



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: «Условия образования сдвига ветра на аэродроме Кневичи
(г. Владивосток)»

Исполнитель Ежкова Юлия Сергеевна
(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)

«04» июня 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Содержание	
Сокращения	3
Введение	4
1. Глава. Сдвиг ветра как опасное явление для ВС.	6
1.1. Виды сдвига ветра.....	7
1.2. Системы обнаружения сдвигов ветра на аэродроме.	13
1.3. Бортовое оборудование, предупреждающее о возникновении сдвига ветра.....	15
2. Глава. Специфика расположения аэродрома Кневичи, местные климатические и циркуляционные особенности.....	18
2.1. Физико-географические особенности расположения аэродрома Владивостока (Кневичи).	18
2.2. Краткая климатическая характеристика на аэродроме Владивостока (Кневичи).	20
2.3. Циркуляционные особенности района аэродрома Владивостока (Кневичи).	21
3. Глава. Результаты исследования сдвига ветра на аэродроме Владивосток (Кневичи).	25
3.1. Годовой ход СВ, распределение явления по интенсивности и по эшелоном.	26
3.2. Типовые синоптические ситуации при возникновении СВ, а также в его отсутствие.....	32
3.3. Исследование зависимости явления сдвига ветра от других факторов	46
3.4. Разбор примеров случаев СВ на аэродроме Кневичи	59
Заключение	72
Список использованной литературы.....	74

Сокращения

ВМ – воздушная масса

ВПП – взлетно-посадочная полоса

ВС – воздушное судно

СВ – сдвиг ветра

ХФ – холодный фронт

WS – wind shear (сдвиг ветра)

Введение

В современных условиях быстро развивается техника, совершенствуется структура всех отраслей производства и, соответственно, с этим растут запросы к службе прогнозов.

При управлении самолетом на малой высоте экипажу необходимо учитывать не только текущую скорость и направление ветра, но и возможные резкие колебания этих параметров по траектории полета. Самолет проходит приземный слой атмосферы настолько быстро, что ограниченный запас высоты, скорость и приемистость двигателей не оставляют пилоту достаточно времени для реакции на внезапные порывы ветра. Во многих авиационных инцидентах именно отсутствие данных о резких изменениях ветровой нагрузки становилось ключевым фактором происшествий [6].

С 1943 года резкие изменения ветра на малых высотах неоднократно становились причиной авиационных катастроф и инцидентов, в которых погибло свыше 1400 человек [1].

Поэтому метеоспециалистам для составления точных прогнозов и предупреждения сдвига ветра, авиадиспетчерам и пилотам для своевременного распознавания сдвига ветра и предотвращения авиакатастроф необходимы знания о его распределении относительно времен года, повторяемости сдвига ветра при различных синоптических ситуациях.

В целях обеспечения безопасности полётов требуется уделять большее внимание прогнозу сдвига ветра, выявлять благоприятные условия для его возникновения в период взлета и захода на посадку воздушного судна, изучать предикторы, говорящие о возникновении явления сдвига ветра.

Также правильное и умелое использование метеоинформацией о сдвигах ветра позволить потребителям получить максимальный экономический эффект - сократить экономические затраты в связи с уходом воздушных судов на запасные аэродромы.

Таким образом главная цель данной работы - изучить условия, при которых чаще всего возникает сдвиг ветра на аэродроме Кневичи и выявить список предикторов, с помощью которых можно будет с большей точностью прогнозировать возникновение данного опасного явления.

Исходя из цели работы были составлены следующие цели:

1. Сформировать архив данных.
2. Проанализировать повторяемость возникновения сдвигов ветра при различных условиях.
3. Выявить при каких синоптических ситуациях данное явление возникает чаще.
4. Составить список предикторов для прогнозирования сдвига ветра на аэродроме Кневичи.

Работа по изучению условий образования сдвига ветра на аэродроме Кневичи состоит из четырех глав. Первая глава представляет собой теоретическую часть – определение сдвига ветра, его виды, опасность данного явления для ВС, а также системы обнаружения сдвига ветра на аэродроме и бортовое оборудование ВС, предупреждающее о возникновении данного явления. Вторая глава состоит из подглав, в которых изложены физико-географическое расположение, климатическая характеристика и циркуляционные особенности аэродрома. Третья глава содержит непосредственно процесс исследования: описание графиков с повторяемостями сдвига ветра при различных условиях, выявление закономерностей. Четвертая глава – список предикторов возникновения сдвига ветра, составленный на основе выводов из исследований.

1. Глава. Сдвиг ветра как опасное явление для ВС.

Сдвиг ветра определяется как векторная разность векторов ветра, измеренная в двух точках. Она отражает изменение скорости и направления ветра при перемещении от одной точки к другой. [4]

Часто о сдвиге ветра говорят упрощенной формулировкой – это изменение скорости и/или направления ветра на очень небольшом расстоянии. [2]

Вертикальный сдвиг ветра β определяет изменение вектора ветра с высотой. Данное значение может быть рассчитано по формуле (1):

$$\beta = \frac{|\Delta v|}{\Delta z} \quad (1)$$

где $\Delta v = |v_{\text{в}} - v_{\text{н}}|$ - модуль векторной разности векторов ветра на верхнем уровне $v_{\text{в}}$ и нижнем уровне $v_{\text{н}}$, м/с; Δz - толщина рассматриваемого слоя, м. [4]

Сдвиг ветра всегда присутствует при турбулентности, но может происходить без нее [6].

Сдвиг ветра — одно из наиболее опасных для авиации явлений. Он может наблюдаться на всех уровнях атмосферы, но возникновение данного явления на нижних уровнях имеет особое значение для ВС, т.к. существенно может повлиять на характеристики полета при взлете и посадке [3].

На этапах набора высоты и захода на посадку скорость и высота полета воздушного судна близки к критическим значениям, что делает воздушное судно особенно чувствительным к неблагоприятному воздействию явления сдвига ветра. Реакция воздушного судна на сдвиг ветра чрезвычайно сложна и зависит от многих факторов, например таких как: тип воздушного судна, фазу полета, масштаб, в котором действует сдвиг ветра относительно размера воздушного судна, а также интенсивность и продолжительность встречного сдвига ветра. Следует отметить, что сдвиг ветра всегда присутствует в

турбулентном воздухе, но сдвиг ветра может происходить и без турбулентности [3].

Воздушное судно проходит нижний слой атмосферы так быстро, что ограниченная высота, скорость и приемистость двигателей не оставляют пилоту возможности своевременно компенсировать резкий сдвиг ветра. Внезапное ослабление или усиление ветра нередко приводило к изменению взлётно-посадочных характеристик, становясь причиной авиационных происшествий [2].

Изменение скорости и направления ветра (его встречной и/или попутной составляющих) во время взлёта напрямую влияет на аэродинамическую подъёмную силу. Резкое уменьшение встречного потока или рост попутного ветра снижают скорость, создавая риск потери подъёмной силы и возможного падения ВС.

В то же время при посадке изменение ветра критически влияет на траекторию: если встречный ветер ослабевает - самолет летит ниже рассчитанной глиссады, рискуя коснуться земли до пересечения взлетно-посадочной полосы. Если же ветер неожиданно усиливается - воздушное судно взмывает выше глиссады, что может привести к тому, что самолет пролетит выше заданной траектории и поздно приземлится [3].

1.1. Виды сдвига ветра.

По пространственной ориентации

1. Горизонтальный сдвиг ветра — это изменение скорости и/или направления ветра на одном и том же уровне (изменение ветра на 600 м по горизонтали) [3]. Например: сдвиг ветра при переходе через фронтальную зону.

2. Вертикальный сдвиг ветра определяется как изменение горизонтального направления и/или скорости ветра с высотой (изменение

ветра на 30 м по вертикали) [3]. Такой сдвиг ветра наиболее опасен при взлёте и посадке.

3. Сдвиг ветра восходящими и нисходящими потоками — это изменение вертикальной скорости ветра в соседних воздушных потоках. Этот тип сдвига часто встречается при конвективной (кучево-дождевой Сb) активности [3].

По изменяемому параметру

1. Сдвиг скорости ветра – резкое усиление или ослабление скорости без значимого изменения направления.

2. Сдвиг направления ветра – резкий разворот ветра при относительно постоянной скорости.

3. Комбинированный сдвиг – одновременное изменение и скорости, и направления (наиболее опасный вариант).

По интенсивности

1. Слабый (0,0-2,0 м/с на 30 м/600 м) – минимальное влияние на ВС.

2. Умеренный (2,1–4,0 м/с на 30 м/600 м) – требует повышенного внимания экипажа.

3. Сильный (4,1–6,0 м/с на 30 м/600 м) – существенно усложняет пилотирование.

4. Очень сильный (более 6,0 м/с на 30 м/600 м) – критически опасен, особенно на малых высотах.

По условиям образования

1. Сдвиг ветра, связанный с грозами. Когда прогнозируются грозы (кучево-дождевые облака - Сb), пилотам следует знать о возможности значительного сдвига ветра. Мощно-кучевые облака (ТСu) также могут создавать аналогичные эффекты сдвига ветра. Сдвиг ветра между соседними

восходящими и нисходящими потоками в таких облаках может вызвать сильную турбулентность. Опасность заключается в двух аспектах:

- Конструкция воздушного судна может подвергнуться серьезным нагрузкам;
- Резкие изменения положения воздушного судна могут привести к сваливанию или другим состояниям, при которых попытка восстановления на траекторию глissады может превысить ограничения воздушного судна, обусловленные его конструкцией.

Нисходящий поток воздуха из облака может вызвать разрушительный ветер на земле и вблизи нее. Термин "микровзрыв" используется для описания нисходящего порыва, который наносит ущерб на площади с горизонтальными размерами менее четырех километров. Микровзрывы (микропорывы) — это наиболее сильная форма сдвига ветра, вызванная облачностью кучевых и мощно-кучевых форм. Если это происходит над аэродромом, при посадке или взлете самолета могут возникнуть сильные встречные ветры, затем сильные нисходящие потоки, за которыми последуют сильные попутные ветры. Микровзрывы могут быть влажными (т.е. сопровождаться осадками) или сухими [3].

2. Сдвиг ветра при фронте порывов. Фронт порывов ветра — это явление, при котором передний край потока холодного воздуха, выходящего из Сб, после того как нисходящий поток достигает земли и распространяется во всех направлениях, подрезает окружающий теплый воздух. В этом отношении он напоминает неглубокий холодный фронт, за исключением того, что связанный с ним сдвиг ветра, как правило, намного сильнее во фронте порывов. Фронт порывов первоначально распространяется по земле равномерно во всех направлениях. Однако, если само кучевое облако движется, как это обычно бывает, фронт порывов ветра продвигается дальше и быстрее всего опережает облако в направлении его же движения. После прохождения передней кромки фронта на уровне земли наблюдается заметный горизонтальный сдвиг ветра, и поскольку фронт может находиться на

расстоянии десятков километров от основного очага шторма, такое внезапное изменение приземного ветра может застать пилотов врасплох. Изменение направления приземного ветра часто достигает 180 градусов, а скорость порывистых ветров после прохождения фронта может превышать 50 узлов (25,7 м/с) [3].

3. Сдвиг ветра, связанный с фронтальными системами. Фронтальные системы состоят из воздушных масс различной температуры, разделенных узкой зоной, называемой фронтальной зоной - областью, где наиболее вероятно возникновение сдвига ветра, существенного для авиации. Вертикальный сдвиг ветра возникает на холодном фронте и позади него, и поскольку фронтальная зона обычно отклоняется назад с увеличением высоты, высота над определенным местом, в котором наблюдается максимальный вертикальный сдвиг ветра, будет увеличиваться со временем после прохождения холодного фронта в этом месте. На уровне земли также наблюдается горизонтальный сдвиг ветра по фронту, хотя, учитывая обычную скорость перемещения фронтов по аэродрому, он может быть кратковременным [3].

4. Сдвиг ветра, связанный с морскими бризами. Морской бриз по своей природе представляет собой неглубокий холодный фронт, поскольку более холодный воздух вытесняет более теплый. Сдвиг ветра происходит преимущественно на поверхности вдоль передней кромки, когда фронт проникает вглубь материка, хотя на более высоких уровнях наблюдается сдвиг ветра меньшей силы. Сила морского бриза в любом конкретном месте в значительной степени зависит от окружающего рельефа и, следовательно, может носить локальный характер. Если преобладающий ветер дует с берега, фронт морского бриза может быть обозначен линией сближения и интенсивной конвекцией, которая при благоприятных обстоятельствах вызывает ливневые дожди или даже грозы [3].

5. Сдвиг ветра, связанный с фрикционным сдвигом приземных ветров. В нижних слоях атмосферы действуют силы трения, которые

направляют воздушный поток к нулю на поверхности. Это может привести к значительным различиям между скоростью приземного ветра и скоростью ветра на более высоких уровнях. Результирующая интенсивность сдвига может быть выше на равнинной и открытой местности, чем на более пересеченной, поскольку более шероховатые и грубые поверхности создают турбулентность на большей глубине [3].

6. Сдвиг ветра, связанный с сильными температурными инверсиями. Сдвиг трения усиливается, когда ветры нижнего уровня отделяются от ветров верхнего уровня из-за ночных радиационных инверсий. Такие инверсии могут почти полностью перекрыть нисходящую передачу импульса горизонтального ветра в пограничный слой, что приводит к большим различиям между поверхностным потоком (который может быть слабым или даже спокойным из-за эффектов трения) и потоком над инверсией. Самолет, снижающийся по заданной траектории, пройдет через зону турбулентности, прежде чем столкнется с резким снижением или увеличением подъемной силы и скорости полета. Температурные инверсии более выражены при ясном небе, а сдвиг ветра наиболее силен на высоте инверсии. Когда инверсия очень сильная, за ночь могут образоваться низкоуровневые струи. Скорость струи может быть увеличена перед приближением холодного фронта, а также с наветренной стороны от таких препятствий, как холмы и откосы. Инверсия эффективно защищает поток выше от поверхностного трения, позволяя увеличить скорость ветра в узкой полосе вблизи вершины инверсии, при этом приземные ветры будут очень слабыми или вовсе равными нулю. Направление ветра по долинам и оврагам может привести к аналогичным последствиям в местном масштабе [3].

7. Сдвиг ветра, связанный с препятствиями. Сильные приземные ветры, дующие над препятствиями (такими как большие здания, невысокие холмы или близко посаженные высокие деревья) с подветренной стороны аэродрома, могут создавать локальные зоны горизонтального сдвига ветра на взлетно-посадочной полосе. В таких условиях сдвиг обычно сопровождается

турбулентностью при ясном небе (ТЯН). Влияние, которое препятствия оказывают на преобладающий поток ветра, зависит от ряда факторов, наиболее важными из которых являются скорость ветра и его направление относительно препятствия, а также масштаб препятствия по отношению к размерам взлетно-посадочной полосы. Такой сдвиг ветра, который обычно является очень локализованным, неглубоким и турбулентным, представляет большую опасность для легких воздушных судов, эксплуатируемых на небольших аэродромах, но, как известно, также влияет на более крупные воздушные суда. Там, где вдоль взлетно-посадочной полосы проходит ряд невысоких холмов, длина полосы может быть недостаточной для отвода воздушного потока вверх по течению от нее, но в результате того, что воздушный поток направляется вверх по полосе, воздушный поток приобретает компенсирующую вертикальную составляющую вниз по течению, которая, в зависимости от близости холмов к ВПП, может вызвать локальные низкоуровневые нисходящие потоки вдоль полосы. Если холмы или горы достаточно высоки, чтобы отклонять низкоуровневый поток ветра, приземный ветер может направляться вдоль ВПП [3].

8. Сдвиг ветра, связанный с роторами в подветренных волнах (с горными волнами). Когда ветровой поток проходит через горный хребет, в ветровом потоке на подветренной стороне гор может образовываться серия стационарных волн. Метеорологические условия, наиболее подходящие для образования подветренных волн, включают:

- устойчивый слой воздуха, зажатый между двумя менее устойчивыми слоями, один из которых находится у земли, а другой - на более высоком уровне;
- ветер со скоростью более 25 узлов (12,8 м/с), дующий в пределах 30 градусов по обе стороны от линии, перпендикулярной линии горного хребта.;
- незначительный сдвиг направленного ветра в устойчивом слое или его полное отсутствие;

- заметный средний перепад давления на уровне моря по ту сторону горного барьера.

Если возникающие подветренные волны имеют достаточную амплитуду, под гребнем волны может образоваться замкнутый вихревой поток. В экстремальных условиях такой ротор может опускаться до уровня земли и изменять направление преобладающего приземного ветра непосредственно под ротором. Такие стационарные волновые системы создают заметные нисходящие потоки вблизи горы, а также нисходящие потоки меньшей величины на некотором значительном расстоянии с подветренной стороны от горы во вторичных и третичных волнах [3].

9. Сдвиг ветра, связанный с вихревым следом. За каждым летательным аппаратом в полете возникает сдвиг ветра, в основном в виде вихрей на концах крыльев, образующих две вращающиеся в противоположных направлениях цилиндрические вихревые трубы, тянущиеся за концами крыла. Такие вихри очень сильны, особенно когда они возникают на больших широкофюзеляжных реактивных самолетах. Вихри, возникающие при взлете воздушного судна, могут представлять значительную опасность для воздушного судна, следующего позади за ним слишком близко. Авиационные диспетчерские службы применяют соответствующие минимальные значения эшелонирования, чтобы свести к минимуму риск столкновения ВС с вихревым следом предыдущего ВС [3].

1.2. Системы обнаружения сдвигов ветра на аэродроме.

Для повышения качества метеорологического обслуживания полетов и повышения уровня авиационной безопасности на аэродроме Кневичи (аэропорт Владивосток) были внедрены лидарные ветровые профилометры ПЛВ-300, оснащенные операторскими мониторами [5].

Данное оборудование было установлено в рамках мероприятия «Техническое перевооружение авиационного метеорологического центра

Владивосток, аэропорт Владивосток (Кневичи)», входящего в Федеральную целевую программу «Модернизация Единой системы организации воздушного движения в Российской Федерации (2009-2020 годы)». В рамках программы ПЛВ-300 были установлены всего на двух аэродромах России – на аэродроме города Владивостока и а аэродроме города Сочи. В октябре 2024 года установка ПЛВ-300 была демонтирована и отправлена в город Санкт-Петербург в целях произвести ремонт и доработать несовершенства системы.

Профилометр лидарный ветровой ПЛВ-300 является базовой компонентой системы мониторинга сдвига ветра на малых высотах вблизи аэродрома. Его функция заключается в оперативном дистанционном определении скорости и направления ветра на заданных высотах с последующей передачей и визуализацией данных на удаленном рабочем месте оператора (АРМ) [5].

Принцип работы ПЛВ-300 основан на эффекте Доплера: лазерный зондирующий сигнал с фиксированной частотой, рассеиваясь на атмосферных частицах (аэрозолях и молекулах), движущихся с ветровым потоком, изменяет свою частоту. Это изменение частоты отраженного сигнала (доплеровский сдвиг) и служит основой для измерений [5].

Параметры ветра (скорость и направление) на различных высотах определяются автоматически путём обработки сигналов, полученных при зондировании атмосферы в трёх разных пространственных ориентациях [5].

Профилометр лидарный ветровой ПЛВ осуществляет пространственно-временное усреднение оптического сигнала с последующим его преобразованием в цифровой формат. Полученные данные обрабатываются встроенным процессором по специальному алгоритму и передаются на монитор оператора (внешняя ПЭВМ). На мониторе операторского компьютера отображаются обработанные данные, включающие скорость, направление и вертикальное распределение ветра в диапазоне высот от 3 до 300 метров. Интерфейс позволяет управлять режимами работы прибора и визуализировать результаты измерений. Дополнительно предусмотрена

возможность печати и архивации метеоданных с помощью периферийных устройств ПЭВМ [5].

1.3. Бортовое оборудование, предупреждающее о возникновении сдвига ветра.

За последние два десятилетия прогресс в этой области был обеспечен двумя ключевыми факторами. Начиная с 1987 года, значительные успехи были достигнуты в создании как наземного, так и бортового оборудования для обнаружения сдвига ветра и предупреждения о данном опасном явлении. Особенно заметным стал прорыв в развитии доплеровских радиолокационных станций (РЛС) и доплеровской технологии обработки сигналов, что позволило создать высокоэффективные наземные системы, специализированные для обнаружения и/или предупреждения о сдвигах ветра. Похожие разработки также сделали возможным появление бортовых систем переднего обзора, отвечающих эксплуатационным требованиям к бортовому оборудованию [1].

О распознавании сдвига ветра из кабины экипажа: его можно определить по показаниям бортовых приборов, а на оснащенных соответствующим оборудованием ВС - по данным бортовых систем сигнализации о сдвиге ветра. Наиболее эффективно выявлять сдвиг ветра по изменениям параметров бортовых приборов при заходе на посадку помогает пилотирование в устойчивом режиме. Такой режим предполагает поддержание максимально постоянных значений воздушной скорости, скорости снижения (вертикальной скорости) и угла тангажа, что позволяет пилоту оперативно заметить любые аномальные отклонения этих параметров [1].

Техника устойчивого захода заключается в раннем выходе на глиссаду в посадочной конфигурации с последующим точным поддержанием заданных скорости, тангажа и вертикальной скорости за счет плавной работы рычагами тяги и рулем высоты вплоть до начала выравнивания. При несоблюдении такого режима пилотирования обнаружить тонкие изменения параметров,

вызванные сдвигом ветра, становится крайне сложно - различимы лишь самые значительные отклонения. По сути, все зависит от профессионального мастерства пилота. Однако отработанные навыки устойчивого пилотирования могут дать критически важные секунды для реакции при встрече со сдвигом ветра, поэтому их следует формировать с самых первых этапов летного обучения [1].

Признаки сдвига ветра, определяемые по приборам. Пилот может идентифицировать сдвиг ветра по следующим ключевым параметрам:

- резкие изменения воздушной скорости;
- отклонения от глиссады;
- колебания вертикальной скорости (скорости набора высоты/скорости снижения);
- неожиданные изменения величины тяги.

Особое внимание следует уделять показателям тяги - их значительные колебания при сохранении глиссады часто становятся первым индикатором сдвига ветра. Этот параметр особенно важен при использовании автомата тяги.

Дополнительными индикаторами могут служить:

- резкие отклонения от заданной траектории (по вариометру);
- показания глиссадного радиомаяка;
- данные высотомера;
- сигналы системы предупреждения о сближении с землей;
- информация бортового метеорадара (для обнаружения зон конвективной облачности).

На ВС, оборудованных системой предупреждения о сдвиге ветра, пилот получает дополнительные данные для оценки ситуации. При обнаружении любых признаков сдвига ветра на заключительных этапах захода или посадки необходимо оперативно принять решение о продолжении захода или уходе на второй круг. При подготовке к взлету решение о старте должно учитывать внешние признаки сдвига ветра. Важным индикатором может служить

неожиданный рост воздушной скорости во время разбега - в этом случае следует рассмотреть возможность прерывания взлета, особенно на ранних его стадиях [1].

Бортовые системы предупреждения о сдвиге ветра — важные компоненты системы безопасности полетов. Они помогают пилотам избежать опасных ситуаций, вызванных резким изменением скорости и направления ветра, особенно на малой высоте во время взлета и посадки.

На борту самолета сдвиг ветра определяется как изменение скорости и/или направления ветра на небольшом расстоянии или в короткий промежуток времени. Он может быть обнаружен с помощью различных бортовых систем, например, систем предупреждения о сдвиге ветра (WINDSHEAR) и систем прогнозирования сдвига ветра (PWS).

Системы предупреждения о сдвиге ветра (WINDSHEAR) используют информацию о текущих параметрах полета самолета (скорость, угол атаки, вертикальная скорость и т.д.) и ускорениях для оценки уровня энергии самолета. Если уровень энергии падает ниже заданного порогового значения, то система генерирует предупреждение о сдвиге ветра.

Системы прогнозирования сдвига ветра (PWS) используют данные о скорости ветра, собранные метеорологическими радарными, для прогнозирования сдвига ветра. Например, некоторые самолеты (например, B777 Series) используют системы, которые собирают данные о скорости ветра от метеорологического радара и определяют наличие сдвига ветра.

Бортовые системы оповещения о сдвиге ветра (например WTWS) предоставляют пилотам информацию о опасных погодных явлениях в режиме реального времени, включая сдвиг ветра. Они также передают эту информацию авиадиспетчерам для принятия более точных решений.

2. Глава. Специфика расположения аэродрома Кневичи, местные климатические и циркуляционные особенности.

Аэродром Кневичи (Международный аэропорт Владивосток) имеет уникальную географическую специфику, которая влияет на уровень безопасности проведения полетов. Климат Приморского края сложен, он характеризуется умеренным муссонным типом с ярко выраженной сезонностью, обусловленной взаимодействием континентальных и океанических воздушных масс. Данные факты в совокупности порой дают непредсказуемые погодные явления. В следующих подглавах будут подробно описаны географическое расположение аэродрома, климатическая характеристика и циркуляционные особенности.

2.1. Физико-географические особенности расположения аэродрома Владивостока (Кневичи).

Физико-географические особенности Дальнего Востока оказывают влияние на циркуляционные процессы в атмосфере, что в свою очередь определяет погодные условия на аэродромах Дальнего Востока.

На Приморский край физико-географические особенности оказывают сильное влияние, т.к. сказывается непосредственная близость к Тихому океану и рельеф местности вдоль восточных берегов Азии: горный хребет Сихотэ-Алинь. Над Приморским краем преобладает гористый рельеф. Горная система хребта Сихотэ-Алинь массивен: в его пределах нет крупных внутригорных впадин, но и небольших впадин мало. Многочисленные хребты отделены друг от друга только речными долинами. К западу от горной системы Сихотэ-Алинь раскинулась Уссурийско-Ханкайская равнина. С севера она ограничена небольшим Самурским хребтом, подходящим вплотную к пойме реки Уссури, близь границы Приморского и Хабаровского краев. С востока и юго-востока равнина окаймлена многочисленными отрогами хребтов Сихотэ-Алинь. На

юге равнина соединена с долиной реки Суйфуна и протягивается к заливу Петра Великого. С запада её ограничивают отроги Восточно-Маньчжурской горной системы.

Аэродром Владивосток (Кневичи) расположен в котловине, в северной части полуострова Муравьев-Амурский, который омывается на западе водами Амурского залива с бухтой Угловая, а на востоке водами Уссурийского залива.

Рельеф местности в радиусе 5-20 км от аэропорта - горный, за исключением западных районов (рельеф холмистый). На расстоянии 15-20 км к северу от аэропорта расположена горная местность, переходящая дальше в изрезанное плато с высотами от 300 до 700 м, на расстоянии 10-15 км к западу сопки высотой 100-400 м, на расстоянии 6-8 км к югу - сопки высотой 150-485 м. В основном это юго-западные отроги горного массива Сихотэ-Алиня, покрытые лесом. Горы расчленены многочисленными узкими и глубокими долинами.

На севере и юго-западе расположены предгорные равнины: Ханкайская и Артемовская с холмисто-увалистым рельефом. Равнины изрезаны густой сетью рек и ручейков. К западу от аэродрома находится холмистая, местами заболоченная местность. Окружающие аэродром возвышенности защищают его от морских туманов, приносимых ветрами южных направлений. Расположение аэродрома в котловине способствует образованию дымок в зимнее время.

Распространению летних морских туманов в район аэродрома способствуют долины рек Раздольное и Артемовка, протекающие соответственно в 30 км к западу и 15-20 км к востоку от аэропорта. К западу в 2-х км от летного поля протекает небольшая река Болотная, которая существенно влияет на влажностные характеристики аэродрома.

Поверхность летного поля аэродрома ровная, почва почти глинистая. На летном поле имеется искусственная взлетно-посадочная полоса (бетонная

ИВПП). Взлетно-посадочная полоса ориентирована с северо-востока на юго-запад.

2.2. Краткая климатическая характеристика на аэродроме Владивостока (Кневичи).

Аэропорт Владивосток (Кневичи) расположен в муссонной области умеренного климата, для которой характерна сезонная смена воздушных течений, возникающих под влиянием термических контрастов между континентом и океаном, а также изменений в местоположении Тихоокеанского антициклона и тропосферных фронтов (Полярного и Арктического).

Средняя месячная температура воздуха дает общее представление о температурном режиме в аэропорту и является хорошей сравнительной характеристикой. В отдельные годы средние месячные температуры отличаются от средних многолетних значений. Наименее устойчива температура воздуха в апреле. Наибольшее изменение температуры от мая к июню связано с резким уменьшением притока прямой солнечной радиации вследствие увеличения облачности.

Средняя многолетняя годовая температура воздуха по данным за период 1966-1980 гг. равнялась $+5,0^{\circ}\text{C}$., за период 1990-1998гг, 2000г $+5,1^{\circ}\text{C}$, за период 2004-2008гг $+5,1^{\circ}\text{C}$, а средняя многолетняя температура воздуха за период с 2017-2021гг. составила $+5,9^{\circ}\text{C}$. Максимальные средние месячные температуры за указанный период наблюдений на $1-2^{\circ}\text{C}$ выше «нормальных». В целом в многолетнем ходе температуры воздуха отмечается тенденция к постепенному увеличению температуры.

Самым холодным месяцем в году является январь. Абсолютный минимум отмечался в январе и составлял за период 1990-1998г, 2000г – минус 36°C , за период 2004-2008г - минус $34,4^{\circ}\text{C}$, за период 2013-2017г составил минус $32,6^{\circ}\text{C}$, за период 2017-2021г составил минус 34°C .

Средняя месячная температура воздуха самого холодного месяца января за период 1990-1998, 2000гг составляла минус 14,5°С, за период 2004-2008гг минус 13,8°С, за период 2013-2017гг. минус 13,5°С, за период 2017-2021гг. минус 12,7°С. (табл.14).

Самым теплым месяцем в году по средним значениям за многолетний период 1990-1998гг, 2000гг являлся август плюс 21,0°С, за период наблюдений 2004-2008гг средняя температура воздуха в августе составляла плюс 21,4°С, за пятилетний период 2013-2017гг средняя температура воздуха в августе составила плюс 21,3°С. В период 2017-2021гг самый теплый месяц – июль (температура составила плюс 21,5°С)

Абсолютный максимум температуры за период 2017-2021гг отмечался в июле и составил плюс 35,0°С. За период 1990-1998, 2000гг отмечался также в июле и составил плюс 36°С, а за период 2004-2008гг отмечен в августе – плюс 33,1°С.

Заморозки. По средним датам заморозки отмечались в первых числах октября 2-3 числа, однако, в пятилетнем периоде 2013-2017гг ранний заморозок был отмечен 30 сентября 2014 года и по продолжительности составлял не более 3-х часов. В период 2017-2021гг первый заморозок был отмечен в ноябре

Оттепели. В течение всего холодного периода с ноября по март в Приморском крае и на аэродроме Владивосток (Кневичи) отмечаются оттепели. Чаще всего они отмечаются в начале и конце холодного сезона. При оттепелях температура воздуха в отдельные годы может повышаться до плюс 4,9°С. В период 2017-2021гг самая продолжительная оттепель на аэродроме до 9 часов, отмечалась в марте.

2.3. Циркуляционные особенности района аэродрома Владивостока (Кневичи).

Между процессами тропосферы и стратосферы существует тесная взаимосвязь. Но главная роль в развитии процессов все же принадлежит

тропосфере. Атмосферные вихри начинают развиваться в приземном слое и, при соответствующих условиях, вовлекают в систему своей циркуляции вышележащие слои воздуха. Циклоническая и антициклоническая циркуляции постепенно распространяются на всю тропосферу и нижние слои стратосферы.

В данной работе рассматривалась структура термобарического поля на изобарических поверхностях до 1500 гПа, т.к. проводился анализ сбора данных о вертикальном сдвиге ветра и архив данных бортовой погоды на этапах полёта на заходе на посадку и при взлете ВС. Наиболее сложный в системе пилотирования считаются этапы захода на посадку и взлета ВС и, особенно, при неблагоприятных и опасных метеорологических явлениях.

Атмосферная циркуляция является одним из климатообразующих факторов. Климат Приморского края, особенно его восточные и южные районы, относятся к муссонной области умеренного пояса. Здесь характерна сезонная смена воздушных течений, возникающих под влиянием термических контрастов между континентами и океаном, а также, изменения в местоположении тихоокеанского антициклона, тропосферных фронтов (полярного и арктического). В сентябре на Азиатском континенте (над территорией Монголии) формируется область высокого давления - зимний Азиатский максимум, один из гребней азиатского антициклона направлен на Восточную Сибирь, юго-восток Китая и Приморский край. Наибольшего развития зимние процессы достигают в январе над континентальными районами. Мощная высотная фронтальная зона (ВФЗ) формируется на границе Евразии и Тихим океаном, с которой связана исключительно активная циклоническая деятельность над дальневосточными морями северной частью Тихого океана. Центральная часть ВФЗ в среднем расположена в районе Японии. Циклоны, возникшие в области ВФЗ, быстро смещаются на северо-восток, т.е. на северо-западную часть Тихого океана и на Берингово море, где формируется Алеутская депрессия. Формирование Алеутской депрессии

начинается в конце августа и окончательно она устанавливается в сентябре-октябре.

Чаще всего в холодный период года на районы Приморского края (южные районы) выходят южные циклоны, которые возникают над Восточно-Китайским, Желтым, Японским морями и прилегающими к Японии районами Тихого океана. Циклогенез над этими районами обусловлен тем, что зимой именно здесь располагается южная часть дальневосточной высотной ложбины и сосредотачиваются наибольшие на Дальнем Востоке температурные контрасты в тропосфере. Этот район находится на границе между холодным Азиатским континентом и теплым океаном, и, кроме того, в этих широтах в зимние месяцы проходит граница между отрицательными (на севере) и положительными (на юге) значениями радиационного баланса. Направление перемещения южных циклонов определяется положением тихоокеанского гребня.

Формирование Алеутской депрессии над Беринговым морем, обусловлено влиянием главным образом циркуляционных, а также термических, динамических и орографических факторов. Таким образом в холодную половину года над Азиатским континентом и дальневосточными морями формируется два главных центра действия атмосферы - Азиатский максимум и Алеутская депрессия.

От зимы к лету происходит постепенная перестройка барического поля у земли и на высотах. Они проявляются в заметном разрушении сибирского высотного гребня и заполнении дальневосточной ложбины, тем самым давая начало формированию зонального переноса. В апреле четко проявляются черты весенней циркуляции. В мае происходит смена весенней структуры термобарического поля тропосферы на летнюю.

Характерной особенностью летней циркуляции над дальневосточными районами являются наличие поля повышенного давления над Охотским морем (Охотский антициклон) и области пониженного давления

над Приамурьем и северо-восточным Китаем (летняя дальневосточная депрессия).

Для муссонного климата Приморского края характерно малое количество осадков зимой. Сильные ветра и снегопады в Приморье связаны с прохождением глубоких циклонов и активных фронтальных разделов.

Для ветрового режима характерно преобладание в холодное полугодие ветров северного направления. Штормовые ветры северных направлений на побережье залива Петра Великого могут сохраняться до 7-10 суток.

Летом (июнь, август) характерно развитие циклонической деятельности над бассейном реки Амур и антициклогенез отмечается над Тихим океаном и дальневосточными морями. Вертикальная мощность летнего муссона меньше, чем зимнего, а распространение его вглубь территории Восточной Азии ограничено только прибрежными районами. Над Тихим океаном устанавливается обширная область высокого давления, способствующая мощному выносу воздушных масс с океана.

Осенью (сентябрь-ноябрь) происходит постепенный переход от летнего типа циркуляции к зимнему. Преобладают зональные процессы с быстрым перемещением небольших ложбин и гребней в восточном направлении.

3. Глава. Результаты исследования сдвига ветра на аэродроме Владивосток (Кневичи).

Для анализа выбран был период с 2021 по 2023 год, за это время было зафиксировано 215 случаев сдвига ветра. Сведения о сдвигах ветра на аэродроме Кневичи (г. Владивосток) были взяты с журналов фактической погоды АВ-6 (журнал авиационных наблюдений – метеодокумент, используемый для регистрации данных наблюдений за погодой на аэродромах).

После того как все данные были перенесены в программу Excel, а пропуски в графе «синоптическое положение» были заполнены с помощью архива синоптических карт с сайта ГидроМетЦентра России (meteoinfo.ru), был проведен анализ распределения и повторяемости сдвигов ветра по годовому ходу, по интенсивности и по эшелонам, на которых было зафиксировано данное явление, и другие.

ОКТАБРЬ 2021

ДАТА	ВРЕМЯ (utc)	ИНТЕНСИВНОСТЬ СДВИГА	СЛОЙ СДВИГА	СИНОПТИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ	ФАКТОРЫ СОПУТСТВУЮЩИЕ ВЕТЕР	ФАКТОРЫ СОПУТСТВУЮЩИЕ ОБЛАЧНОСТЬ	ФАКТОРЫ СОПУТСТВУЮЩИЕ ЯВЛЕНИЯ
09.10.21	03:55	WS умер	0-300 м		20006 м/с	BKN Ci	
09.10.21	23:25	WS умер	600-0 м	Холодн. фронт	21010/15 м/с	BKN Cb OVC As	Слаб. ливн. дождь умер. болтанка 600-0 м
10.10.21	01:36	WS слаб	0-1000 м	Хол. фронт	23010 м/с	BKN Cb OVC As	Слаб. ливн. дождь слаб. болтанка 0-1000 м
10.10.21	01:45	WS умер	0-1000 м	Хол. фронт	23009 м/с	SCT Cb OVC As	Слаб. болтанка 1000-300 м
16.10.21	04:17	WS умер	0-1200 м	Тыл.ч. ложб	34008/15 м/с	SCT Ac	Умер. Болтанка 0-1500 м
16.10.21	06:02	WS умер	0-500 м	Тыл.ч. ложб	33007/12 м/с	SCT Ac	Умер. Болтанка 0-500 м
17.10.21	01:48	WS умер	0-1200 м	Тыл.ч. ложб	33008/14 м/с	FEW Sc SCT Ac	Умер. болтанка 0-1200 м
28.10.21	01:18	WS умер	0-600 м	Тыл.ч. ложб	36008 mps	SCT Cb SCT Ac	
28.10.21	01:46	WS умер	0-600 м	Тыл.ч. ложб	36007 mps	FEW Sc SCT Ac	

Рис. 3.1 – Журнал АВ-6, страница с зафиксированными случаями сдвига ветра за октябрь 2021 года

3.1. Годовой ход СВ, распределение явления по интенсивности и по эшелонам.

Годовой ход (повторяемость возникновения случаев сдвига ветра по месяцам).



Рис. 3.1.1 – Повторяемость сдвигов ветра по месяцам за 2021 год



Рис. 3.1.2 – Повторяемость сдвигов ветра по месяцам за 2022 год



Рис. 3.1.3. – Повторяемость сдвигов ветра по месяцам за 2023 год

Благодаря графикам повторяемостей сдвигов ветра можно заметить, что большее количество сдвигов ветра на аэродроме Кневичи были зафиксированы в холодный период года, а именно – с октября по апрель. В теплый период года (с мая по сентябрь), соответственно, сдвигов ветра было зафиксировано намного меньше. На примере 2021 года был произведен расчет среднего значения количества зафиксированных сдвигов ветра. За период октябрь-апрель среднее значение количества случаев сдвига за месяц - 11 случаев, то же самое расчетное значение за период май-сентябрь составило 3 случая сдвига ветра в месяц.

Почему сдвиги ветра на аэродроме Кневичи (г. Владивосток) в холодный период года (с октября по апрель) происходят чаще, чем в теплое время года (с мая по сентябрь) может быть объяснено по нескольким причинам:

1. Усиление циклонической активности. Осенью и зимой над Дальним Востоком активизируются циклоны, приходящие с Тихого океана. Они вызывают резкие изменения направления и скорости ветра, что приводит к сдвигам ветра.

2. Муссонная циркуляция. Зимой действует зимний муссон – холодные сухие ветра с материка сталкиваются с более теплыми и влажными воздушными массами, образовавшимися над Японским морем. Это столкновение создает контраст температур и усиливает турбулентность, что способствует резким сдвигам ветра у поверхности земли.

3. Орографическое влияние (рельеф). Аэродром Кневичи расположен вблизи сопки. Сопки окружают аэропорт, он находится в некой котловине. Подобный рельеф может вызывать турбулентность и вихревые потоки. Зимой из-за более сильных ветров эти эффекты усиливаются, приводя к внезапным изменениям ветра у ВПП.

4. Более сильные и переменчивые ветра. В холодный период средняя скорость ветра выше, а из-за прохождения атмосферных фронтов его направление часто меняется. Например, при прохождении холодного фронта ветер может резко развернуться с южного на северо-западный, создавая опасный сдвиг для взлета и посадки.

5. Температурные инверсии. Зимой чаще возникают приземные инверсии (холодный воздух у поверхности, теплый выше), что может усиливать вертикальный сдвиг ветра.

Данный анализ дал понимание того, что чаще сдвиги ветра случаются именно в холодное время года. Для повышения безопасности проведения рейсов на аэродроме совместного базирования Кневичи (Международный аэропорт Владивосток) следует каждый год перед началом сезона с повышенной вероятностью возникновения сдвигов ветра (холодный период – с октября по апрель) проводить инструктаж о опасности данного явления, о типичных ситуациях для него, о способах своевременного распознавания явления для метеоспециалистов и членов экипажей ВС.

Распределение случаев сдвигов ветра по интенсивности.

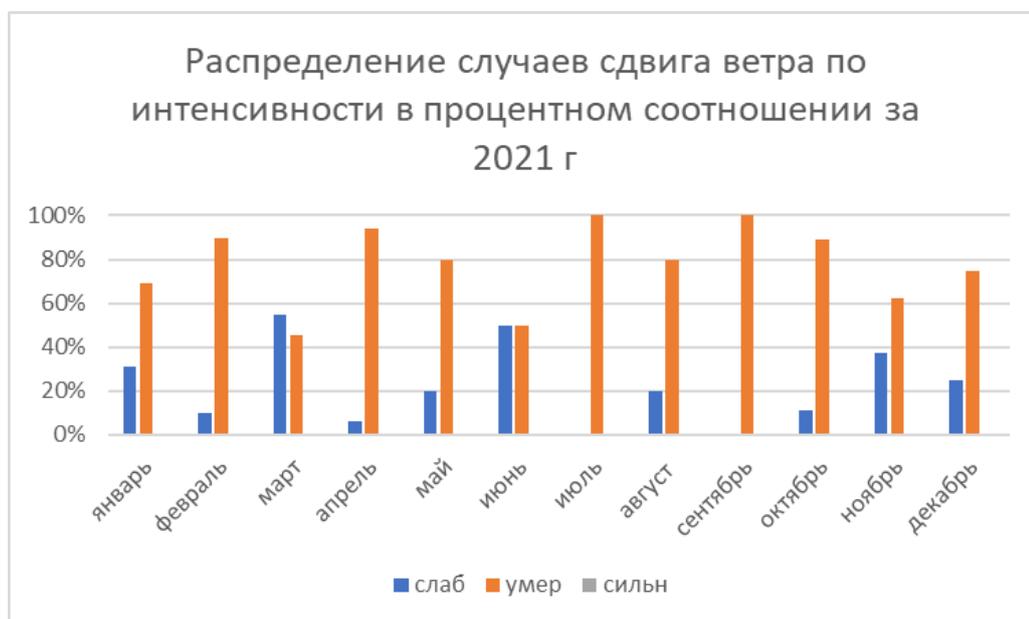


Рис. 3.1.4 – Распределение случаев сдвига ветра по интенсивности в процентном соотношении за 2021 год

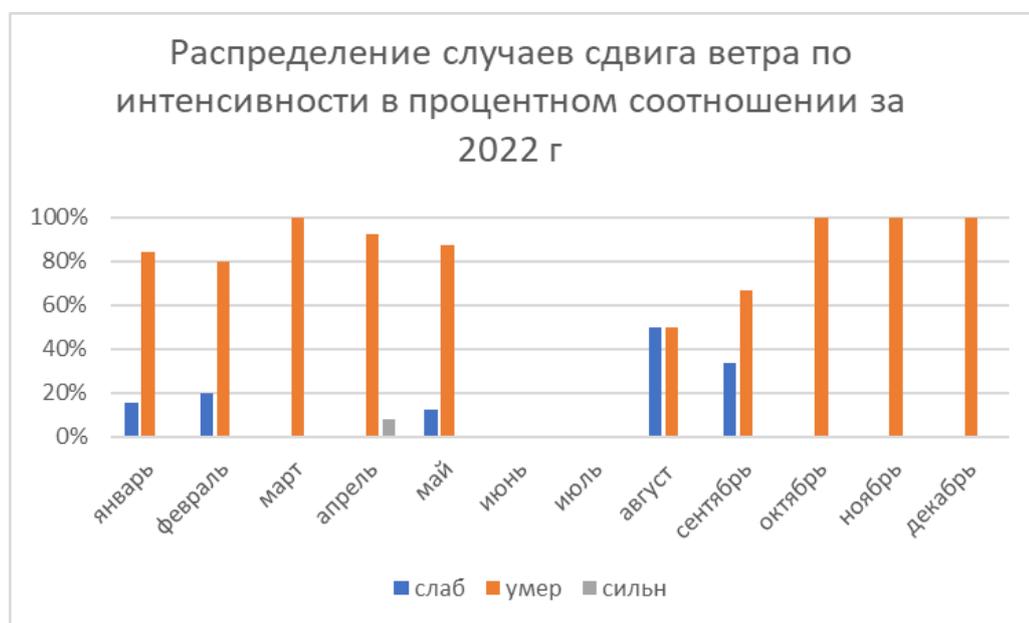


Рис. 3.1.5 – Распределение случаев сдвига ветра по интенсивности в процентном соотношении за 2022 год

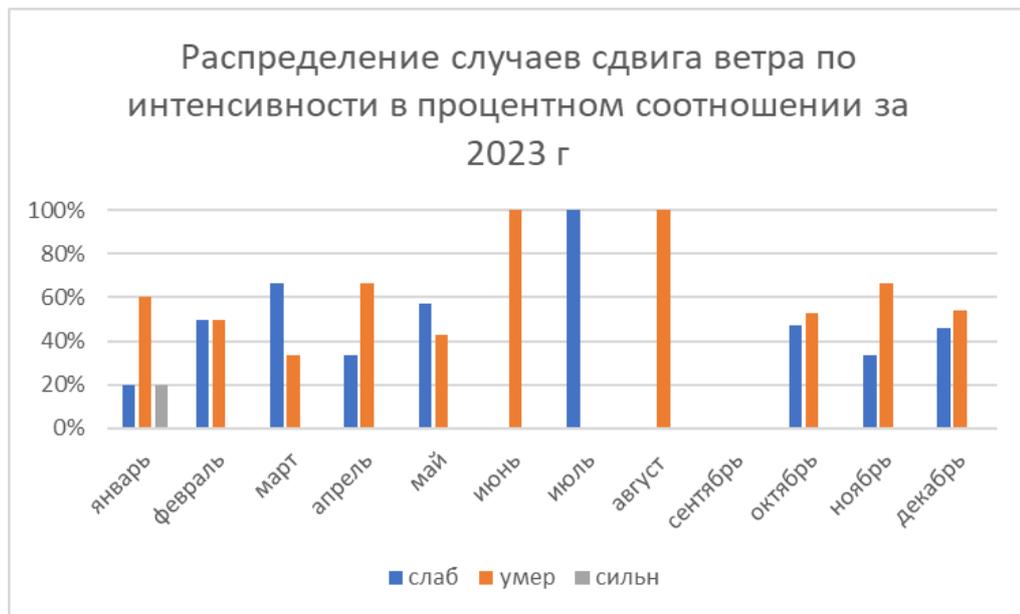


Рис. 3.1.6 – Распределение случаев сдвига ветра по интенсивности в процентном соотношении за 2023 год

Благодаря графикам распределения сдвигов ветра по интенсивности можно сделать вывод о том, что чаще всего на аэродроме Кневичи сдвиг ветра наблюдается именно умеренной интенсивности (из рассмотренных 215 случаев из них 75% сдвигов ветра были зафиксированы умеренной интенсивности). Далее частоте возникновения – сдвиг ветра слабой интенсивности (25% случаев сдвига ветра, зафиксированных со слабой интенсивностью). Меньше всего было зафиксировано случаев сдвига ветра сильной интенсивности (всего 2 случая из 215): один из них был зафиксирован 6 апреля 2022 года, другой – 23 января 2023 года. Далее случаи сдвига ветра сильной интенсивности будут рассмотрены отдельно.

Благодаря данному анализу можно сделать вывод, о том, что чаще всего сдвиг ветра встречается умеренной интенсивности. Это говорит о том, что метеоспециалистам и членам экипажей ВС, при ситуациях благоприятных для возникновения сдвига ветра, стоит быть готовым к возникновению данного явления не менее чем с умеренной интенсивностью и проводить меры предосторожности, которые смогут обеспечить безопасность не менее чем при умеренной интенсивности данного метеорологического явления.

Распределение случаев сдвига ветра по эшелонам.

Сдвиг ветра может возникать на различных высотах – как на малых, где вызвано данное явление какими-либо локальными особенностями, такими как морской бриз или обтекание рельефа (препятствий); так и на более высоких, где сдвиг ветра вызван более масштабными метеорологическими явлениями, например - складки тропопаузы.

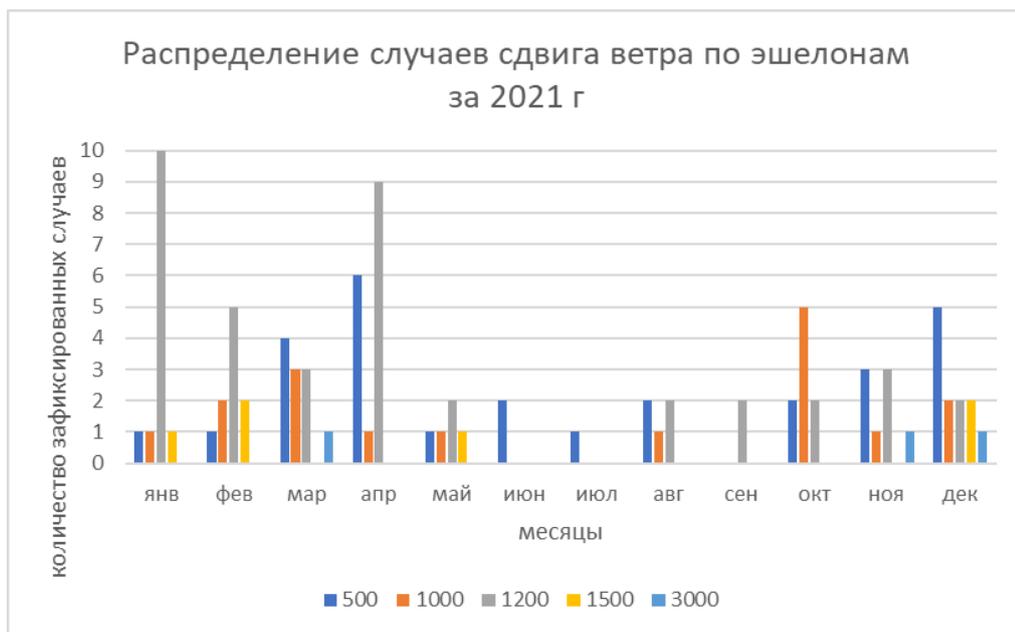


Рис. 3.1.7 – Распределение случаев сдвига ветра по эшелонам за 2021 год

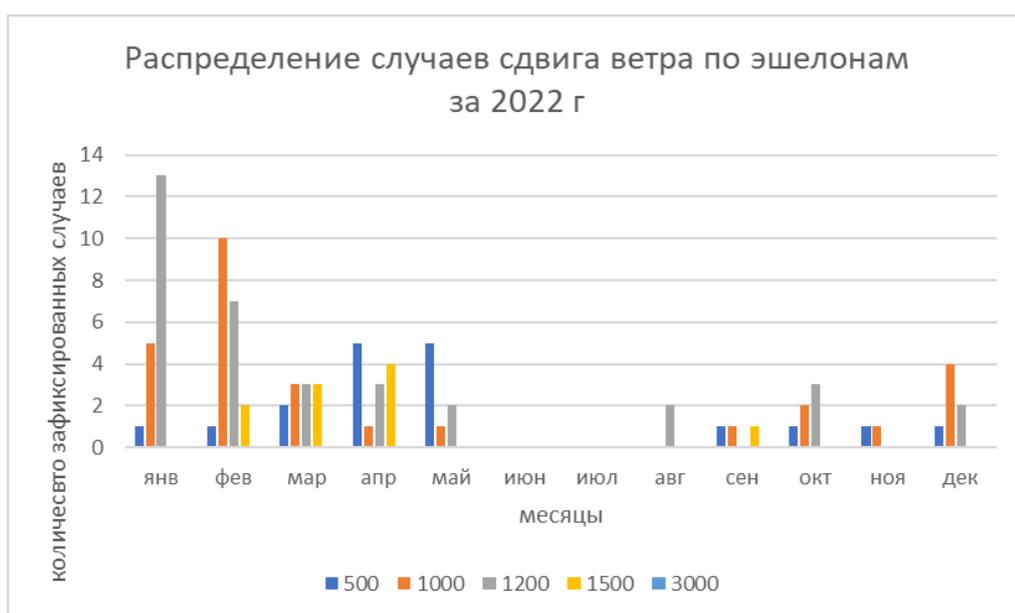


Рис. 3.1.8 – Распределение случаев сдвига ветра по эшелонам за 2022 год

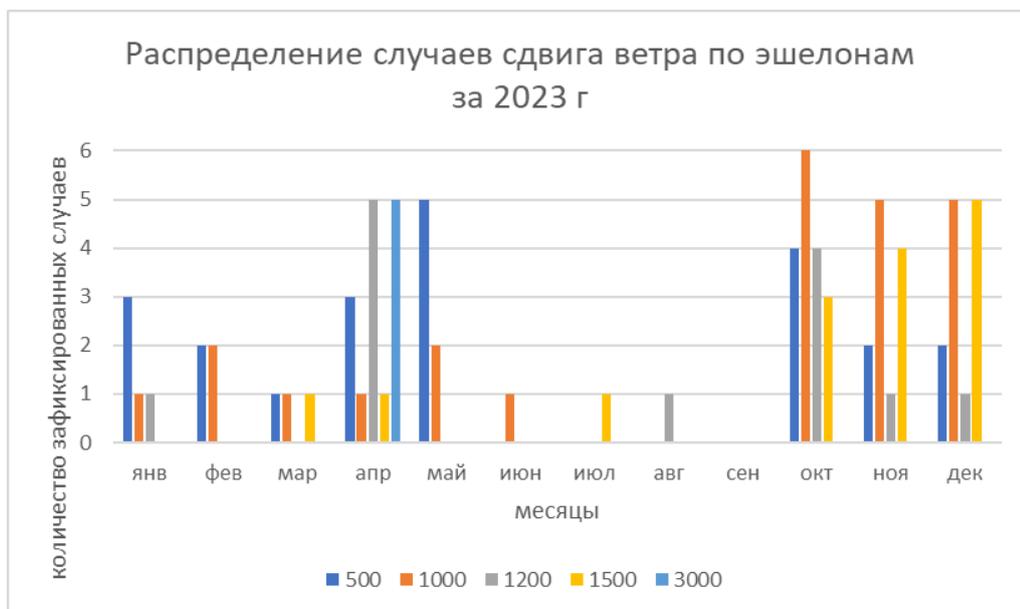


Рис. 3.1.9 – Распределение случаев сдвига ветра по эшелонам за 2023 год

Анализ данного графика позволяет сделать следующие выводы: чаще всего сдвиг ветра возникал на высотах до 500 м, до 1000 м и до 1200 м. В 2023 году еще почти также часто наблюдался сдвиг ветра до 1500 м. Сдвиг ветра на высотах более 1500 м фиксировался крайне редко. Было посчитано и выяснено, что зафиксированных случаев сдвига ветра на высотах более 1500 м всего 3% от общего количества зафиксированных случаев. Т.е., если есть опасность сдвига ветра, то стоит быть готовым к тому, что данное явление чаще всего возникает в диапазоне от 0 до 1500 м и провести соответствующие меры предосторожности.

3.2. Типовые синоптические ситуации при возникновении СВ, а также в его отсутствие.

Типовые синоптические ситуации при возникновении СВ

Для того, чтобы выяснить при каких синоптических ситуациях СВ встречается чаще всего в первую очередь необходимо произвести анализ повторяемости СВ при различных синоптических ситуациях. В ходе исследования были выделены такие синоптические ситуации, как: фронт

окклюзии/теплый/холодный, передняя/тыловая часть ложбины, передняя/тыловая часть гребня, передняя/тыловая часть циклона, ТС циклона, антициклон, седловина, размытое барическое поле.

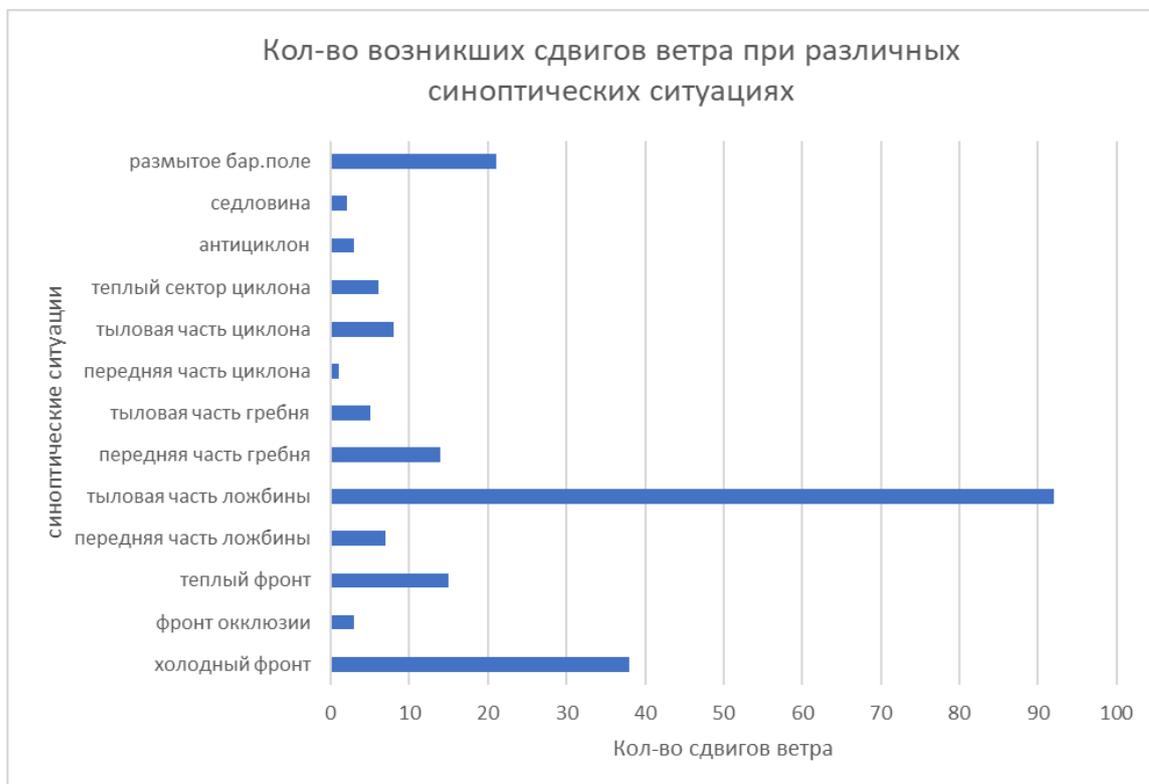


Рис. 3.2.1 – Количество возникших сдвигов ветра при различных синоптических ситуациях

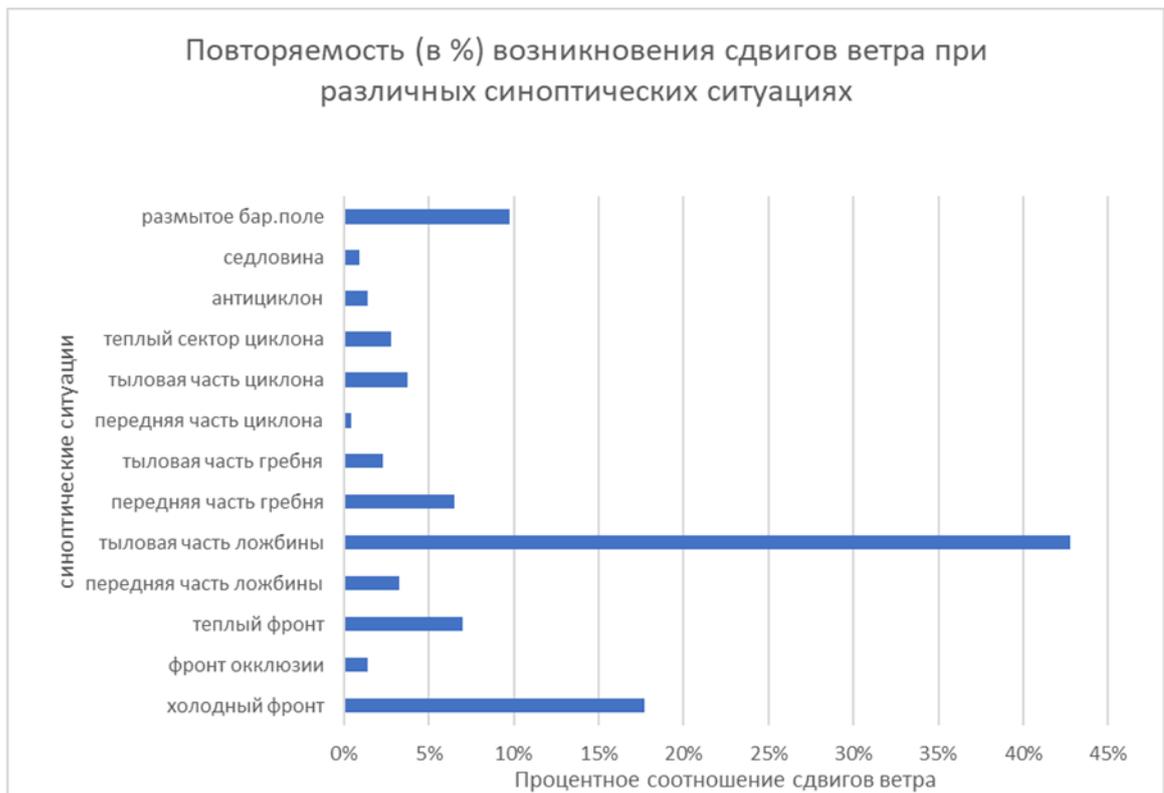


Рис. 3.2.2 – Повторяемость возникновения сдвигов ветра при различных синоптических ситуациях.

Благодаря графикам распределения случаев сдвига ветра при различных синоптических ситуациях (Рис. 3.2.1) и процентного соотношения данного распределения (Рис. 3.2.2) можно понять, что чаще всего случаи сдвига ветра на аэродроме города Владивосток происходили при таких синоптических ситуациях, как:

- Тыловая часть ложбины (92 случая из 215 или 48%);
- Холодный фронт (38 случаев из 215 или 18%);
- Размытое барическое поле (21 случай из 215 или 9%).

Анализ повторяемости возникновений сдвигов ветра при различных синоптических ситуациях дает понимание, при каких синоптических ситуациях чаще всего встречается данное опасное явление и, соответственно, что при этих синоптических ситуациях метеоспециалистам и членам экипажей ВС стоит быть особенно осторожными и тщательно следить за погодными изменениями вблизи аэродрома.

Рассмотрим подробнее распределение случаев СВ и его механизм его при каждой из трех наиболее часто встречающихся синоптических ситуаций, при возникновении случаев сдвига ветра.

Тыловая часть ложбины

Ложбина представляет собой протяжённую зону с пониженным атмосферным давлением. Конфигурация изобар в ложбине бывают двух основных типов:

1. Параллельные изобары - в этом случае ложбину также называют полосой пониженного давления или барической перемычкой;
2. V-образное расположение изобар - такая конфигурация именуется V-образной депрессией.

Первый тип ложбины образуется как переходная зона между двумя областями высокого давления. Второй тип является периферийным сектором циклона, где наблюдается искривление изобар. На высотных картах ложбина соответствует тыловой части расположенного ниже циклона или передней зоне нижележащего антициклона [7].

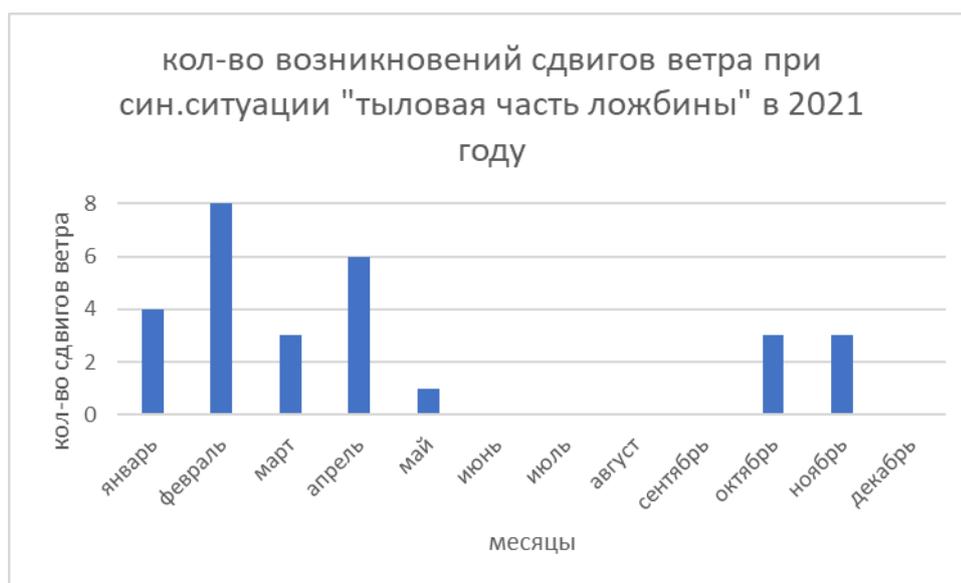


Рис. 3.2.3 – Количество возникновений СВ при синоптической ситуации «тыловая часть ложбины» в 2021 г

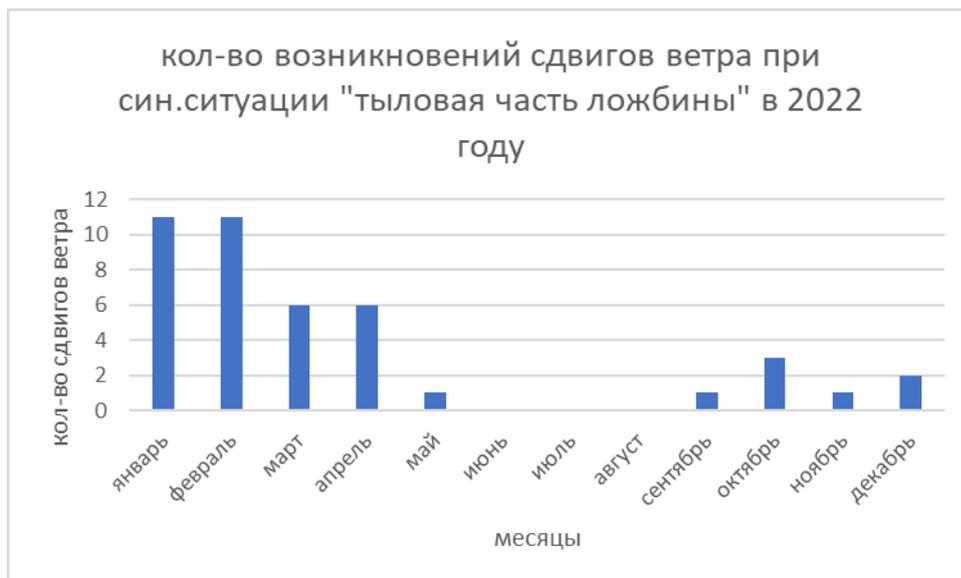


Рис. 3.2.4 – Количество возникновений СВ при синоптической ситуации «тыловая часть ложбины» в 2022 г

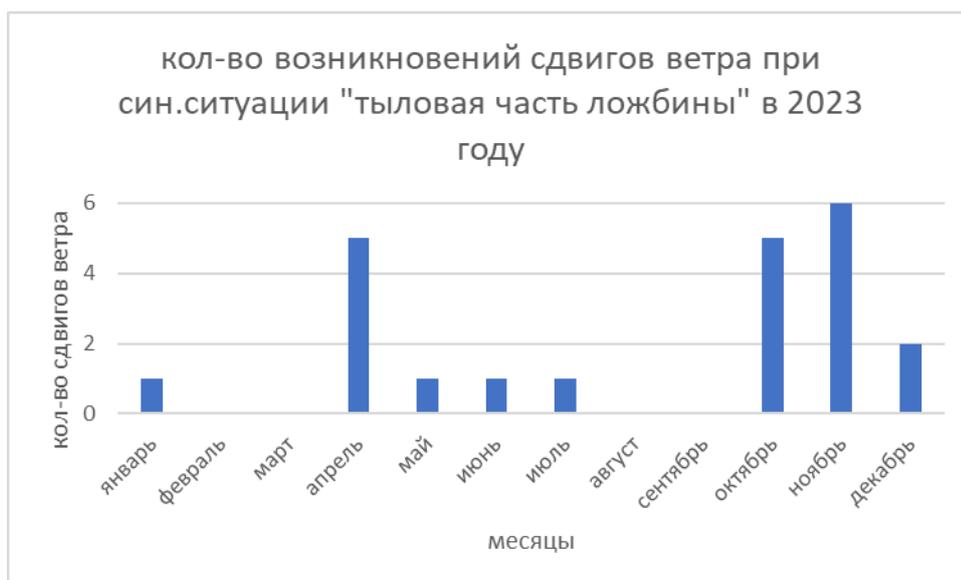


Рис. 3.2.5 – Количество возникновений СВ при синоптической ситуации «тыловая часть ложбины» в 2023 г

Как можно заметить по графикам (Рис. 3.2.3, 3.2.4 и 3.2.5), приведенным выше, явление сдвиг ветра при определении погоды вблизи аэродрома и на нем синоптической ситуацией «тыловая часть ложбины», встречается

довольно часто, особенно в холодное время года. Каков механизм образования СВ при данной синоптической ситуации?

В тылу ложбины в Приморском крае обычно устанавливаются ветра от северного до северо-западного направлений с усилением ветра в нижних слоях. Возникающий северо-западный ветер может не только сильно отличаться от того, что наблюдался ранее, но и выносить холодные воздушные массы с континента к побережью, особенно в зимний период, когда западнее господствует Сибирский (Азиатский) антициклон. Данная адвекция холодного воздуха создает неустойчивость в атмосфере, что способствует развитию порывистого ветра и его изменению с высотой. При глубоких ложбинах возможно влияние струйного течения на высотах, что усиливает вертикальный сдвиг.

Холодный фронт

Холодный фронт представляет собой переходную зону между тёплой и холодной воздушными массами, перемещающуюся в сторону тёплого воздуха. При этом холодные воздушные потоки активно вытесняют тёплые. Существует два типа холодных фронтов, различающихся по скорости движения:

1. Холодный фронт первого рода (медленно движущийся). При этом типе холодный воздух продвигается в виде пологого клина, тёплый воздух плавно поднимается вверх, в результате чего формируется сплошная линия кучево-дождевых облаков с ливнями и грозами. После прохождения фронта облачность постепенно переходит в слоисто-дождевую, а затем появляются высокосоистые и перисто-слоистые облака. В конце наступает прояснение. Характерные изменения при прохождении холодного фронта включают в себя резкий рост давления, понижение температуры и усиление ветра с порывами.

2. Холодный фронт второго рода (быстро движущийся). При ХФ второго рода холодный воздух движется крутым клином с выпуклостью в сторону тёплого воздуха. Во время прохождения данного ХФ тёплый воздух

вытесняется резко вверх и в результате образуются мощные кучево-дождевые облака. В особенности ХФ второго рода входит: отсутствие облаков за фронтальной линией и, соответственно, отсутствие обложных осадков, а за 200 км перед фронтом появляются перисто-кучевые и высококучевые облака. Погодные явления, типичные для ХФ второго рода включают в себя шквалы, грозы, интенсивные ливни, быстрое похолодание, резкий поворот ветра и стремительный рост давления.

Основное различие между фронтами проявляется в характере облачности и осадков, а также в скорости изменения метеопараметров [7].

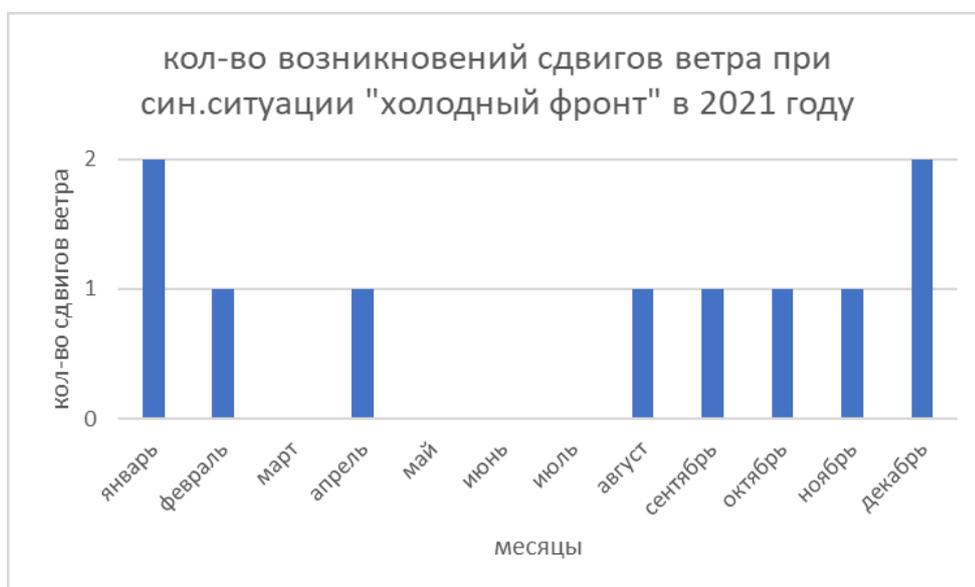


Рис. 3.2.6 – Количество возникновений СВ при синоптической ситуации «холодный фронт» в 2021 г

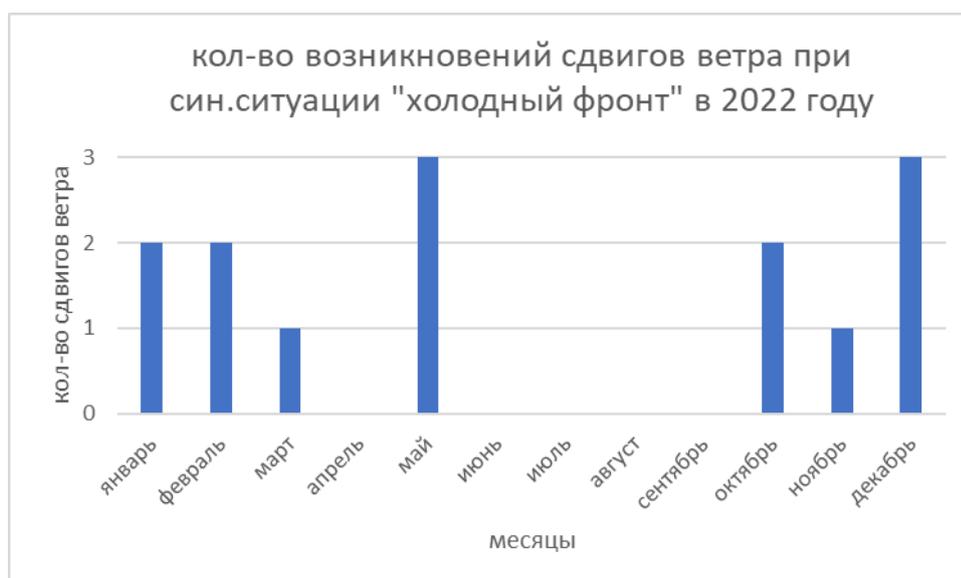


Рис. 3.2.7 – Количество возникновений СВ при синоптической ситуации «холодный фронт» в 2022 г

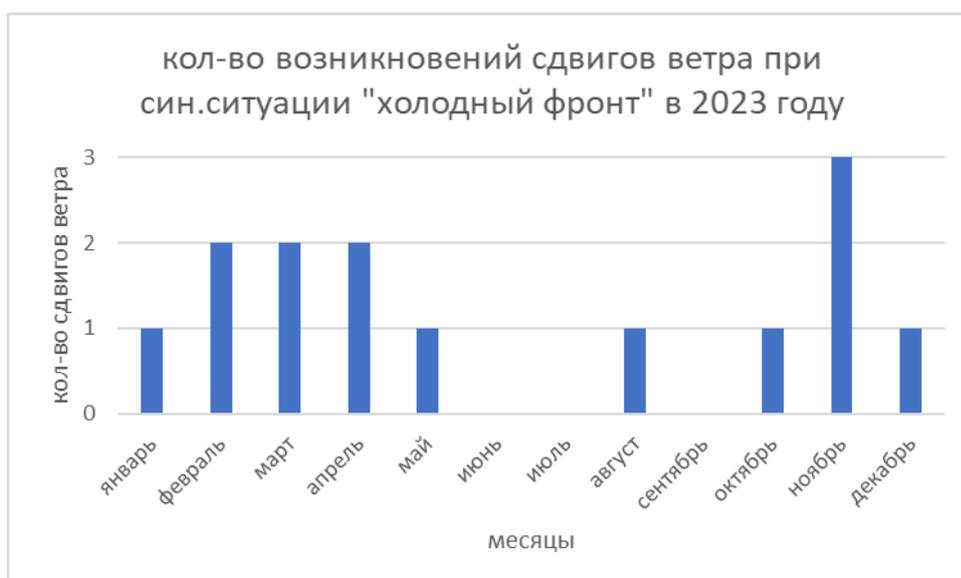


Рис. 3.2.8 – Количество возникновений СВ при синоптической ситуации «холодный фронт» в 2023 г

Благодаря графикам (Рис. 3.2.6, 3.2.7 и 3.2.8) можно выяснить, что СВ при такой синоптической ситуации как холодный фронт встречался в равной степени в 2021, в 2022 и в 2023 годах.

Как было выяснено ранее - холодный фронт приносит контрастные воздушные массы: холодный воздух подтекает под тёплый как клин, создавая резкую разницу в скорости и направлении ветра: перед фронтом - тёплый

южный/юго-западный ветер, за фронтом - холодный северо-западный с порывами. При холодном фронте второго рода (более быстрый) сдвиг особенно опасен из-за шкваловых линий с кучево-дождевыми облаками (Сб). Также фронтальная зона усиливает турбулентность, что приводит к значительным изменениям ветра по высоте, т.е. к вертикальному сдвигу ветра. Соответственно все вышеперечисленное приводит к резким изменениям ветра и создает опасные условия для взлета и посадки ВС.

Размытое барическое поле

Размытое (малоградиентное) барическое поле — это область с незначительным изменением атмосферного давления на единицу расстояния. Другими словами, изобары на карте погоды расположены далеко друг от друга. Барические системы, определяющие погоду, такие как циклон и антициклон, расположены далеко и не оказывают непосредственного влияния. Такое поле часто характеризуется слабыми ветрами и малой облачностью, так как градиент давления, являющийся движущей силой ветра, минимален [8].



Рис. 3.2.9 – Количество возникновений СВ при синоптической ситуации «размытое барическое поле» в 2021 г



Рис. 3.2.10 – Количество возникновений СВ при синоптической ситуации «размытое барическое поле» в 2022 г



Рис. 3.2.11 – Количество возникновений СВ при синоптической ситуации «размытое барическое поле» в 2023 г

Благодаря графикам (Рис. 3.2.9, 3.2.10 и 3.2.11) можно сделать вывод, что при синоптической ситуации «размытое барическое поле» явление СВ встречается реже, чем при прохождении ХФ или расположения аэродрома под влиянием тыловой части ложбины. Однако сдвиги ветра при размытом (малоградиентном) барическом поле были зафиксированы в летние месяцы, а

именно в июнь и июль (в 2021 году), чего не наблюдалось при двух других часто встречающихся синоптических ситуациях при возникновении СВ.

В условиях такой синоптической ситуации, как размытое барическое поле, отсутствуют какие-либо явления, связанные с данной синоптической ситуацией, которые могут привести к сдвигу ветра. Но подобные условия усиливают эффект локальных особенностей, вследствие географического расположения аэродрома. Ветер на различных высотах может менять скорость и/или направление из-за температурных контрастов между воздушными массами (между возникшей над сушей и пришедшей с моря) и из-за влияния местной орографии (сопки, окружающие аэродром, влияют на отклонение ветра). Как раз вторая причина очень возможна для образования СВ в условиях синоптической ситуации, такой как, размытое барическое поле на аэродроме Кневичи.

Синоптические ситуации в отсутствие явления сдвига ветра

Данный анализ решено было провести для того, чтобы понять – насколько часто встречаются те синоптические ситуации в течении года в отсутствие сдвига ветра, при которых чаще всего наблюдалось данное явление. Ранее было выяснено, что чаще всего СВ бывает при таких синоптических ситуациях, как: тыловая часть ложбины, прохождение ХФ и размытое (малоградиентное) барическое поле. Насколько часто встречались данные и другие синоптические ситуации в течении 2021 года отображено на графиках, представленных ниже.

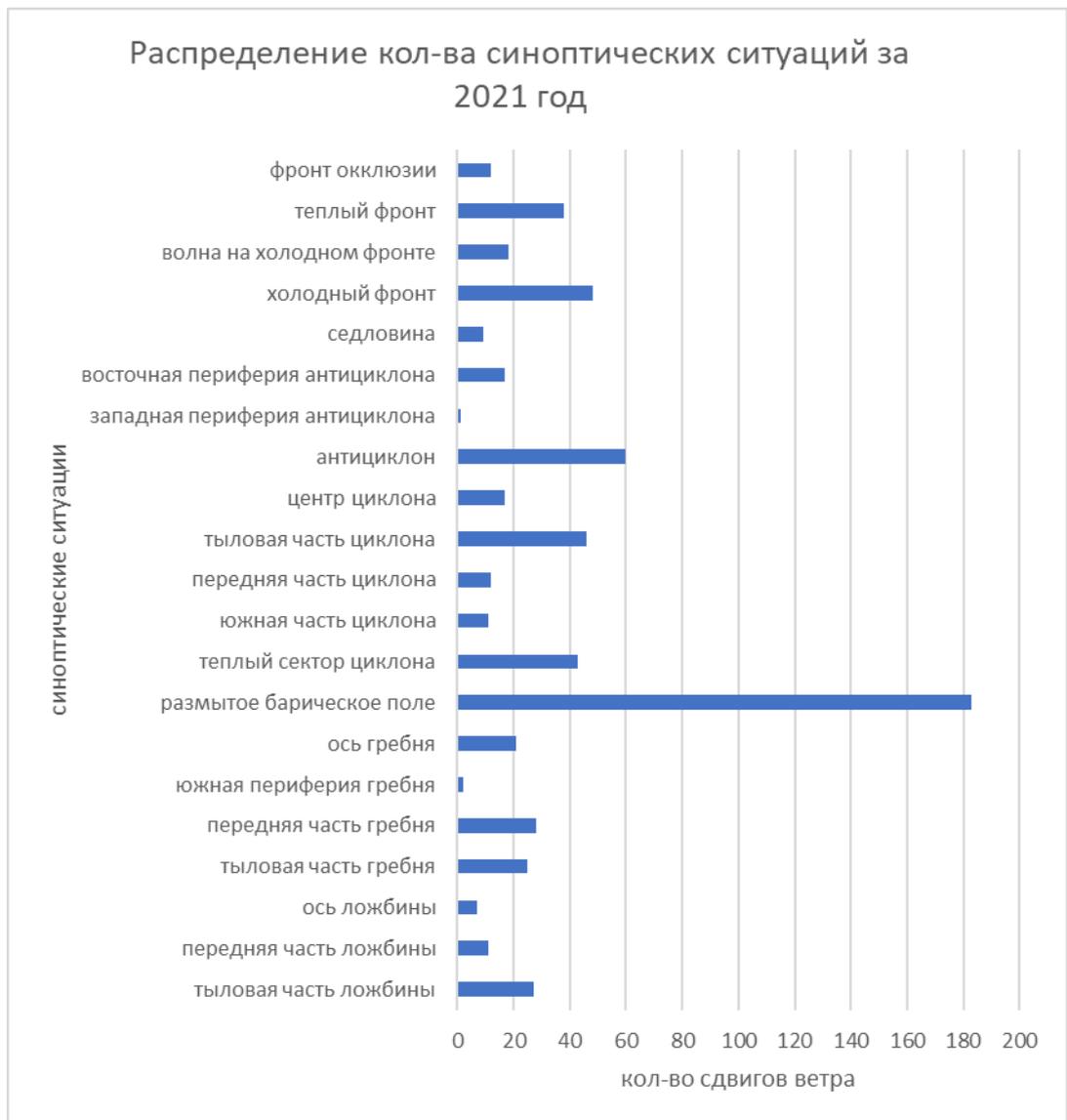


Рис. 3.2.12 – Распределение синоптических ситуаций за 2021 год

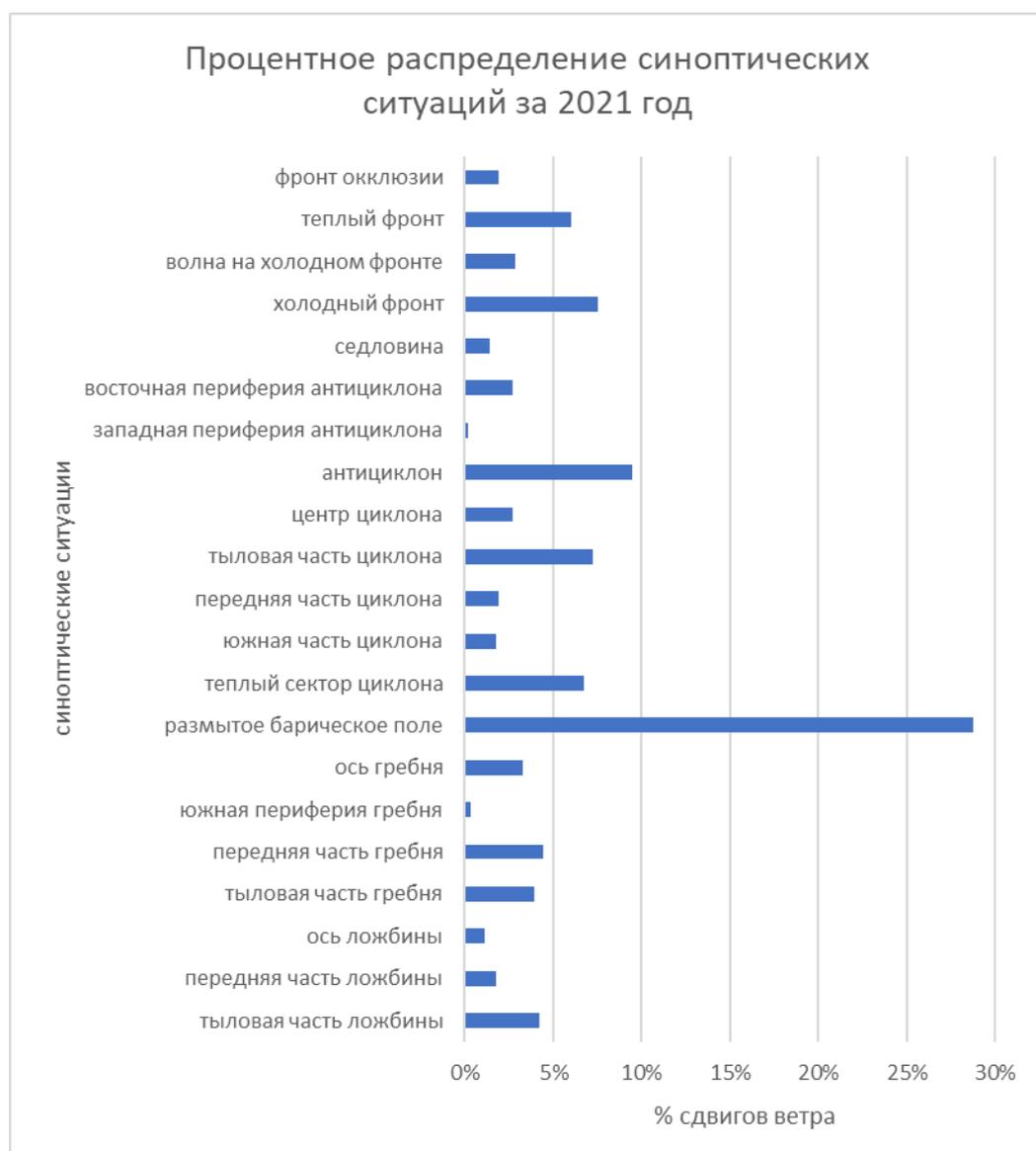


Рис. 3.2.13 – Процентное соотношение синоптических ситуаций за 2021 год

Благодаря графикам (Рис 3.2.12 и 3.2.13) видно, что в отсутствии сдвига ветра погода и атмосферные процессы на аэродроме Кневичи чаще всего определяются следующими синоптическими ситуациями: размытое барическое поле (29%), антициклон (9%), холодный фронт (8%).

Как мы видим, есть два совпадения с типовыми синоптическими ситуациями для возникновения такого опасного явления как СВ, а именно такие синоптические ситуации, как: размытое барическое поле и прохождение холодного фронта.

Разные синоптические ситуации могут вызывать или не вызывать явление сдвиг ветра в зависимости от конкретных условий их проявления. Попробуем разобраться почему такие синоптические ситуации, как размытое барическое поле и прохождение холодного фронта могут как сопровождаться сдвигом ветра, так и не сопровождаться им.

1. Размытое барическое поле

Когда сдвиг ветра есть:

В размытом барическом поле могут возникать локальные мезомасштабные процессы (например, термическая конвекция, бризовые эффекты, влияние рельефа).

Когда сдвига ветра нет:

Если барическое поле действительно очень слабое, ветер может быть равномерным и слабым на всех высотах, без существенных изменений по направлению и скорости. При данной синоптической ситуации возможно отсутствие выраженных термических контрастов или фронтальных зон вблизи аэродрома, а также стабильная стратификация атмосферы (отсутствие инверсий), подавляющая вертикальные движения.

Т.е. синоптическая ситуация размытое барическое поле сама по себе не гарантирует явление сдвига ветра — всё зависит от локальных условий (наличие конвекции, рельеф, влияние соседних систем).

2. Холодный фронт

Когда сдвиг ветра есть:

Холодный фронт — активная динамическая зона, где резко меняются температура, давление и ветер. Перед фронтом часто наблюдается усиление южного ветра, а за фронтом — резкий поворот на северо-западный/северный с увеличением скорости. Если фронт активный и глубокий, сдвиг ветра будет выраженным. В зоне фронта возможны шквалы, линии неустойчивости, что может привести к сдвигу ветра.

Когда сдвига ветра нет:

Холодный фронт не всегда активен. Он может быть ослабленным (стабилизирующим, размытым), без резкого изменения ветра. Если фронт проходит ночью или в условиях стабильной стратификации, конвекция и турбулентность чаще всего слабые. Влияние рельефа или локальных циркуляций могут не только усиливать, но и в некоторых случаях нивелировать сдвиг ветра при фронтальной системе.

Таким образом холодный фронт чаще даёт сдвиг ветра, но не всегда — ключевую роль играют его интенсивность и условия прохождения.

Совпадение двух ситуаций (размытое барическое поле и прохождение холодного фронта) в обоих списках (типовые синоптические ситуации для сдвига ветра и синоптические ситуации над аэродромом в отсутствии явления) объясняется вариативностью их проявления: в одних случаях они создают условия для сдвига, в других — проходят "мягко", без значительных изменений ветра. Дополнительные факторами, влияющие на сдвиг ветра, могут выступать время суток (днём конвекция усиливает сдвиг), рельеф (горы могут локально усиливать или ослаблять ветер), влажность (сухой холодный фронт или влажный активный фронт). Таким образом, одна и та же синоптическая ситуация может как вызывать сдвиг ветра, так и не вызывать его и, по большей части, все зависит от конкретных условий.

3.3. Исследование зависимости явления сдвига ветра от других факторов

Влияние усиления ветра в тылу ложбины и при прохождении ХФ

Ранее было оговорено, что часто при таких синоптических ситуациях, как тыл ложбины и прохождение холодного фронта на аэродроме Кневичи фиксируется ветер от 320 до 360 градусов (от северо-западных до северных направлений). Был проведен анализ: из ряда ситуаций, когда был зафиксирован СВ были выбраны лишь те случаи, при которых погода

определялась либо тыловой частью ложбины, либо прохождением ХФ – количество таких ситуаций составило 132 случая. Далее было просмотрено направление ветра при ранее выбранных случаях, нас интересовал ветер от 320 до 360 градусов (СЗ и С ветры). Количество совпадений синоптических ситуаций и интересующих нас направлений ветра составило 105 случаев. Таким образом несложными математическими вычислениями можно прийти к выводу, что из всех случаев, когда наблюдались синоптические ситуации тыловая часть ложбины и ХФ в 80% был зафиксирован ветер от северо-западного до северного направлений.

Преобладание северных и северо-западных ветров на аэродроме Кневичи при тыловой части ложбины и прохождении холодных фронтов может быть обусловлено следующими факторами:

1. Географическое положение и рельеф. Так как аэродром Кневичи расположен в Приморском крае между Сихотэ-Алинем и Японским морем, что формирует «коридор» для беспрепятственного прохождения северных воздушных масс. Холодный воздух из Сибири и Забайкалья свободно стекает по долинам рельефа, усиливая северо-западную составляющую ветра.

2. Атмосферная циркуляция в тылу ложбины. Ложбина — это зона низкого давления, где воздух движется против часовой стрелки (в Северном полушарии). В тыловой части ложбины начинает поступать холодный воздух из более высоких широт (арктический/континентальный), что формирует устойчивый северо-западный перенос, а нисходящие потоки в тылу усиливают порывистость ветра.

3. Динамика холодного фронта. Холодный фронт приходит с северо-запада (из районов Восточной Сибири или Монголии). После прохождения фронта давление резко растет (признак антициклона с севера), а холодный воздух "растекается" в сторону теплого моря, создавая устойчивый северный/северо-западный ветер. Если наблюдается прохождения фронта второго рода (более быстрый), ветер становится шквалистым с резкими порывами до 15–20 м/с.

4. Орографическое усиление. Горы Сихотэ-Алиня отклоняют воздушные потоки, заставляя их «огибать» хребты с северо-запада. Аэродром Кневичи находится на наветренной стороне относительно этих потоков, что усиливает северные ветра.

5. Сезонные особенности. Осенью и зимой сибирский антициклон усиливает северо-западный перенос. Летом муссон смягчает ситуацию, но при фронтальных прохождении северные ветра все равно доминируют.

Данный вывод очень важен для авиации, так как сочетание ветров от северо-западного до северного направлений и таких синоптических ситуаций, как тыл ложбины и прохождение ХФ, часто сопровождаются сдвигом и турбулентностью, особенно на малых высотах.

Связь синоптической ситуации «тыловая часть ложбины» и влияния Сибирского (Азиатского) антициклона

Антициклон представляет собой зону с повышенным атмосферным давлением, где в центральной части показатели обычно составляют 1020-1030 гПа, хотя в отдельных случаях могут достигать 1070-1080 гПа. Для антициклона характерна особая циркуляция воздушных масс: ветры направлены от центра к окраинам, отклоняясь вправо и следуя по часовой стрелке. Отток воздуха от центра компенсируется его притоком в верхних слоях атмосферы с последующим нисходящим движением к земной поверхности. В процессе опускания воздух прогревается, что приводит к рассеиванию облачности. Как следствие, в антициклоне устанавливается ясная, почти безоблачная погода со слабыми ветровыми потоками - летом жаркая, а зимой морозная, поскольку отсутствие облачного покрова способствует беспрепятственному охлаждению земной поверхности [7].

Антициклоны отличаются значительными пространственными масштабами, медленной скоростью перемещения и длительным периодом

разрушения, нередко сохраняясь на одной территории продолжительное время. Они формируются в условиях однородных воздушных масс, что исключает наличие атмосферных фронтов. Температурные колебания в течение суток здесь особенно заметны, в летний период это проявляется наиболее ярко из-за интенсивного дневного прогрева и ночного выхолаживания поверхности при отсутствии облаков [7].

Среди крупнейших антициклонов выделяют Азиатский (Сибирский), который господствует над Сибирью, Средней и Центральной Азией преимущественно зимой с давлением до 1070 гПа, формируясь вследствие сильного охлаждения материка до -50°C [7].

Ранее было выяснено, что при синоптической ситуации тыловая часть ложбины было зафиксировано большое количество сдвигов ветра на аэродроме Кневичи (почти половина случаев от общего количества зафиксированных сдвигов ветра за рассматриваемый период). Часто циклон сопровождается последующим антициклоном, ложбина сменяется на гребень и т.д., что логично и естественно, так как «недостаток» давления в одном барическом образовании должен компенсироваться «избытком давления» в другом, при чем где-то по близости. Было решено провести анализ зависимости синоптической ситуации тыловой части ложбины и влиянием Сибирского (Азиатского) антициклона.

Для данного анализа из ряда ситуаций, когда был зафиксирован СВ были выбраны лишь те случаи, которые были зафиксированы при синоптической ситуации тыловая часть ложбины – количество составило 88 случаев. Далее было просмотрено более 88 синоптических карт (более 88, так как чаще всего сдвиг ветра был зафиксирован между сроками, а не ближе к 00 или к 12 UTC, и для более точного установления синоптической ситуации было необходимо просмотреть для одного случая сразу две синоптические карты) и установлено, что в 80 из 88 случаев с севера и северо-запада от аэродрома Кневичи наблюдалось влияние Сибирского (Азиатского) антициклона. То есть в 91%

случаев сдвиг ветра на аэродроме Кневичи при синоптической ситуации тыл ложбины одновременно сопровождался влиянием Сибирского антициклона.

На аэродроме Кневичи одновременное сочетание синоптической ситуации тыловой части ложбины и влияния Сибирского антициклона часто фиксировалось при СВ. Возможно данное сочетание вызвано следующими причинами:

1. Атмосферная динамика в тылу ложбины. Тыловая часть ложбины связана с нисходящими потоками холодного воздуха, что создает резкие градиенты ветра у поверхности, при этом ложбина "встраивается" в общую циркуляцию, где Сибирский антициклон (зимой) выступает как источник холодного воздуха.

2. Роль Сибирского антициклона. Антициклон формирует мощный холодный воздушный массив над континентом (температуры до -40...-50°C). Воздух из этого региона растекается к периферии, в том числе в сторону Приморья, усиливая северо-западный перенос. В тылу ложбины этот процесс ускоряется, так как антициклон "подпитывает" ложбину холодным воздухом.

3. Механизм сдвига ветра. У земли холодный воздух от антициклона создает устойчивые северо-западные ветра (4-8 м/с), а на высоте 500-1000 м в ложбине сохраняются западные/юго-западные потоки (10-15 м/с). В результате возникает (разница 5-10 м/с на 100-200 м высоты).

4. Орографическое усиление. Холодный воздух, "стекая" с гор Сихотэ-Алиня, ускоряется в долинах (эффект стокового ветра). В районе аэродрома Кневичи это усиливает турбулентность и порывистость.

Данное сочетание барических образований типично для Дальнего Востока зимой и объясняет частые случаи сдвига на аэродроме Кневичи при такой синоптике.

Сдвиг ветра при различных формах облачности

Ранее говорилось, что явление сдвиг ветра часто встречается при кучево-дождевых и мощно-кучевых облаках. Причина в том, что эти формы облачности связаны с сильными восходящими и нисходящими потоками воздуха, которые могут создавать значительные изменения в скорости и направлении ветра в различных высотах.

Было решено провести исследование повторяемости явления сдвига ветра при различных формах облачности или при ее отсутствии, а именно: при кучевых формах облачности (кучево-дождевой Сb и мощно-кучевой TCu), при слоистообразных формах облачности (высоко-слоистые As и слоисто-кучевые Sc), при сочетании кучевых и слоистообразных форм (чаще всего это было сочетание кучево-дождевых и высоко-слоистых облаков) и при отсутствии каких-либо облаков (ясно). Слоистообразные формы облачности было решено включить, так как они достаточно часто встречаются при зафиксированных явлениях СВ, особенно в сочетании с кучево-дождевыми облаками. Необходимо выявить данную зависимость и найти ответ – почему так происходит, ведь слоистые формы облачности никак не могут повлиять на процесс возникновения СВ.

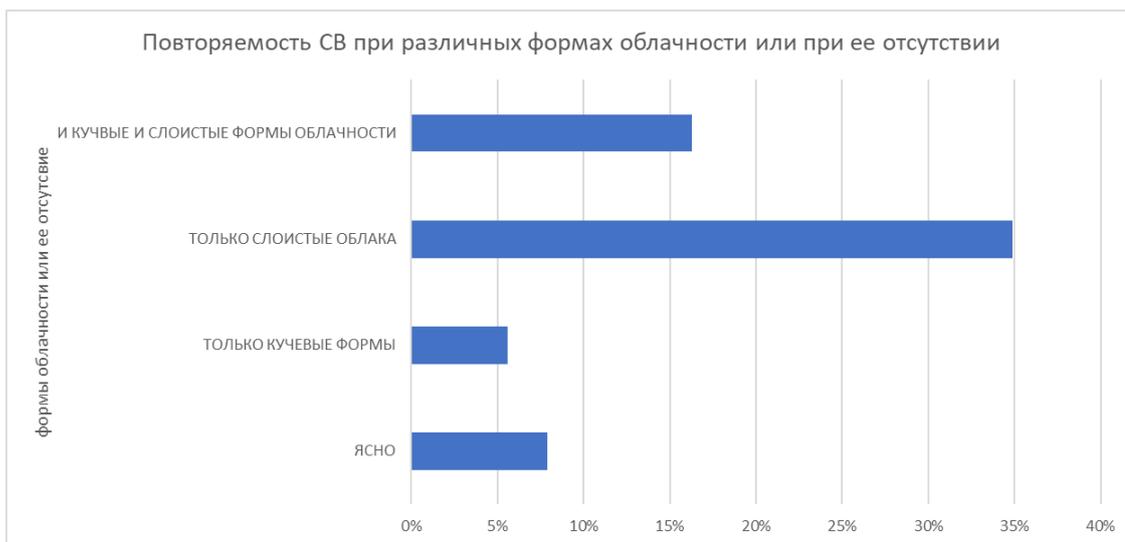


Рис. 3.3.1 – Повторяемость СВ при различных формах облачности и при ее отсутствии

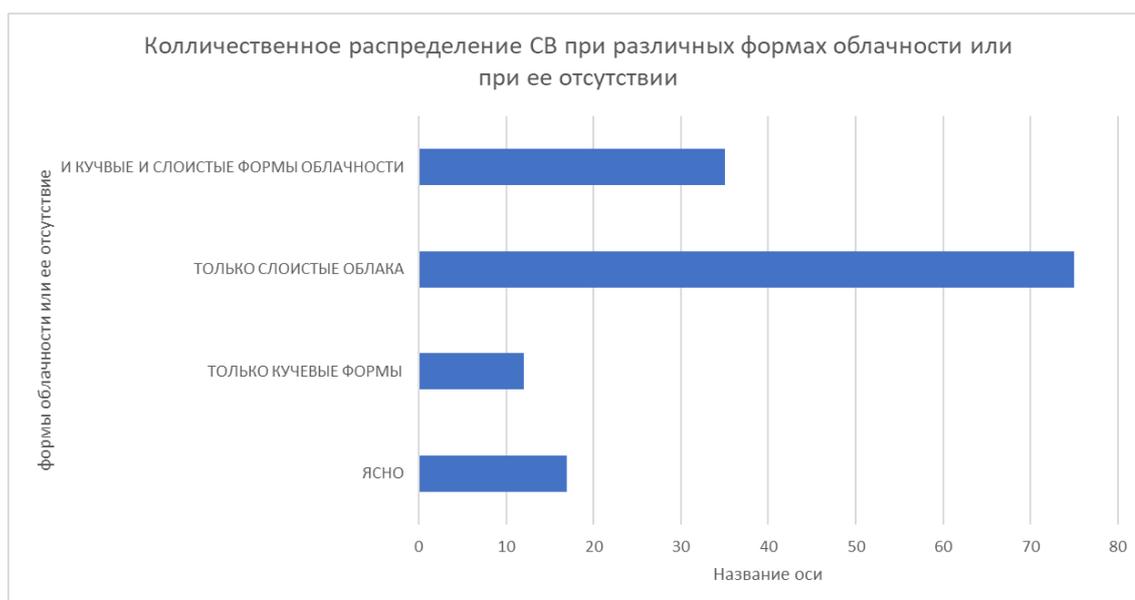


Рис. 3.3.2 – Распределение количества СВ при различных формах облачности и при ее отсутствии

На графиках, приведенных выше (Рис. 3.3.1 и 3.3.2), видно, что из 215 зафиксированных сдвигах ветра 75 случаев (35%) произошло при наличии только слоистообразных форм облачности, 12 случаев (6%) – при наличии только кучево-дождевых или мощно-кучевых облаков, 35 случаев (16%) – при сочетании кучевых и слоистообразных форм облачности и 17 случаев (8%) в

отсутствии каких-либо форм облачности (ясно). Почему же получилось, что СВ чаще наблюдается при слоистообразных формах облачности, чем при кучевых? Попробуем объяснить данные значения, полученные в ходе подсчета.

Влияние кучево-дождевых (Сb) и мощно-кучевых (ТСu) облаков на сдвиг ветра заключается в том, что эти облака связаны с сильной конвекцией и развиваются в условиях неустойчивой стратификации атмосферы. Конвективные восходящие потоки в Сb и ТСu создают сильную турбулентность и могут вызывать нисходящие потоки. При выходе холодного воздуха из облака формируется микропорыв, который резко изменяет местный ветер у поверхности, создавая сильный горизонтальный сдвиг. Также в зоне грозы может наблюдаться изменение направления ветра с высотой (например, поворот по часовой стрелке), что связано с адвекцией теплого воздуха в передней части шторма. Верхняя часть Сb (наковальня) может распространяться под действием сильного ветра на большие высоты, создавая разные скорости ветра на разных уровнях. Сильные восходящие потоки могут деформировать струйные течения, что приводит к изменению сдвига ветра в мезомасштабе.

Слоистая облачность (As, Sc) формируется в более стабильных условиях и связаны со слабой или умеренной турбулентностью. Слоисто-кучевые (Sc) обычно образуются в инверсионном слое, где сдвиг ветра слабый, однако, если Sc формируются на границе приземного инверсионного слоя, может наблюдаться усиление сдвига между поверхностью и верхней границей облака. Ветры над Sc часто более сильные, что создает слабый вертикальный сдвиг. Высоко-слоистые (As) располагаются в верхней тропосфере и связаны с изэнтропическими наклонами (восходящие движения большого масштаба). As часто наблюдаются в зонах адвекции тепла и могут указывать на усиление сдвига ветра в верхних слоях (например, перед фронтом). В ассоциации с струйными течениями As могут формировать облачные полосы, где сдвиг ветра значителен.

Таким образом мы выяснили, что Сб и Тсу создают локальные сильные сдвиги ветра из-за конвективных процессов, микропорывов и взаимодействия с окружающим потоком. As и Sc связаны с крупномасштабными сдвигами, обусловленными синоптическими процессами (фронты, струйные течения), но сами по себе редко вызывают резкие изменения ветра. Если рассматривать прогностические аспекты, то: наличие Сб/Тсу указывает на опасный сдвиг ветра для авиации (особенно на малых высотах); As/Sc могут служить индикатором усиления сдвига на высотах, но обычно не приводят к резким изменениям у поверхности.

Сдвиг ветра при сочетании кучево-дождевых (Сб) и высокоструйных (As) облаков возникает из-за сложного взаимодействия нескольких атмосферных факторов:

1. Разница в ветровых потоках на разных высотах. As (высокоструйные) образуются в верхнем уровне тропосферы (5–10 км), где дуют сильные струйные течения. Сб (кучево-дождевые) развиваются в нижнем и среднем слоях (1–5 км), где ветер может быть слабее или направлен иначе. В результате получается резкий перепад скорости и/или направления ветра между слоями

2. Нисходящие потоки от Сб в паре со встречным ветром в слое As. Грозовые облака (Сб) создают мощные нисходящие потоки холодного воздуха, которые сталкиваются с горизонтальным ветром в слое As (который может дуть в другом направлении) или с восходящими потоками на переднем крае шторма. В итоге формируется турбулентность и микропорывы, усиливающие сдвиг у поверхности.

3. Фронтальные условия (ХФ). Сочетание Сб и As часто наблюдается в зоне холодного фронта, где холодный воздух подтекает под тёплый, создавая Сб с ливнями и шквалами. Над фронтом формируются As (из-за плавного подъёма тёплого воздуха). В результате у земли – сильный порывистый ветер от Сб, а на высоте – устойчивый поток от As.

4. Эффект "наковальни" Св. Верхняя часть Св (наковальня) состоит из ледяных кристаллов и распространяется под слоем As. В этой зоне ветер на высоте (7–12 км) часто резко меняет направление (например, из-за струйного течения).

Что же касается СВ при ясном небе (без облаков) - он возникает из-за специфических атмосферных процессов, которые могут создавать резкие изменения скорости и направления ветра по высоте. Основные причины:

1. Приземные инверсии температуры. Ночью или рано утром в ясную погоду поверхность земли быстро охлаждается (из-за радиационного выхолаживания). Холодный воздух скапливается у земли, а выше остаётся более тёплый слой и, соответственно, образуется инверсия температуры. В инверсионном слое трение о поверхность резко снижает ветер у земли, тогда как на высоте 100–500 м он остаётся сильным. В итоге получается резкий сдвиг ветра между приземным слоем и высотой.

2. Катабатические (стоковые) ветры. В холмистой или горной местности (как вокруг аэродрома Кневичи) холодный воздух стекает по склонам вниз, создавая локальные сильные ветры у поверхности. Над этим слоем (на высоте 100–300 м) ветер может быть слабее или дуть в другом направлении. И, в результате, образуется резкий сдвиг ветра.

Инверсия при случаях сдвига ветра

Инверсионные слои (температурные инверсии) могут значительно влиять на СВ, так как они создают устойчивые слои атмосферы, где динамика воздушных потоков меняется.

Влияние инверсий на СВ:

1. Увеличение вертикального сдвига скорости ветра. В инверсионном слое температура растёт с высотой (вместо обычного падения), что подавляет турбулентность и вертикальное перемешивание воздуха. В результате ветер

выше и ниже слоя инверсии может иметь сильно разные скорости (например, слабый ветер у поверхности и сильный на высоте).

2. Изменение направления ветра. Инверсии часто связаны с устойчивыми слоями, которые могут "разделять" воздушные потоки с разными характеристиками. Например, в приземной инверсии ветер может быть слабым и дуть в одном направлении, а выше инверсии – усиливаться и менять направление (например, из-за влияния высотных струйных течений).

3. Роль инверсий в образовании низкоуровневого струйного течения. Ночные радиационные инверсии способствуют формированию низкоуровневых струйных течений – узких зон сильного ветра (до 20–30 м/с) на высоте 100–500 м.

Для авиации СВ у слоев инверсий опасен при взлете и посадке (может вызвать потерю подъемной силы). Инверсии подавляют развитие гроз, но, если сдвиг сильный, возможны вращающиеся движения воздуха (смерчи, шквалы). Таким образом инверсионные слои усиливают сдвиг ветра, создавая резкие изменения скорости и направления ветра на малых вертикальных расстояниях из-за подавления турбулентности и разделения воздушных потоков.

Поэтому было решено провести анализ случаев СВ при задерживающих слоях (слоях инверсии). Для этого из всех 215 зафиксированных случаев СВ выбраны были лишь те, что произошли незадолго до или незадолго после запуска метеозонда. Метеозонд запускается в 00 и в 12 часов по UTC каждых суток. Временной промежуток для случаев СВ за 3 часа до и 3 часа после запуска метеозонда, т.е. были выбраны случаи, которые произошли с 21 до 03 часа по UTC и с 09 до 15 часов по UTC. Количество явлений, произошедших в данные временные отрезки, составило 81 случай. Далее были проанализированы профили температур, зафиксированные метеозондом. Из 81 случая получилось 15 случаев (19%), когда одна из границ наблюдаемого СВ попала полностью в слой инверсии или частично попала на границу слоя инверсии, и 27 случаев (33%), когда границы слоя, в котором наблюдался СВ,

были близки к границам слоя инверсии (выше или ниже на 500 м). Далее решено было рассмотреть данные случаи и с точки зрения синоптических ситуаций.

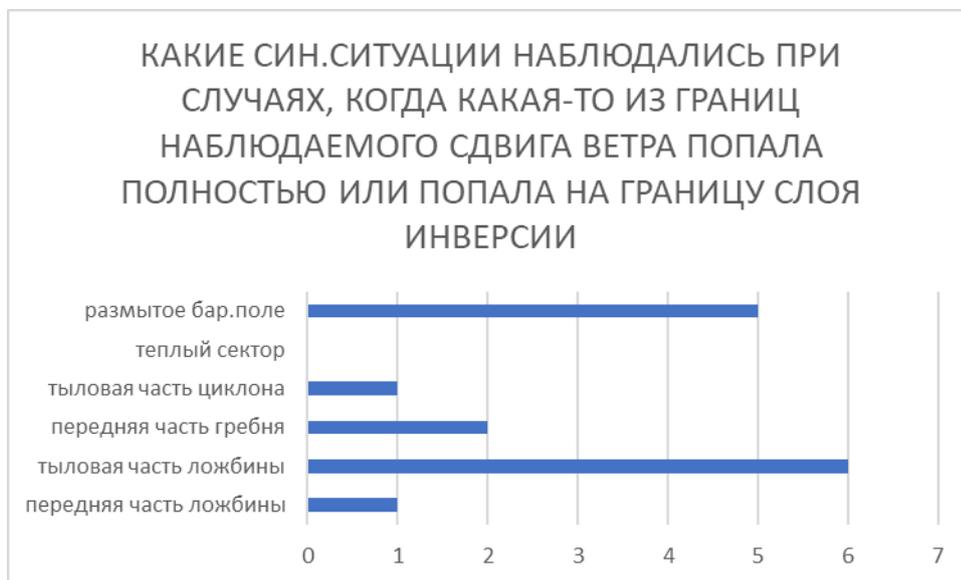


Рис. 3.3.3 – Синоптические ситуации и их количественное распределение при случаях, когда одна из границ наблюдаемого СВ попала полностью в слой инверсии или частично попала на границу слоя инверсии



Рис. 3.3.4 – Синоптические ситуации и их количественное распределение при случаях, когда границы слоя, в котором наблюдался СВ, были близки к границам слоя инверсии (выше или ниже на 500 м)

Благодаря графикам (Рис. 3.3.3 и 3.3.4) видно, что чаще всего СВ при совпадении со слоем инверсии происходит при тыловой части ложбины (6 случаев из 15) и при размытом барическом поле (5 случаев из 15). Когда же СВ происходит близко к слою инверсии (на 500 м выше или ниже), то чаще всего это происходит также при тыловой части ложбины (18 случаев из 27) и при размытом барическом поле (4 случая из 27).

Скорее всего явление СВ в районе аэродрома Кневичи, особенно вблизи слоя инверсии или на его границе, связано с сочетанием синоптических условий и местных метеорологических факторов. Основные причины этого явления:

1. Тыловая часть ложбины (суммарно 24 из 42 случаев). В тыловой части ложбины часто наблюдается адвекция холодного воздуха, что способствует формированию инверсионных слоёв. Эти слои создают резкие изменения скорости и направления ветра (вертикальный сдвиг) из-за разницы плотности и температуры воздуха. Инверсии усиливают сдвиг ветра, так как они разделяют воздушные потоки с разными характеристиками (скорость, направление). В таких условиях даже небольшое изменение высоты приводит к значительным изменениям ветра. Тыловая часть ложбины также может сопровождаться нисходящими потоками, которые дополнительно усиливают сдвиг ветра вблизи инверсионного слоя.

2. Размытое барическое поле (суммарно 9 из 42 случаев). В условиях слабого градиента давления ветры у поверхности могут быть слабыми и переменными, но на высоте (особенно в слое инверсии) возможны более сильные и устойчивые потоки. Это создаёт значительный сдвиг между слоями. Инверсии в таких условиях часто формируются из-за радиационного охлаждения (ночные инверсии) или адвекции тёплого воздуха над холодным. Эти слои становятся "ловушками" для турбулентности и сдвига ветра.

Температурные инверсии являются ключевым фактором, так как они разделяют воздушные массы с разными свойствами, создавая зоны резкого изменения ветра, а также могут усиливать мезомасштабные явления, такие как

струйные течения низкого уровня, которые дополнительно увеличивают СВ. Вблизи аэродрома Кневичи инверсии часто связаны с рельефом (холмистая местность), что способствует их устойчивости и влиянию на ветровые условия

3.4. Разбор примеров случаев СВ на аэродроме Кневичи

Случаи СВ при тыловой части ложбины

Пример 1 (Рис 3.4.1): 29.01.2021 в 1:35 UTC был зафиксирован сдвиг ветра умеренной интенсивности на высотах от 1200 до 0 м. Ветер северного направления (360 градусов), скорость ветра - 10 м/с, порыв - 15 м/с. Наблюдалась облачность: разбросанные слоисто-кучевые (SCT Sc) и значительные перистые (BKN Ci), умеренная болтанка от 1200 до 0 м.

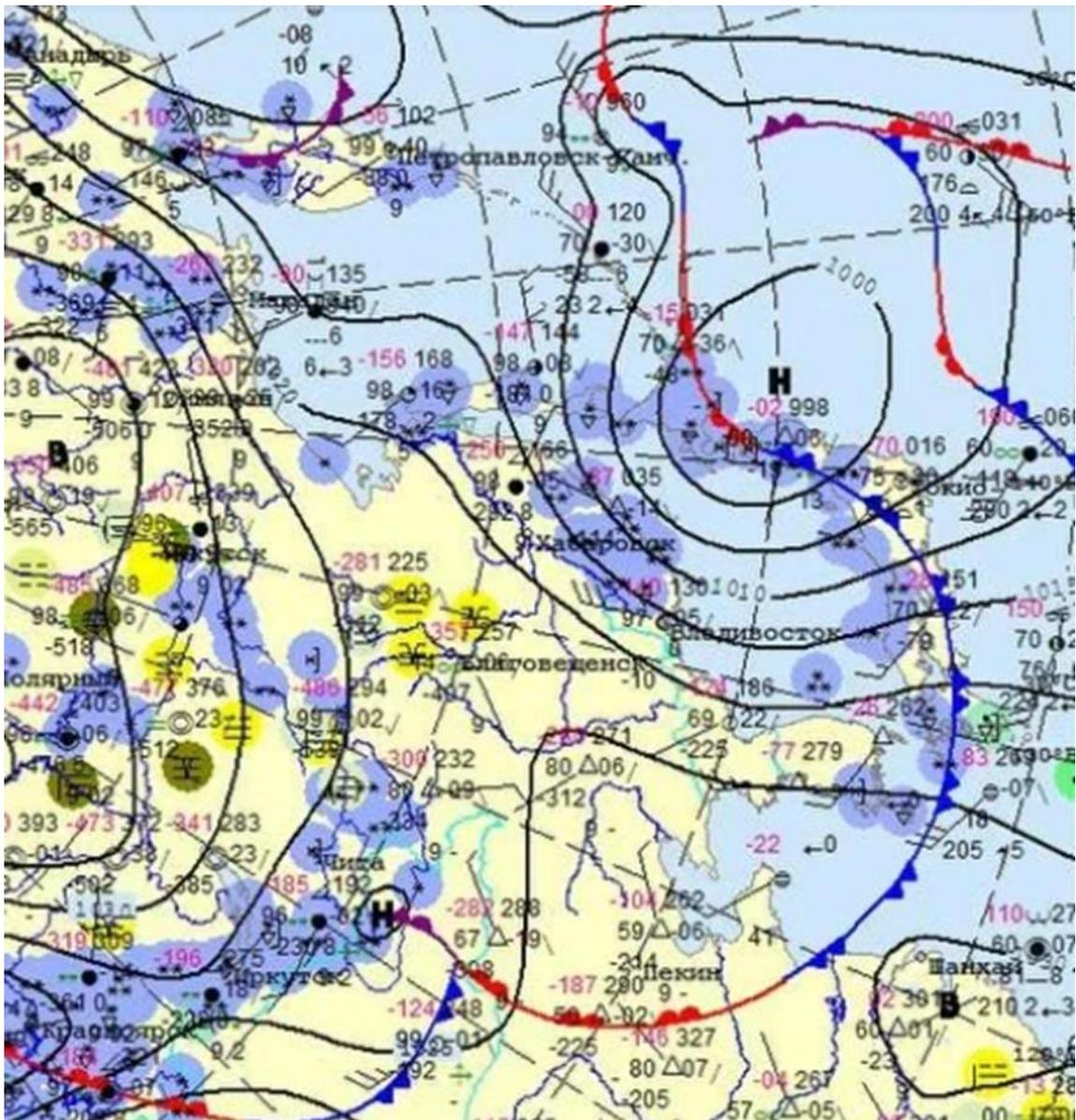


Рис. 3.4.1 – Синоптическая карта за 29.01.2021 00 UTC

Пример 2 (Рис. 3.4.2): 16.03.2021 было зафиксировано два случая сдвига ветра в 7:26 и 10:17 по UTC. Интенсивность первого случая была умеренной, второго случая – слабой. Направление ветра наблюдалось от ССЗ до СЗ (330 и 320 градусов). Скорость ветра составила 8 м/с, порыв - до 16 м/с. Наблюдалась облачность разбросанная слоисто-кучевая (SCT Sc) и значительная высококучевая (BKN Ac).

Ранее было выяснено, что при таких синоптических ситуациях, как тыловая часть ложбины и прохождение ХФ наблюдается усиление ветров от северного до северо-западного направлений, что, собственно, мы можем

наблюдать в первом примере. Также можно увидеть, что в обоих примерах северо-западнее от г. Владивостока располагается Сибирский антициклон (Азиатский максимум). Он также способствует усилению северных и северо-западных ветров.

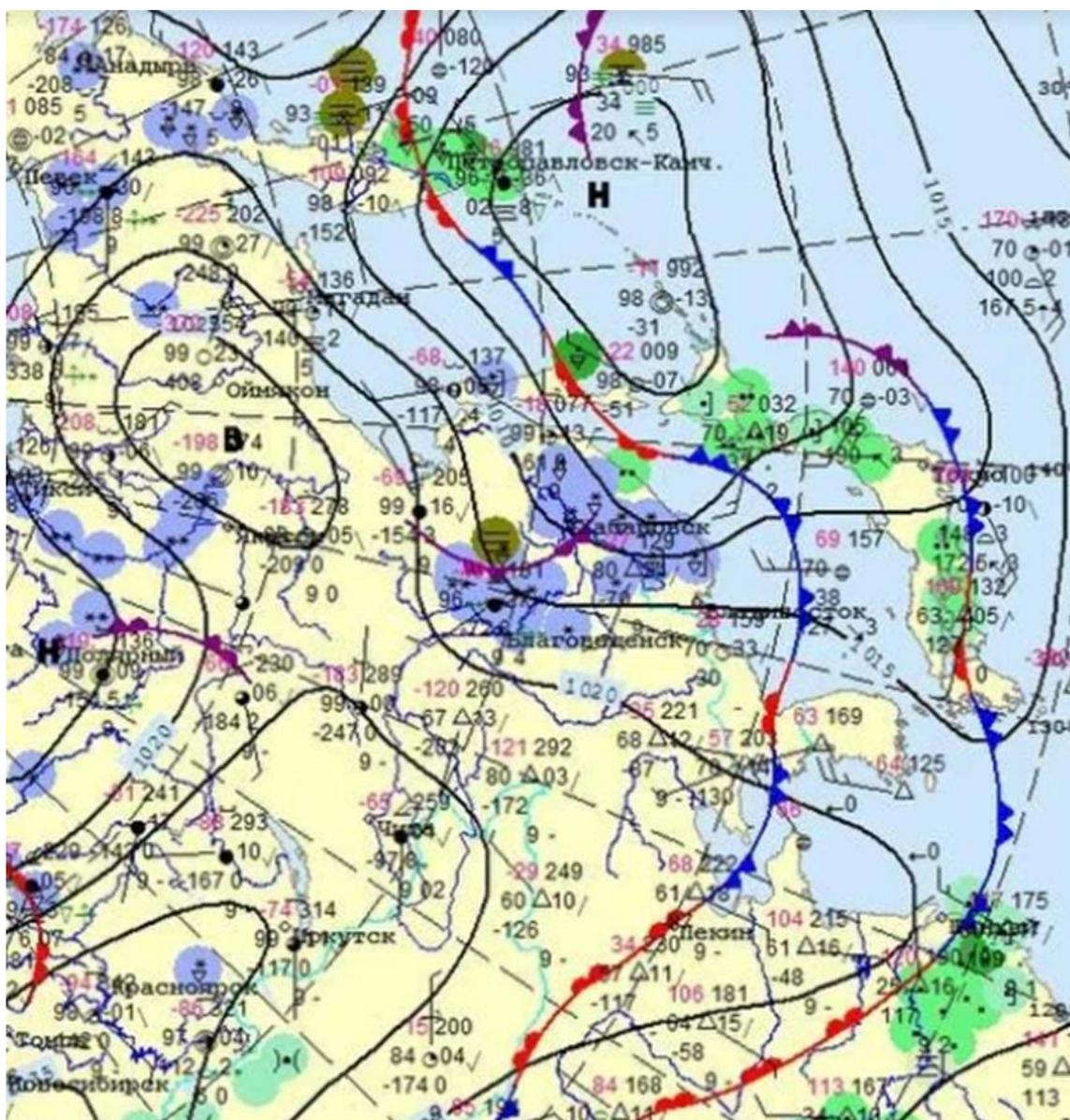


Рис. 3.4.2 – Синоптическая карта за 16.03.2021 12 UTC

Случаи СВ при прохождении ХФ

Пример 1 (Рис. 3.4.3): 10.10.2021 были зафиксированы два случая сдвига ветра слабой и умеренной интенсивности в 1:36 и 1:45 по UTC соответственно. Оба случая произошли на высотах от 0 до 1000 м. Направление ветра ЮЗ (230 градусов). Скорость ветра - 9-10 м/с. Наблюдались следующие формы облачности: значительная кучево-дождевая (ВКН Сб) и сплошная высококучевая (OVC Ac).

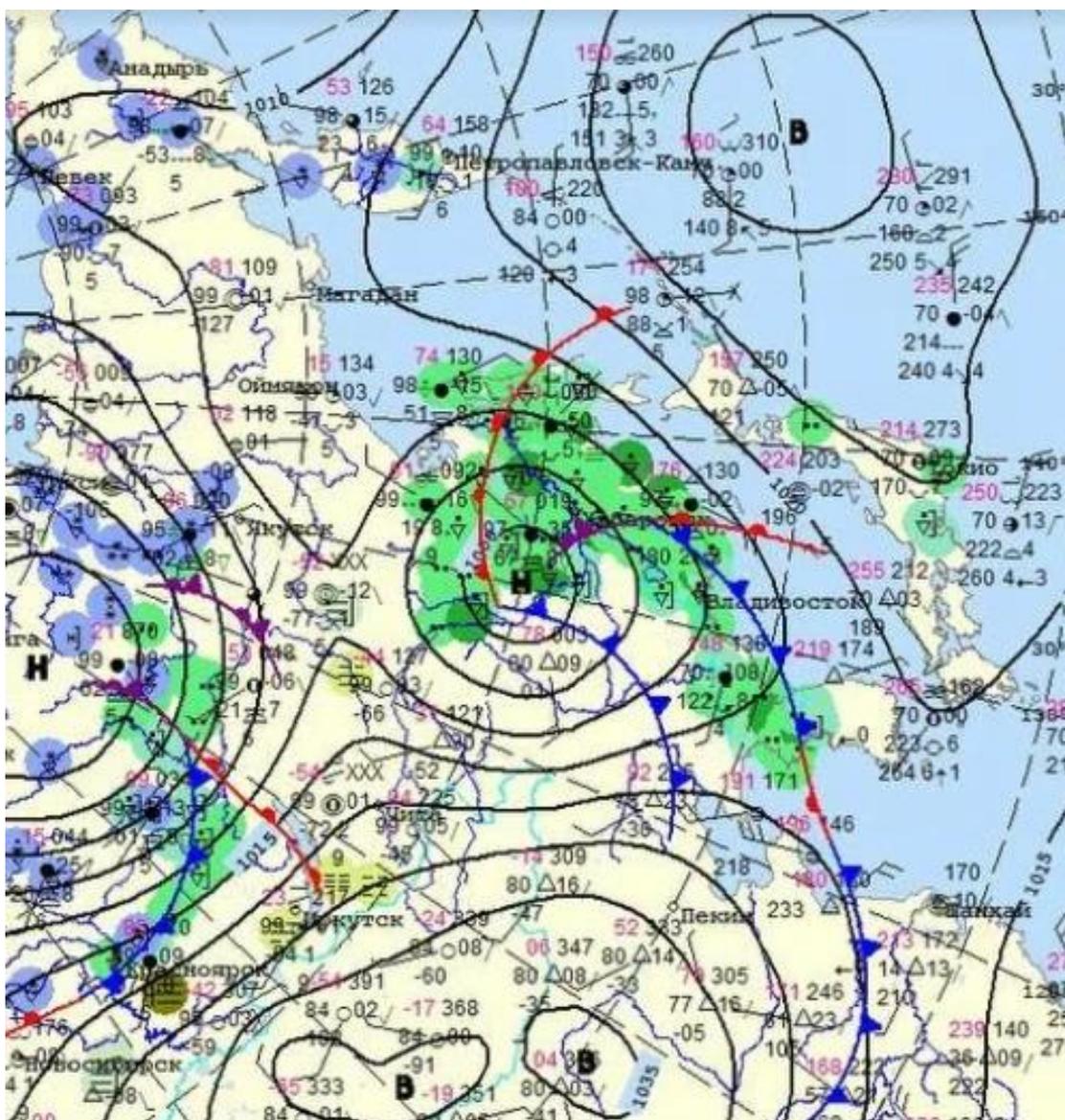


Рис. 3.4.3 – Синоптическая карта за 10.10.2021 00 UTC

Пример 2 (Рис. 3.4.4): 18.11.2023 были зафиксированы два случая сдвига ветра в 3:54 и 5:22 умеренной и слабой интенсивностей, соответственно. Наблюдались они на высотах от 0 до 900 м. Направление ветра ССЗ (330 и 340 градусов). Скорость ветра - 5-7 м/с, порыв - 10 м/с. Наблюдалась облачность: разбросанные кучево-дождевые облака (SCT Cb) и сплошная высоко-кучевая (OVC Ac).

За ХФ часто наблюдаются сильные порывистые ветры, которые приводят к такому явлению как СВ. Во втором примере аэродром заключен между двумя холодными фронтами, что вдвойне усилило циркуляционные эффекты, которые и привели к СВ.

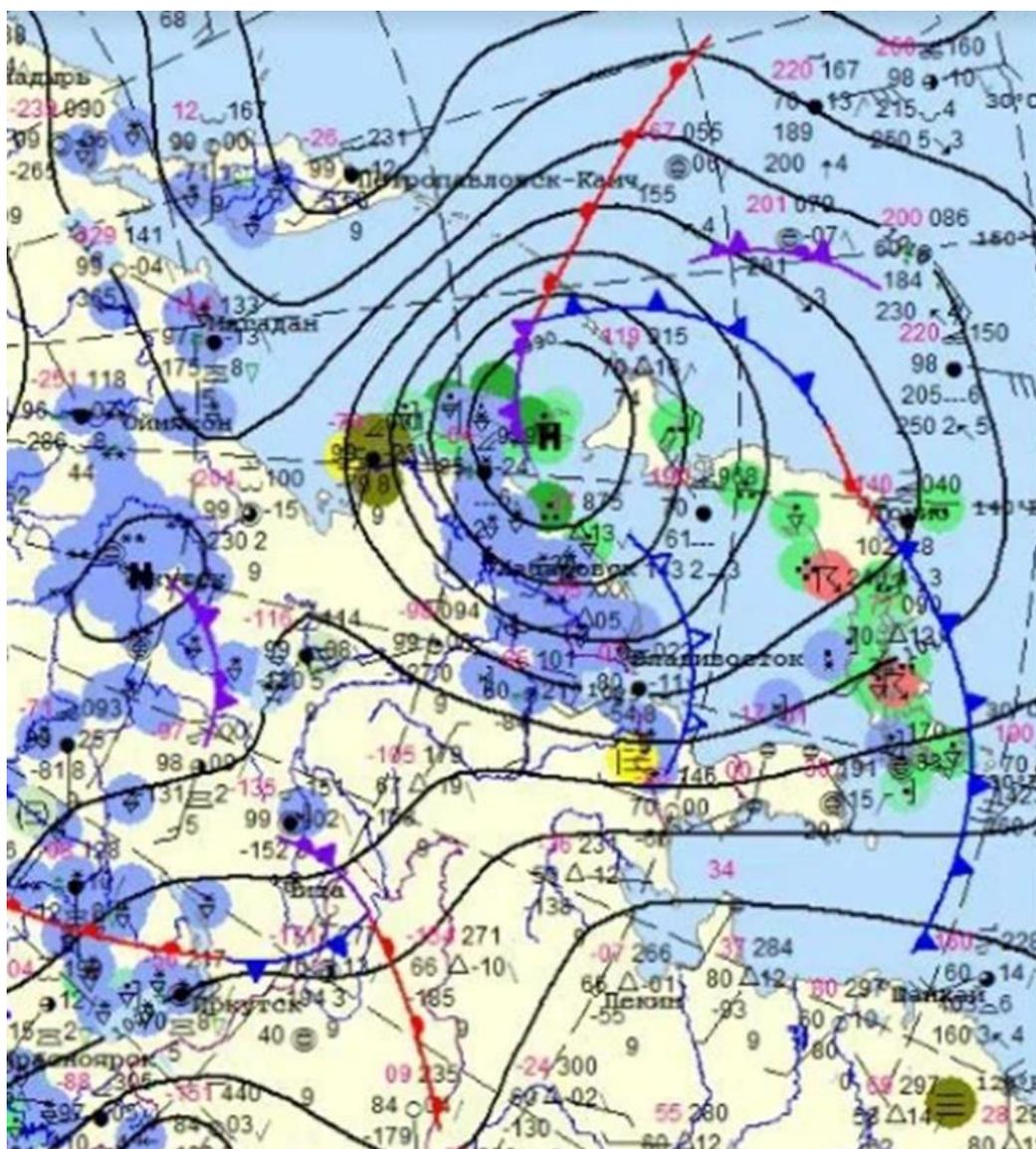


Рис. 3.4.4 – Синоптическая карта за 18.11.2023 00UTC

Случаи СВ при размытом барическом поле

Пример 1 (Рис. 3.4.5): 16.08.2022 в 1:30 и 5:23 было зафиксировано два случая сдвига ветра слабой и умеренной интенсивностей на высотах от 0 до 1200 м. Направление ветра от СЗ до С (от 340 до 360 градусов), скорость ветра - 4-6 м/с. Наблюдалась облачность: разбросанная слоисто-кучевая (SCT Sc) и значительная высоко-кучевая (BKN Ac). Также в журнале фактической погоды АВ-6 зафиксировано что в 3:00 по UTC наблюдалось развитие конвективной облачности.

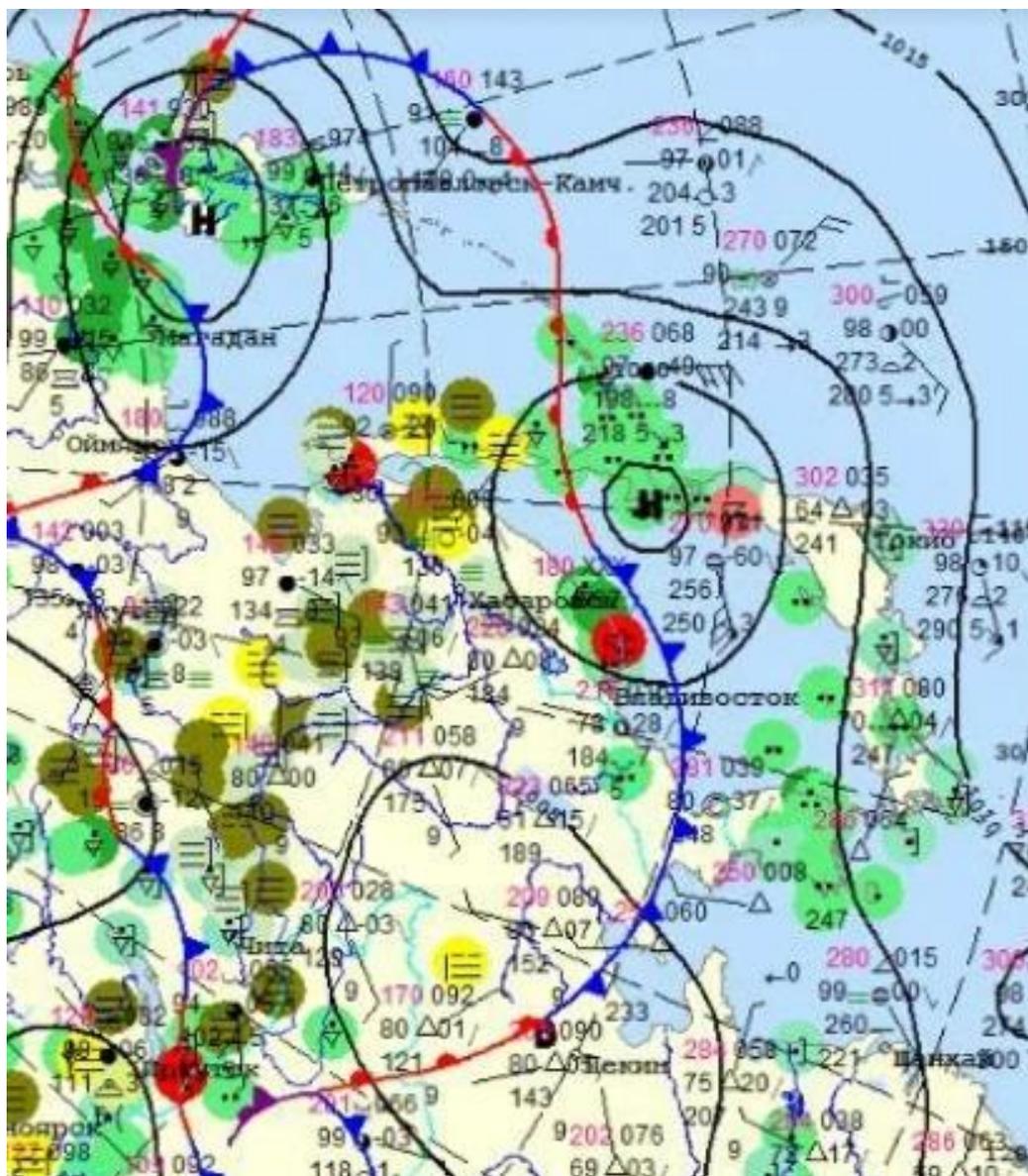


Рис. 3.4.5 – Синоптическая карта за 16.08.2022 00 UTC

Пример 2 (Рис. 3.4.6): 24.07.2021 в 4:54 UTC был зафиксирован сдвиг ветра умеренной интенсивности на высотах от 100 до 300 м. Направление ветра ЮЗ (230 градусов). Скорость ветра - 4 м/с. Наблюдалась облачность: несколько слоисто-кучевые (FEW Sc) и значительная перистая (BKN Ci).



Рис. 3.4.6 – Синоптическая карта за 24.07.2021 00UTC

Ранее было выяснено, что явление СВ при синоптической ситуации размытое барическое поле возможен, но возникает не так часто. Для возникновения СВ требуется сочетание слабого ветра и локальных

возмущений, которые вызваны орографией вблизи аэродрома, что происходит нечасто.

Случаи СВ сильной интенсивности

Пример 1 (Рис 3.4.7): сдвиг ветра сильной интенсивности был зафиксирован 06.04.2022 в 3:53 UTC на высотах от 450 до 1200 м и на этих же высотах была зафиксирована умеренная болтанка. Направление ветра ЗСЗ (280 градусов). Скорость ветра - 5 м/с, порыв - 11 м/с. Наблюдались следующие формы облачности: несколько слоисто-кучевые (FEW Sc) и значительные перистые (BKN Ci).

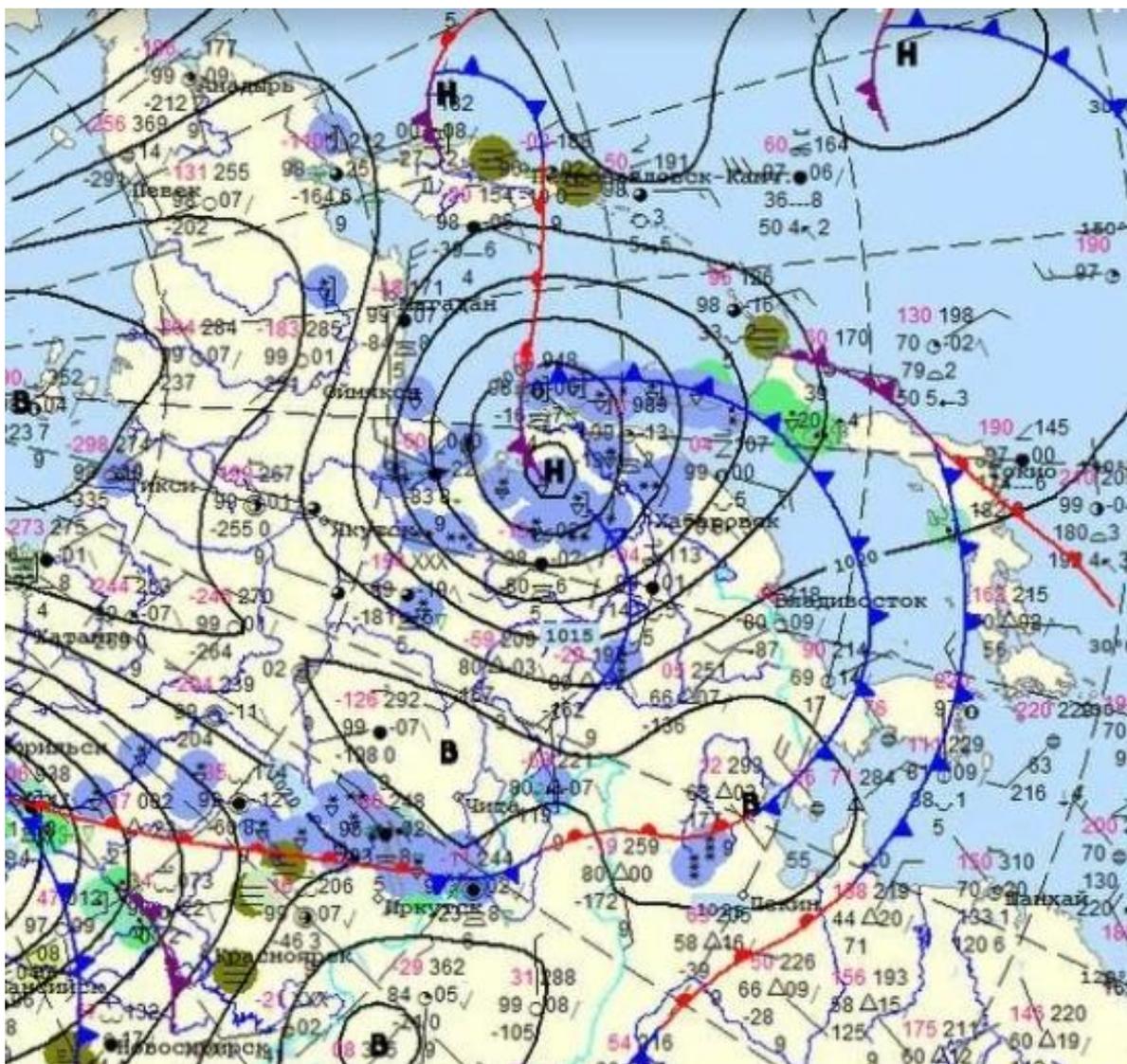
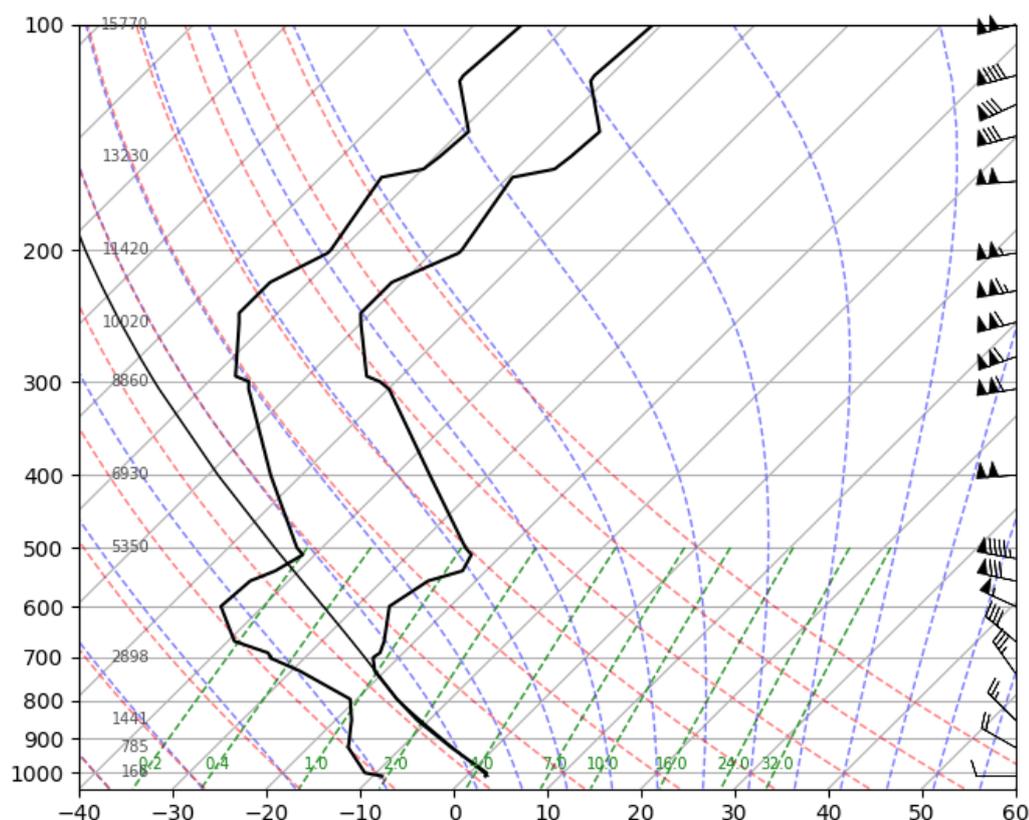


Рис. 3.4.7 – Синоптическая карта за 06.04.2022 00UTC

Синоптическая ситуация – тыловая часть ложбины, т.е. типичная для такого явления как сдвиг ветра. Сдвиг ветра наблюдался именно сильной интенсивности, скорее всего из-за наложения двух факторов. Данное явление произошло на аэродроме под влиянием тыла ложбины глубокого циклона, в центре которого давление было менее 990 гПа, и при этом аэродром находился позади холодного фронта, где часто наблюдаются шквалистые ветры. Наложение данных двух факторов и спровоцировало сдвиг сильной интенсивности.

Решено было рассмотреть и данные метеозондирования в срок ближайший ко времени, когда был зафиксирован СВ (Рис 3.4.8 и 3.4.9).

Station 31977 at 00 UTC 06 Apr 2022
VLADIVOSTOK (SAD GOROD), Russian Federation (in Asia)



University of Wyoming Atmospheric Science

Рис. 3.4.8 – Аэрологическая диаграмма за 06.04.2022 00UTC

VLADIVOSTOK (SAD GOROD), Russian Federation (in Asia)

Latitude: 43.260 Longitude: 132.050

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SPED	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	m/s	K	K	K
1010.0	82	2.0	-9.0	44	1.92	270	5.0	274.4	279.8	274.7
1000.0	166	1.8	-11.2	37	1.63	270	6.0	274.9	279.6	275.2
966.0	441	-1.1	-13.2	39	1.43	275	8.0	274.8	278.9	275.0
925.0	785	-4.7	-15.7	42	1.22	300	10.0	274.5	278.1	274.7
868.0	1278	-9.7	-17.7	52	1.10	320	12.0	274.4	277.6	274.5
850.0	1441	-11.3	-18.3	56	1.07	315	13.0	274.3	277.4	274.5
797.0	1932	-15.7	-20.7	65	0.93	319	15.2	274.7	277.4	274.8
736.0	2527	-20.7	-28.4	50	0.50	325	18.0	275.6	277.1	275.7
731.0	2578	-21.1	-29.1	49	0.47	324	18.4	275.7	277.1	275.7
702.0	2877	-22.7	-33.7	36	0.32	320	20.8	277.1	278.1	277.1
700.0	2898	-22.7	-33.7	36	0.32	320	21.0	277.3	278.3	277.4
695.0	2951	-22.6	-34.1	34	0.31	315	22.0	278.0	279.0	278.1
691.0	2993	-22.5	-34.5	33	0.30	314	21.8	278.6	279.5	278.6
667.0	3252	-23.3	-39.3	22	0.19	310	20.5	280.5	281.1	280.5
639.0	3564	-24.6	-41.4	20	0.16	305	19.0	282.5	283.0	282.5
599.0	4034	-26.5	-44.5	17	0.12	295	29.0	285.5	286.0	285.6
554.0	4600	-25.1	-44.1	15	0.14	282	41.0	293.6	294.1	293.7
547.0	4693	-24.0	-43.4	15	0.15	280	43.0	296.0	296.5	296.0
537.0	4827	-22.5	-42.5	14	0.17	280	44.6	299.4	300.0	299.4
517.0	5106	-23.1	-41.6	17	0.19	280	48.0	301.9	302.6	301.9
511.0	5191	-23.3	-41.3	18	0.20	278	48.3	302.7	303.4	302.7
500.0	5350	-24.7	-42.7	17	0.18	275	49.0	302.9	303.5	302.9
400.0	6930	-36.3	-53.3	16	0.07	265	52.0	307.7	308.0	307.7

Рис. 3.4.9 – Данные метеозонда за 06.04.2022 00UTC

Как видно: инверсионный слой сильно выше (2900-3000 м и 4500-4900 м) слоя, где наблюдался СВ (от 0 до 500 м и от 40 до 1200 м). Т.е. температурная инверсия тут не могла никак повлиять на интенсивность данного СВ.

Пример 2 (Рис. 3.4.10): сдвиг ветра сильной интенсивности был зафиксирован 23.01.2023 в 1:08 UTC на высотах от 0 до 200 м, донесение о данном явлении было передано с борта военного воздушного судна. Направление ветра ССЗ (330 градусов). Скорость ветра - 5 м/с. Наблюдалась облачность высоко-кучевой (Ac) формы.

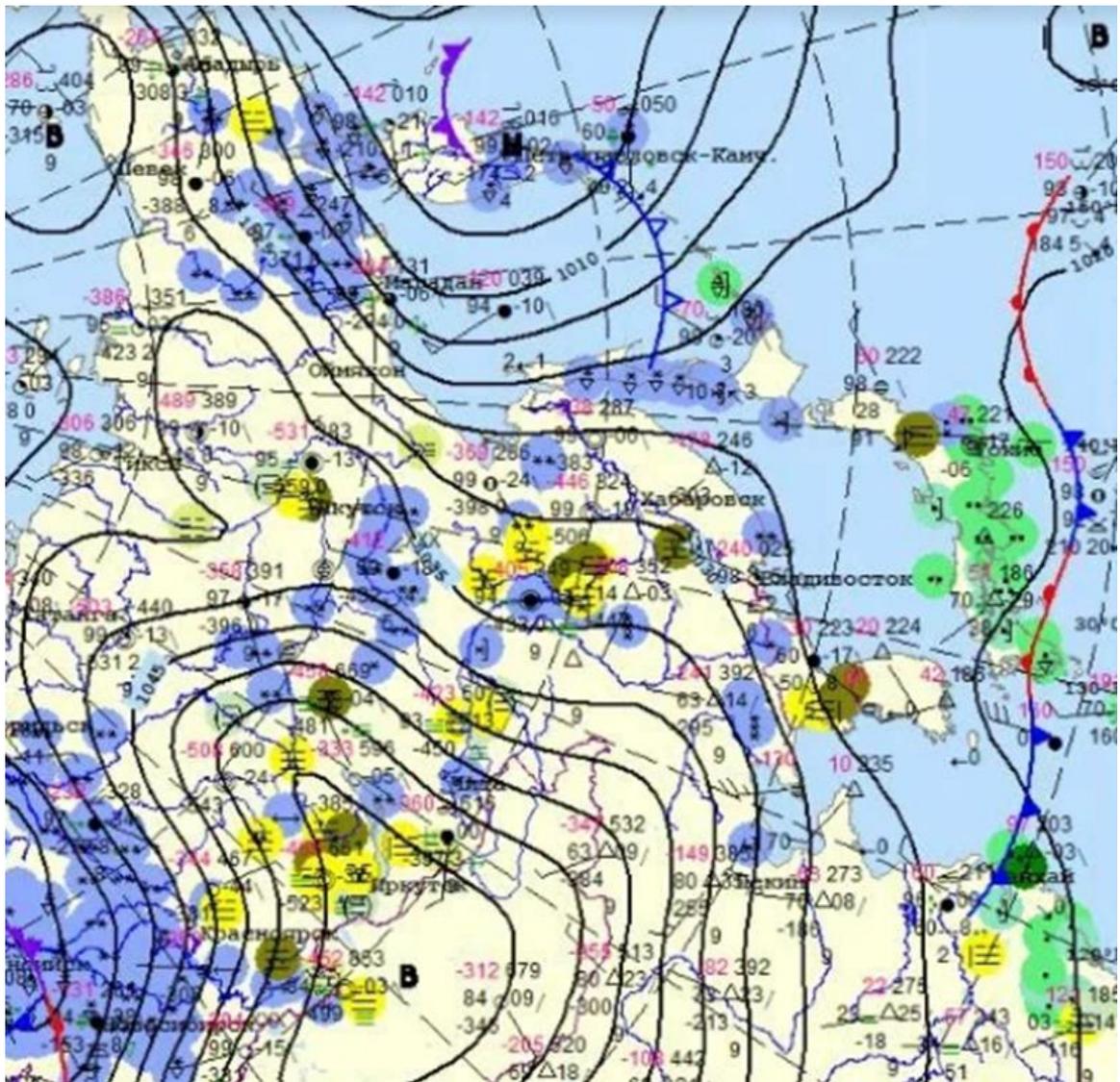


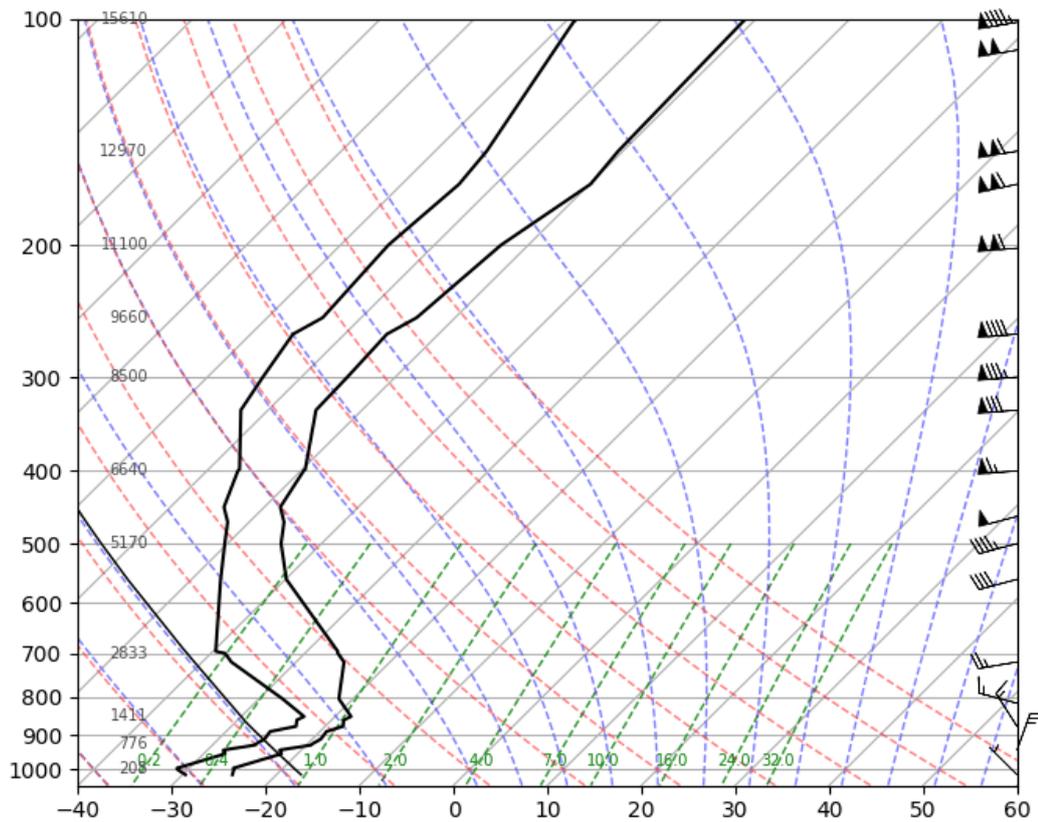
Рис. 3.4.10 – Синоптическая карта за 23.01.2023 00UTC

Данный сдвиг ветра был зафиксирован при нетипичной синоптической ситуации для этого явления – при нахождении аэродрома в передней части гребня. Сдвиг ветра при данной синоптической ситуации наблюдался лишь в 7% (14 зафиксированных случаев из 215). Образование сдвига ветра именно сильной интенсивности при такого рода синоптической ситуации скорее всего связано с большим градиентом давления, который и вызвал резкое усиление ветра. Давление в центре антициклона наблюдалось высокое – 1085,3 гПа, а у аэродрома Кневичи давление составило 1024,6 гПа. Также возможно дополнительное влияние от местных особенностей – при определенных углах

набегающего на сопки ветра передняя часть ложбины могла усилить турбулентность и сдвиг ветра из-за орографического эффекта.

Также были рассмотрены аэрологическая диаграмма и данные метеозонда, который был запущен в ближайший срок от времени, в которое был зафиксирован СВ (Рис. 3.4.11 и 3.4.12).

Station 31977 at 00 UTC 23 Jan 2023
VLADIVOSTOK (SAD GOROD), Russian Federation (in Asia)



University of Wyoming Atmospheric Science

Рис. 3.4.11 – Аэрологическая диаграмма за 23.01.2023 00UTC

VLADIVOSTOK (SAD GOROD), Russian Federation (in Asia)

Latitude: 43.260 Longitude: 132.050

PRES	HGHT	TEMP	DWPT	RELH	MIXR	DRCT	SPED	THTA	THTE	THTV
hPa	m	C	C	%	g/kg	deg	m/s	K	K	K
1016.0	82	-24.7	-29.7	63	0.32	315	2.0	247.3	248.2	247.4
1000.0	208	-25.1	-31.1	57	0.29	340	3.0	248.0	248.9	248.1
996.0	237	-25.3	-31.3	57	0.28	350	3.7	248.1	248.9	248.2
994.0	252	-25.1	-31.1	57	0.29	355	4.0	248.4	249.2	248.5
965.0	467	-22.7	-28.7	58	0.37	15	13.0	253.0	254.0	253.0
953.0	557	-21.7	-27.7	58	0.41	17	13.0	254.9	256.1	255.0
942.0	642	-22.3	-28.3	58	0.40	20	13.0	255.2	256.3	255.2
941.0	650	-22.1	-28.1	58	0.40	20	13.0	255.4	256.6	255.5
928.0	752	-19.5	-25.5	59	0.52	12	12.2	259.1	260.6	259.2
925.0	776	-19.5	-25.5	59	0.52	10	12.0	259.4	260.9	259.4
914.0	866	-19.2	-25.2	59	0.54	355	11.0	260.6	262.1	260.7
911.0	890	-19.1	-25.1	59	0.55	356	10.4	260.9	262.5	261.0
890.0	1065	-19.3	-25.3	59	0.55	360	6.4	262.4	264.0	262.5
888.0	1082	-19.1	-25.0	60	0.57	0	6.0	262.8	264.4	262.9
876.0	1184	-18.1	-23.1	65	0.68	328	6.5	264.9	266.9	265.0
864.0	1288	-18.5	-23.5	65	0.67	295	7.0	265.5	267.4	265.6
859.0	1332	-18.7	-23.7	65	0.66	291	7.7	265.7	267.7	265.8
850.0	1411	-18.3	-23.3	65	0.69	285	9.0	267.0	269.0	267.1
840.0	1499	-19.0	-24.2	63	0.64	275	10.0	267.1	269.0	267.2
816.0	1713	-20.7	-26.5	60	0.54	285	7.0	267.5	269.2	267.6
805.0	1814	-21.5	-27.5	58	0.50	282	7.6	267.7	269.2	267.8
719.0	2639	-24.9	-36.9	32	0.23	260	12.8	272.8	273.5	272.8
700.0	2833	-26.5	-38.5	31	0.20	255	14.0	273.1	273.7	273.1

Рис. 3.4.12 – Данные метеозонда за 23.01.2023 00UTC

Как видно: инверсия температуры была зафиксирована в слое от 250 до 600 м, что близко к слою, где наблюдался СВ (0-200 м). В этом случае можно говорить о том, что на интенсивность рассматриваемого СВ влияние могло оказать не только сила мощного антициклона и резкий перепад давления, но и инверсионный слой, о влиянии которого на СВ говорилось выше.

Заключение

В ходе данной работы были исследованы повторяемости сдвига ветра по интенсивности, рассмотрено распределение данного явления на различных высотах, и, самое главное - было выяснено при каких синоптических ситуациях чаще всего происходит сдвиг ветра и установлен механизм его возникновения.

Благодаря данному исследованию были выявлены следующие предикторы для своевременного прогноза явления сдвига ветра на аэродроме Кневичи (Международный аэропорт Владивосток):

1. СВ чаще наблюдается в холодный период года – спад возникновения данного явления наблюдается в период с мая по сентябрь (в 2021 году за период октябрь-апрель среднее значение количества случаев СВ за месяц - 11 случаев, то же самое расчетное значение за период май-сентябрь составило 3 случая СВ в месяц).

2. СВ чаще всего наблюдается умеренной интенсивности (75% случаев).

3. СВ чаще всего наблюдается на высотах от 0 до 1500 м (зафиксированных случаев сдвига ветра на высотах более 1500 м всего 3% от общего количества зафиксированных случаев).

4. СВ чаще всего возникает при следующих синоптических ситуациях: тыловая часть ложбины (48,2%), прохождение холодного фронта (17,7%) и размытое барическое поле (9,2%). Однако, не всегда под влиянием данных синоптических ситуаций может возникнуть СВ. Все зависит от того, насколько явно выражены процессы, провоцирующие СВ, при данных синоптических ситуациях, от динамики и скорости изменчивости погоды вблизи аэродрома.

5. Также следует отметить, что часто сдвиг ветра в холодный период года при синоптической ситуации тыловая часть ложбины сопровождался еще и влиянием Сибирского (Азиатского) антициклона (80% случаев).

Несмотря на значительное снижение количества авиационных происшествий и инцидентов, связанных с влиянием сдвига ветра, за последние 10 лет, данное явление продолжает оставаться одной из наиболее серьезных угроз для безопасности полетов. По своей потенциальной опасности сдвиг ветра по-прежнему представляет собой "невидимого убийцу" в авиации. Это требует от авиационного сообщества постоянного поддержания высокого уровня настороженности, непрерывного совершенствования программ подготовки пилотов и регулярного обучения экипажей особенностям распознавания и действий в условиях сдвига ветра [1].

Данное исследование позволит в дальнейшем повысить точность прогнозирования и снизить риск авиационных происшествий, связанных со сдвигом ветра, так как метеоспециалисты аэродрома города Владивостока, зная типичные ситуации для возникновения данного опасного явления, смогут заранее предупреждать авиационные службы о повышенных рисках. В свою очередь пилоты, выполняющие рейсы на данном аэродроме, смогут заблаговременно продумать альтернативные схемы захода на посадки.

Список использованной литературы

1. Международная организация гражданской авиации «Руководство по сдвигу ветра на малых высотах», издание первое (2005).
2. Конспекты лекций по дисциплине «Авиационная метеорология» (рукописный вариант).
3. Брошюра, подготовленная Австралийским метеорологическим бюро [электронный ресурс]: https://www.avsim.au/wiki/%D0%A1%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3_%D0%B2%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B0 (дата обращения: 24.04.2025)
4. Статья «Одно из природных и довольно опасных явлений - Микропорыв (микрошквал)» [электронный ресурс]: <https://dzen.ru/a/YLIhk7-00HqSShJj> (дата обращения: 12.03.2025)
5. Статья Федерального агентства воздушного транспорта (Росавиация) [электронный ресурс]: <https://www.favt.gov.ru/new-version/novosti-novosti/?id=4511> (дата обращения: 28.04.2025)
6. Основы авиационной метеорологии (2009) Богаткин О.Г.
7. Сайт Ставропольского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды - филиал ФГБУ "Северо-Кавказское УГМС" (СТАВРОПОЛЬСКИЙ ЦГМС) [электронный ресурс]: <http://stavrogoda.ru> (дата обращения: 03.05.2025)
8. Статья от новостного сайта о погоде «Утро туманное...» [электронный ресурс]: <https://www.meteo vesti.ru/news/63328206829-utro-tumannoe...> (дата обращения: 02.05.2025)