдвигами, анализ случаев сдвига ветра на аэродроме Архангельск (Талаги).

Основные задачи – изучить метеорологические и синоптические признаки образования сдвига ветра, виды и его влияние на воздушное судно, а также создать базы данных с помощью бортовой и фактической информации.

Научно-исследовательская работа состоит из введения, терминов и определений, перечня сокращений и обозначений, первой главы – теория о сдвиге ветра, второй и третьей главы – анализа условий образования сдвига ветра на аэродроме Архангельска (Талаги) по интенсивности, по сезонам, по эшелонам, рассмотрение синоптических ситуаций, при которых возникают сдвиги ветра, анализа данных по зондированию и заключения. В списке литературы содержится семь источников, включающие учебно-научную литературу.

1. Сдвиг ветра. Общие положения

Сдвиг ветра (WS) – это изменение направления и/или скорости ветра в пространстве в районе аэродрома. Определяется как разность векторов ветра, зависящая от расположения двух точек, находящихся в пространстве. Представляет из себя невидимое и внезапное явление.

Горизонтальный сдвиг измеряется в метрах в секунду на 600 метров расстояния. Период осреднения равен 2 минутам.

В таблице 1 приведены критерии интенсивности сдвига ветра.

Таблица 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 Монреале в 1967 г. на пятой Аэронавигационной конференции. Данная классификация сформирована на том, что опасность, относящаяся к сдвигам ветра, связана с фронтами (фронты порывов при грозах и профили сильных ветров вблизи земли) [3]. Позже стало понятно, что подобный подход достаточно простой, и критерии стоит считать условными.

1.1. Синоптические признаки для обнаружения сдвига ветра

Сдвиг ветра может возникать при погоде характерной для антициклона в ночные или утренние часы: появляются условия для возникновения ночной радиационной приземной инверсии температуры.

При приближающемся к аэродрому атмосферном фронте или барической ложбине, за ночь происходит увеличение 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 так называемом верхнем слое инверсии. В случае усиления ветра вечером усиливается и турбулентность, в результате инверсия температуры не возникает, и резких вертикальных сдвигов наблюдаться не будет.

При схожести метеорологических условий сдвиги ветра всегда будут в некоторой степени больше в условиях пересечённой местности, чем над равниной. Влияние рельефа возрастает при увеличении скорости ветра. При обтекании препятствий воздушным потоком с большой скоростью 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 сдвиги ветра и турбулентность [3].

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

1.2. Метеорологические признаки распознавания сдвига ветра

Для приближённой оценки сдвига ветра на аэродромах пользуются данными шаропилотных наблюдений и анеморумбометров, установленных на мачтах или на крышах зданий вблизи аэродрома. В международной практике используют доплеровские радиолокаторы [5].

Экипаж ВС обязан знать метеорологические признаки наличия этого явления на аэродроме, чтобы избежать попадания в данную зону путём

задержки 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 аэропорта около высоких построек или холмов;
2. реакция ветровых конусов на различное направление ветра;
3. грозы: следует считать, что сдвиг ветра 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. шкваловый ворот, движущееся впереди пояса дождя и указывающее на наличие фронта порывов.

1.3. Сдвиг встречного или попутного (горизонтального) ветра

Сдвиги ветра встречного направления могут возникать вблизи земной поверхности при посадке или взлёте при градиентах, характерных для сильного ветра, 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 (усиливающем 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;



Рисунок 1 – Посадка самолёта при ослабевающем встречном ветре

2. Посадка при усиливающемся встречном ветре: 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;



Рисунок 2 – 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;



Рисунок 3 – 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.

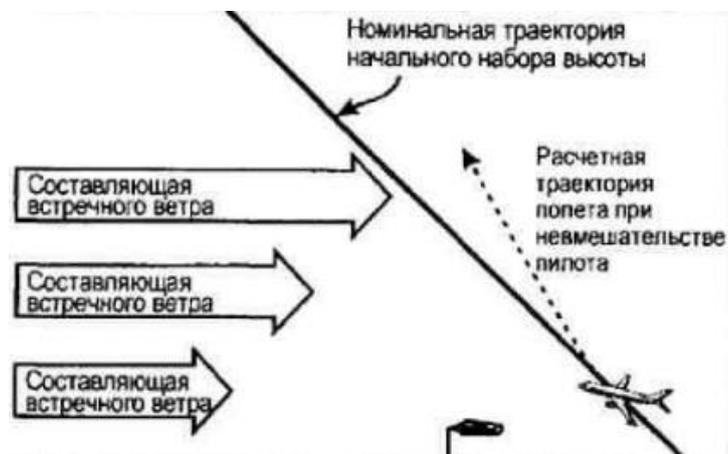


Рисунок 4 – Взлет самолёта при усиливающемся встречном ветре

1.4. 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

таким образом ВС наклоняться, 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].

1.5. Сдвиг вертикальных составляющих ветра

Сдвиг ветра будет наиболее опасен по причине быстрых изменений его вертикальных составляющих. Главная причина – 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 вдоль земной поверхности.

На рисунке 5 представлено воздействие микропорыва на ВС.

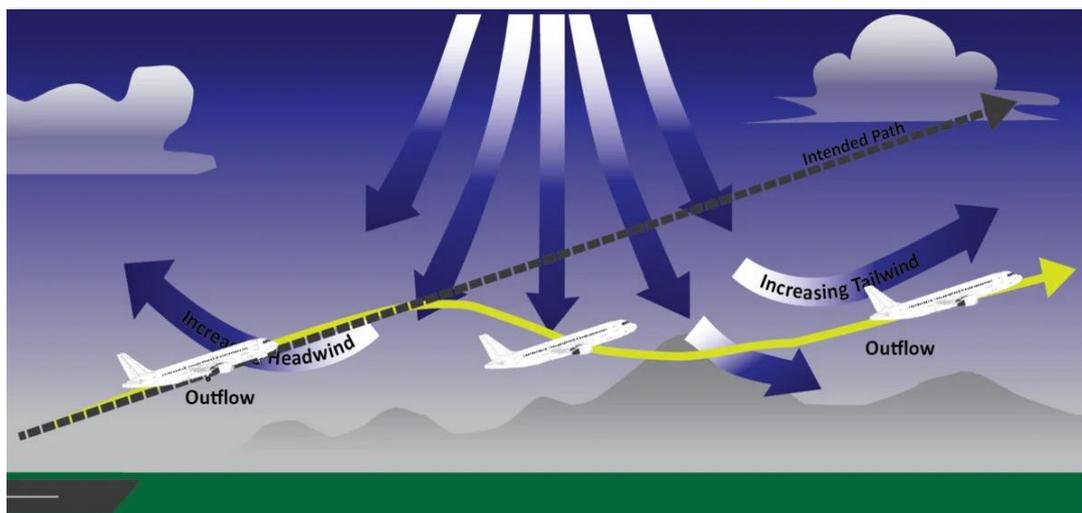


Рисунок 5 – Воздействие микропорыва на воздушное судно

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

1.6. Сдвиг ветра в области фронта порывов

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

На рисунке 6 представлен разрез фронта порывов.

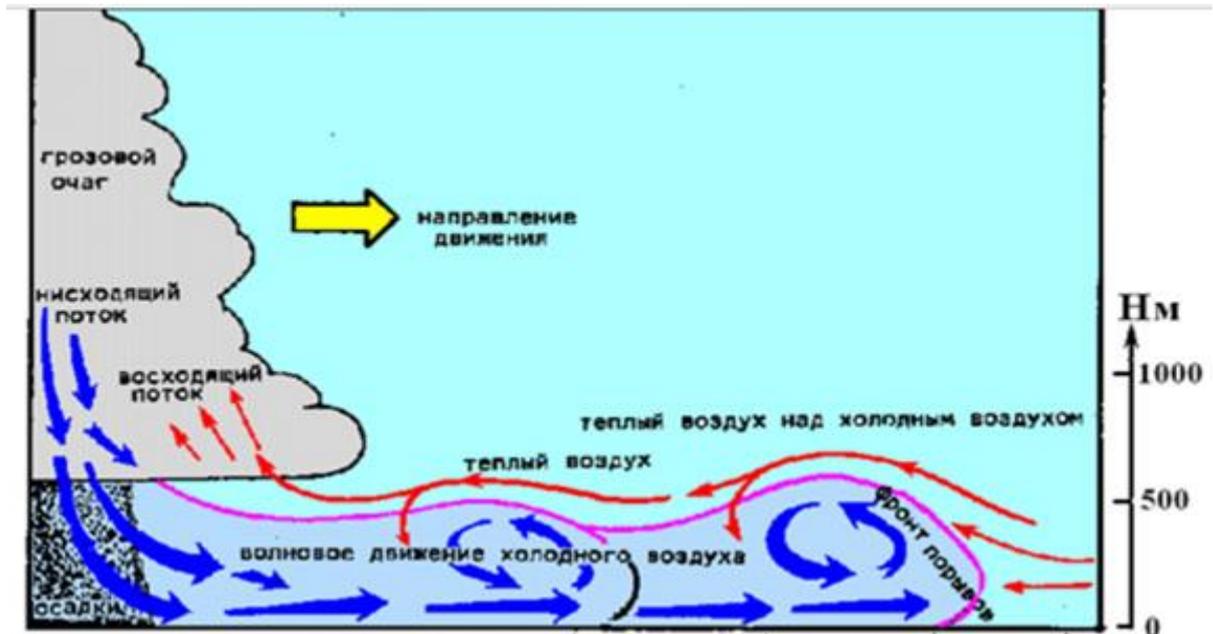


Рисунок 6 – Разрез фронта порывов

Изначально движение фронта одинаково во всех направлениях вдоль поверхности земли, но так как движется и сам грозовой очаг, то фронт порывов опережает его в том же направлении. Если холодный нисходящий поток будет достигать земли под углом, а не в прямом направлении, тогда этот процесс усилится, и 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° [3].

2. Анализ условий образования сдвига ветра на аэродроме города Архангельск (Талаги)

Для анализа 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 Белое море. Территория представляет собой обширную равнину, имеется небольшой уклон к Белому и Баренцеву морям.

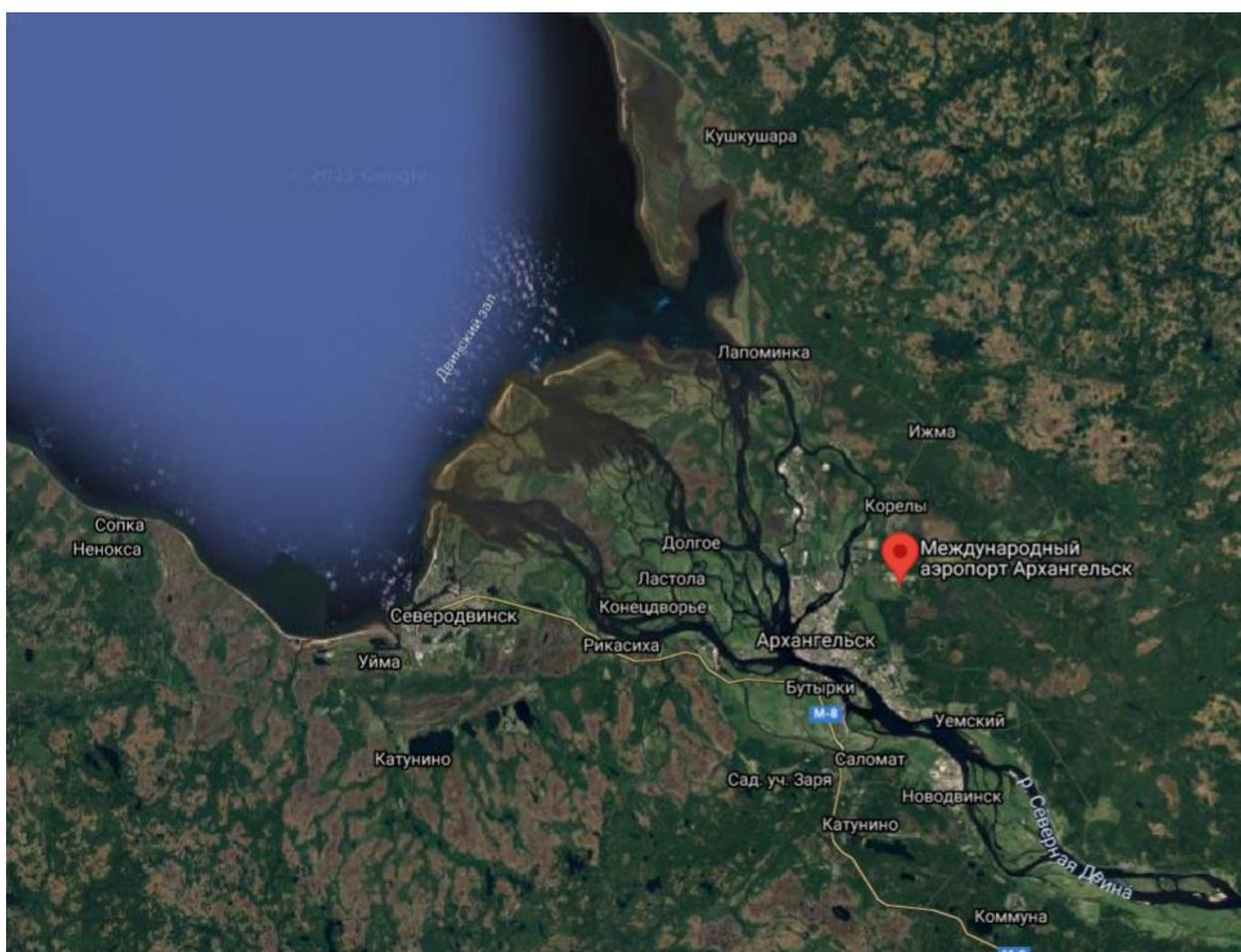


Рисунок 7 – Местоположение аэропорта на материковой карте
Архангельской области

По общим бортовым и фактическим данным были выбраны случаи сдвига ветра за период 2018-2021 гг. (табл. 2-5).

Таблица 2 – Бортовые и фактические данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2018 год

Дата	Время наблюдения	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Номер борта	Эшелон, слой
06.01.18	16:21:39	-	+	MOD	Frnb, CB, SHSN		
	16:30:00	-	+	MOD	Frnb, CB, SHSN		
	16:39:00	-	+	MOD	Frnb, CB, SHSN		
05.02.18	08.32	+	-	MOD	-	ULAA	FL00/005
	8:37:34	-	+	MOD	Ac		0-500 M
	9:00:00	-	+	MOD	Ac		
29.03.18	09.36	+	-	MOD	-	AFL119	SFC/FL020
	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		
30.03.18	3:57:00	-	+	FBL	Ac, Sc		
13.08.18	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		
22.08.18	12:43:00	-	+	MOD	CB		
	12:45:00	-	+	MOD	CB		
	13:00:00	-	+	MOD	CB		
08.10.18	18:37:00	-	+	MOD	-		300-600 м
	18:45:00	-	+	MOD	-		
	19:00:00	-	+	MOD	-		
22.10.18	13.14	+	-	MOD	-	AUL308	SFC/FL020
	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 наблюдаемых случаев сдвига ветра: 2 приходилось на слабую интенсивность (29 и 30 марта), на умеренную 7, сильная отсутствовала. Чаще всего сдвиги ветра приходились на утро и день, один

случай (08 октября) – вечер и также был зафиксирован ночной слабый сдвиг ветра 30 марта.

6 января по фактическим данным умеренный сдвиг фиксировался с 16:21 до 16:39 (18 минут), сопутствующие явления – разорванные дождевые и кучево-дождевые облака, дождь со снегом. 5 февраля данные имелись как с борта самолёта, так и в фактической погоде по аэродрому: по бортовым данным между двумя эшелонами сдвиг ветра наблюдался в 8:32, по фактическим данным в 8:37 в слое 0-500 м и в 9:00 UTC. Явления – высококучевая облачность.

29 марта: по бортовым данным умеренный сдвиг ветра наблюдался в 9:36 от земной поверхности до эшелона 020 (600 метров, 2000 футов) и по фактическим – с 9:33 до 10:00. На аэродроме наблюдались следующие явления погоды: высококучевая, кучево-дождевая облачность и разорванные дождевые облака, из осадков – дождь со снегом. В 10:29 от земной поверхности до эшелона 013 сдвиг ветра был слабым, такой же по интенсивности сдвиг фиксировался на аэродроме с 10:32 и 11:00 UTC. 30 марта на аэродроме в 3:57 сдвиг был слабым, облачность – высококучевая и слоисто-кучевая.

13 августа наблюдался умеренный сдвиг ветра. По фактическим данным продолжительность с 13:07 до 13:30, явление сопровождается высококучевыми, высокосолистыми, кучево-дождевыми облаками и грозой с дождём (к 13:30 прекратился). По бортовым данным явление наблюдалось в 16:05 в слое 100-150 м. 22 августа также отмечался умеренный сдвиг, с общей продолжительностью с 12:43 до 13:00, присутствовала кучево-дождевая облачность.

8 октября продолжительность сдвига с умеренной интенсивностью на аэродроме была с 18:37 до 19:00 [23 минуты] в слое 300-600 м. 22 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.

Таблица 3 – Бортовые и фактические данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2019 год

Дата	Время наблюдения	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Номер борта	Эшелон, слой
14.02.19	23.00	+	-	FBL	-	A1332	FL010
	23:00:00	-	+	FBL	-		
	23:15:50	-	+	FBL	-		
	23:30:00	-	+	FBL	-		
23.03.19	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
03.05.19	14.40	+	-	MOD	-	1772	SFC/F L010
	14:41:19	-	+	MOD	Ac, Sc, CB		0-30 м
	14:45:00	-	+	MOD	Ac, Sc, CB		
	15:00:00	-	+	MOD	Ac, Sc, CB		
05.05.19	06.40	+	-	FBL	-	A1338	FL003
	6:40:00	-	+	FBL	As, Ac, Sc		
	7:00:39	-	+	FBL	Sc, CB		
01.06.19	08.10	+	-	MOD	-	AFL13 32	SFC/F L020
	7:09:44	-	+	MOD	Cu		
	7:30:00	-	+	MOD	Cu		
03.08.19	23:00:00	-	+	MOD	Sc, CB, FBL ICE INC		
	23:30:00	-	+	MOD	Sc, CB, FBL ICE INC		
15.09.19	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 наблюдаемых случаев сдвига ветра: 2 приходилось на слабую интенсивность (14 февраля, 5 мая), на умеренную - 5, сильная отсутствовала. Чаще всего сдвиги приходились на утро и день, два дня (14 февраля и 03 августа) – на вечер.

14 февраля по бортовым данным явление отмечалось в 23:00 на эшелоне 010 (300 м, 1000 футов), также с 23:00 до 23:30 [30 минут] явление наблюдалось на аэродроме.

23 марта по бортовым данным явление замечено в 17:03 вместе с турбулентностью, по фактическим данным в слое от 300 до 1000 м с 17:03 до 17:30 [27 минут]. Из облачности была кучево-дождевая и разорванные дождевые облака, явления – умеренная турбулентность.

3 мая в 14:40 по бортовым данным зафиксирован умеренный сдвиг от земной поверхности до эшелона 010. 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 мая в 6:40 на борту самолёта на эшелоне 030 (900 метров, 3000 футов) и на аэродроме зарегистрирован слабый сдвиг ветра и в 7:00 только на аэродроме. 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, 2000 футов), с 7:09 до 7:30 [21 минуту] – умеренный сдвиг ветра на аэродроме с сопутствующей кучевообразной облачностью. 3 августа ночной умеренный сдвиг на аэродроме с 23:00 до 23:30, сопутствующие облака – слоисто-кучевые и кучево-дождевые, также наблюдалось слабое обледенение в облаках.

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

Таблица 4 – Бортовые и фактические данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за 2020 год

Дата	Время наблюдения	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Номер борта	Эшелон, слой
22.02.20	08.39	+	-	FBL	-	ARH119	SFC/FL020
23.04.20	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		
14.05.20	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		
16.08.20	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		
22.09.20	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		
07.11.20	18:23:00	-	+	MOD	Sc, CB, Frnb		
	18:30:00	-	+	MOD	Sc, CB, Frnb		
	18:53:04	-	+	MOD	Sc, CB, Frnb		
10.11.20	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 наблюдаемых случаев сдвига ветра: 3 приходилось на слабую интенсивность (22 февраля, 23 апреля и 10 ноября), на умеренную – 4, сильная отсутствовала. Утренние сдвиги ветра были зафиксированы 3 раза (22

февраля, 14 мая и 10 ноября), дневные – 2 раза (23 апреля и 16 августа), вечерние – 2 раза (22 сентября и 7 ноября).

22 февраля с борта самолёта в 8:39 был зафиксирован слабый сдвиг ветра от земной поверхности до эшелона 020 (600 м, 2000 футов).

23 апреля в 12:52 по бортовым данным был слабый сдвиг между двумя эшелонами 001 (30 метров, 98 футов) и 006 (180 метров, 590 футов). По аэродрому явление наблюдалось с 12:49 до 13:00 [11 минут] между 0-200 метров с сопровождающимися облаками слоисто-кучевой и кучево-дождевой формы. 14 мая наблюдался умеренный сдвиг ветра в 7:46 на эшелоне 030 (900 метров, 3000 футов) 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 августа в 12:55 между земной поверхностью и эшелонем 020 (600 метров) зафиксирован умеренный сдвиг ветра вместе с умеренной турбулентностью. По аэродрому явление наблюдалось с 12:52 до 13:12 [20 минут], присутствовала слоисто-кучевая облачность и умеренная турбулентность.

22 сентября в 18:30 от земной поверхности до эшелона 002 (60 метров) зарегистрирован умеренный сдвиг ветра. На аэродроме наблюдался с 18:33 до 19:00 [27 минут]. В облаках было умеренное обледенение, облачность – высококучевая, слоисто-кучевая и кучево-дождевая. 7 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 ноября в 9:00 по бортовым данным был слабый сдвиг совместно с умеренной турбулентностью. По аэродрому слабый сдвиг ветра наблюдался с 9:00 до 9:30 [30 минут] вместе с умеренной турбулентностью, высококучевой и слоисто-кучевой облачностью.

Таблица 5 – Бортовые и фактические данные по сдвигу ветра на аэродроме г. Архангельска за январь-апрель 2021 года

Дата	Время наблюдения	Бортовая	Фактическая	Интенсивность	Сопутствующие явления	Номер борта	Эшелон, слой
24.02.	19:22:00	-	+	MOD	Sc, CB		0-150
	19:28:00	-	+	MOD	Sc, CB		
	19:30:00	-	+	MOD	Sc, CB		
02.03.	18:33:36	-	+	MOD	Sc		
	19:00:00	-	+	MOD	Sc		
10.04.	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 4 месяца 2021 года из 3 наблюдаемых случаев сдвига ветра: 0 приходилось на слабую интенсивность, на умеренную 2 (24 февраля, 3 марта), и на сильную 1 случай (10 апреля). Утренний сдвиг ветра был зафиксирован 1 раз (10 апреля), вечерние – 2 раза (24 февраля и 2 марта).

24 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 марта с 18:33 до 19:00 [27 минут] наблюдался умеренный сдвиг ветра, сопутствующая слоисто-кучевая облачность.

10 апреля был зафиксирован сильный сдвиг ветра с 8:36 до 9:00 [24 минуты] при слоисто-кучевой и кучево-дождевой облачности.

В таблице 6 представлены данные по количеству различной интенсивности сдвига ветра за 2018, 2019, 2020 и 2021 годы.

Таблица 6 – Количество случаев сдвига ветра по интенсивности

Интенсивность сдвига ветра	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г. (январь-апрель)	Общее количество	Повторяемость, %
<i>Слабая</i>	2	2	3	0	7	27
<i>Умеренная</i>	7	5	4	2	18	69
<i>Сильная</i>	0	0	0	1	1	4
<i>Итого</i>	9	7	7	3	26	100

По таблице 6 можно увидеть, что количество сдвигов ветра со слабой интенсивностью за исследуемый период составляет 7 случаев, учитывая, что за январь-апрель 2021 года ни одного случая слабого сдвига не зафиксировано. Умеренная интенсивность в общей сумме составляет 18 случаев, уменьшая от 2018 к 2021 году. Сильная была зафиксировано только в апреле 2021 года.

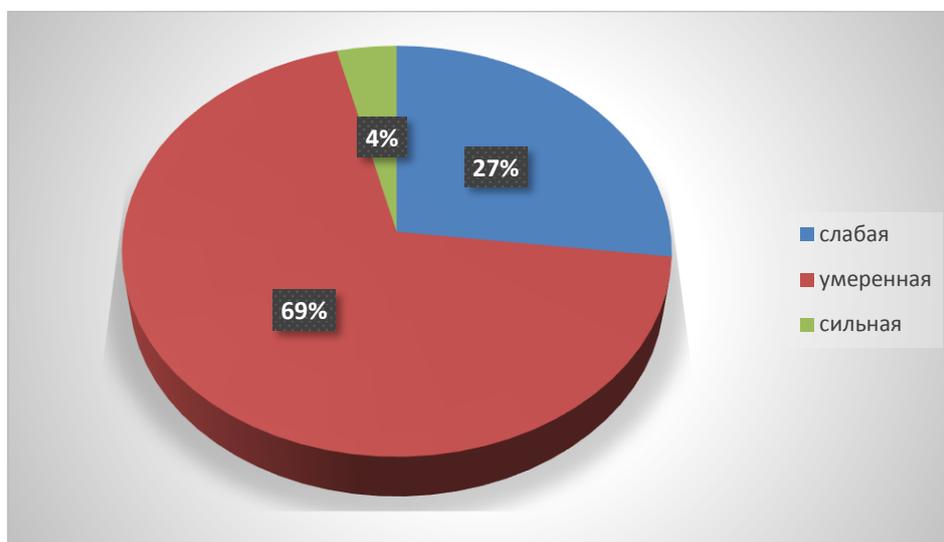


Рисунок 8 – Повторяемость случаев сдвига ветра по интенсивности на аэродроме г. Архангельск (Талаги) за период 2018-2021 гг.

На диаграмме (рис. 8) видно, что за период 2018-2021 гг. наибольшую повторяемость имел умеренный сдвиг ветра (69%), затем слабый (27%) и единственный случай был зафиксирован с сильным по интенсивности сдвигом ветра – (4%).

Таблица 7 – Количество случаев сдвига ветра по сезонам

Интенсивность сдвига ветра	Зима	Весна	Лето	Осень	Общее количество
<i>Слабая</i>	2	4	0	1	7
<i>Умеренная</i>	3	5	5	5	18
<i>Сильная</i>	0	1	0	0	1
<i>Итого</i>	5	10	5	6	26
<i>Повторяемость, %</i>	19	38	19	23	100

По таблице 7 видно, что наибольшее количество случаев сдвига ветра было весной (10 случаев), 6 случаев – осенью и по 5 случаев – зимой и летом.

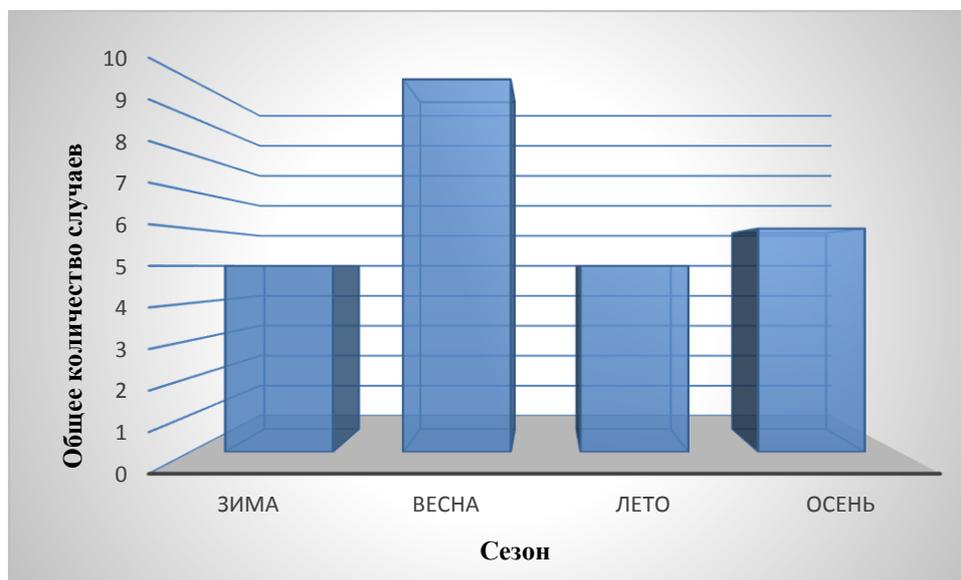


Рисунок 9 – Повторяемость случаев сдвига по сезонам ветра на аэродроме г. Архангельск (Талаги) за период 2018-2021 гг.

Исходя из гистограммы (рис. 9) видно, что наибольшая повторяемость случаев сдвига ветра по сезонам была весной за промежуток с 2018 по 2021

(январь-апрель) гг., а наименьшая – зимой и летом. Наибольшее количество сдвигов ветра весной обуславливается тем, что активизируются синоптические процессы, устойчивые воздушные массы сменяются неустойчивыми, тёплый воздух начинает с океана начинает смещаться на охлаждённую поверхность.

Таблица 8 – 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>	7	-	-	-	27
<i>Умеренная</i>	18	1	-	-	69
<i>Сильная</i>	1	-	-	-	4
<i>Итого</i>	26	1	0	0	100

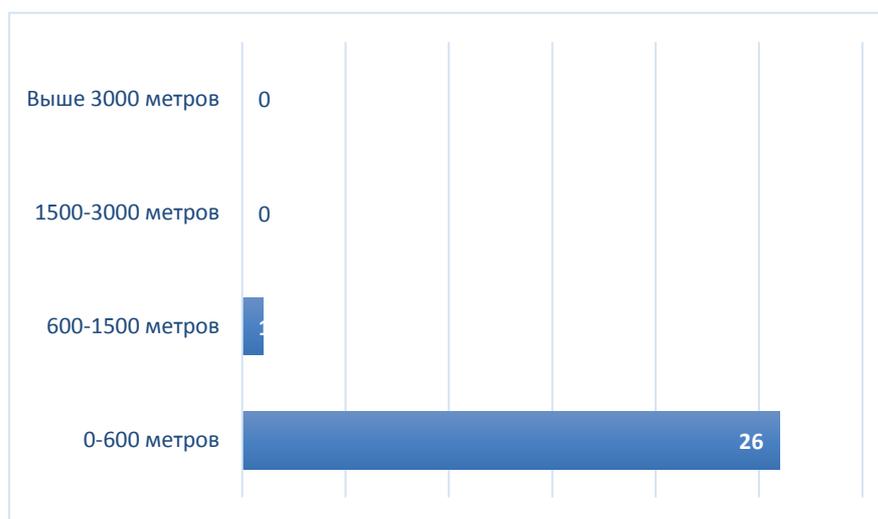


Рисунок 10 – Повторяемость случаев сдвига по эшелонам на аэродроме г. Архангельск (Талаги) за период 2018-2021 гг.

Сдвиги ветра в большей степени наблюдались (рис. 10) 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.

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 9 и рис. 11.

Таблица 9 – Типовые синоптические ситуации при возникновении сдвига ветра на аэродроме г. Архангельск (Талаги)

<i>Синоптическая ситуация</i>	<i>Количество случаев</i>	<i>Повторяемость, %</i>
<i>Ложбина</i>	<i>15</i>	<i>58</i>
<i>Тёплый фронт</i>	<i>1</i>	<i>4</i>
<i>Холодный фронт</i>	<i>2</i>	<i>8</i>
<i>Тыловая часть циклона</i>	<i>2</i>	<i>8</i>
<i>Гребень</i>	<i>6</i>	<i>22</i>
<i>Итого</i>	<i>26</i>	<i>100</i>

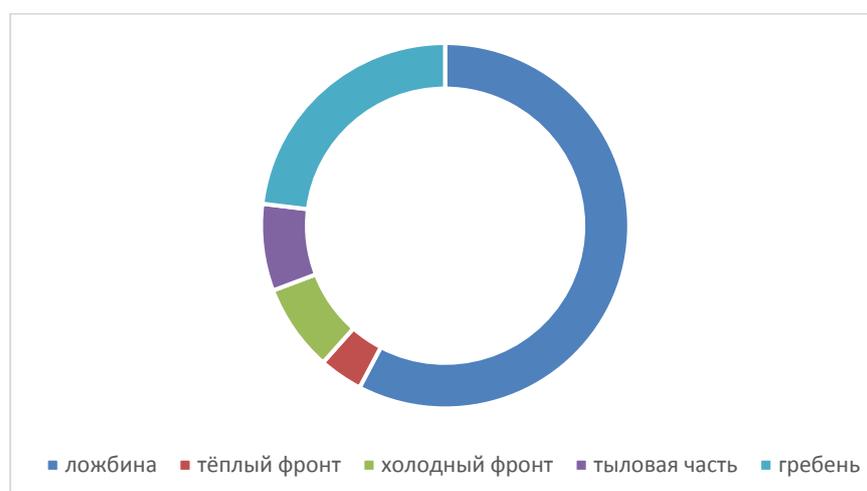


Рисунок 11 – Повторяемость случаев сдвига по синоптическим ситуациям на аэродроме г. Архангельск (Талаги) за период 2018-2021 гг.

По таблице 9 и рисунку 11 видно, что наибольшее количество сдвигов ветра наблюдалось в барических ложбинах (15 случаев), 6 случаев было на гребнях антициклонов, по два случая – на холодном фронте и в тыловой части циклона, и один сдвиг ветра возник на тёплом фронте.

Большое количество сдвигов ветра в ложбинах обусловлено изменениями градиента давления. На холодном фронте и в тыловой части циклона сдвиги ветра могут возникать из-за изменений направления ветра, при прохождении конвективной системы.

3. Анализ состояния приземного слоя по данным зондирования аэропорта города Архангельска (Талаги)

По выбранным случаям сдвига ветра за 2018-2021 гг. были проанализированы данные по зондированию от земной поверхности до высоты 600 метров.

Таблица 10 – Инверсии приземного слоя

Дата	Состояние приземного слоя	Разность высот /мощность инверсии (верхняя и нижняя границы слоя инверсии) [м]	Температура [°C]	Направление и скорость ветра
29.03.2018 [09:33-11:00]	инверсия	658 (6-664)	6	275°-290°, 4-7 м/с
22.08.2018 [12:43-13:00]	инверсия	362 (185-547)	2.5	45°-59°, 2-3 м/с
03.05.2019 [14:40-15:00]	инверсия	159 (6-165); 99 (501-600)	3.2	110°-138°, 2-9 м/с; 186° -190°, 23 м/с
01.06.2019 [7:09-8:10]	инверсия	365 (6-371)	2	240° -250°, 2-13 м/с
03.08.2019 [23:00-23:30]	инверсия	140 (6-146)	0.6	20° -28°, 3-6 м/с

29 марта 2018 г. наблюдалась инверсия мощностью 658 метров, направление ветра изменялось от 275° до 290°, скорость – от 4 до 7 м/с.

22 августа 2018 г. – инверсия, мощность 362 метра, направление ветра изменялось от 45° до 59°, скорость ветра – 2-3 м/с.

3 мая 2019 г. – две инверсии: первая инверсия наблюдалась мощностью 159 метров, направление ветра – от 110° до 138°, скорость – 2-9 м/с; вторая – 99 метров, направление ветра от 186° до 190°, скорость – 23 м/с.

1 июня 2019 г. – инверсия, мощность составляла 365 метров, направление – 240° -250°, скорость – 2-13 м/с.

3 августа 2019 г. – инверсия, мощность составляла 140 метров, направление ветра – 20°-28°, скорость ветра – 3-6 м/с.

При анализе данных зондирования было выявлено 5 случаев инверсий с 2018 по 2021 г. По причине запуска радиозондов только два раза в сутки [в 00 UTC и 12 UTC], время зондирования может не совпадать со временем наличия инверсии, когда были зафиксированы сдвиги ветра.

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 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.

В представленной работе, исходя из бортовых и фактических данных с аэродрома Талаги г. Архангельска, были созданы таблицы по количеству случаев сдвига ветра по интенсивности (таблица 6), по сезонам (таблица 7) и по эшелонам (таблица 8). По интенсивности больше всего наблюдался умеренный сдвиг (69%), чаще в весеннее время (38%) и в промежутке между земной поверхностью и 600 м [SFC/FL030] (69%).

Также были проанализированы синоптические карты для выявления синоптических ситуаций, в которых возникают сдвиги ветра. В большей степени сдвиги ветра наблюдались в барических ложбинах (58%) и на гребнях антициклонов (22%), меньше при прохождении фронтов и тыловой части циклонов.

Процесс запросов бортовой погоды до настоящего времени остаётся актуальным, так как позволяет уточнять погодные условия по маршруту и на всех этапах полёта.

Список использованных источников

1. Архив синоптических карт:
http://www1.wetter3.de/archiv_dwd_dt.html
2. Богаткин О.Г. Основы авиационной метеорологии. Учебник. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2009. – 339 с.
3. Богаткин О.Г. Практикум по курсу «Основы авиационной метеорологии». – СПб.: изд. РГГМУ, 2009. – 136 с.
4. Карта зондирования. <http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html>
5. Позднякова В.А. Практическая авиационная метеорология. Учебное пособие для лётного и диспетчерского состава ГА. – Екатеринбург: Уральский УТЦ ГА, 2010. – 113 с.
6. Сафонова Т.В. Авиационная метеорология: учеб. пособие/ Т.В. Сафонова. – Ульяновск: УВАУ ГА, 2005. – 215 с.
7. Шакина Н.П., Иванова А.Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации. – М.: Триада лтд, 2016. – 312 с.