

ВСЕМИРНАЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

АВИАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ РИСКА

**ПРОГРАММА ОБУЧЕНИЯ И ПОДГОТОВКИ
ETR - №20**

ВМО – ТД - №1390

Секретариат Всемирной Метеорологической Организации
Женева – Швейцария
Июнь 2007

ПРИМЕЧАНИЕ

Применяемые обозначения и изложение материала в настоящей публикации не означают выражения какого бы то ни было мнения части организаций, участвующих в публикации, в отношении правового статуса какой-либо страны, территории, города или района, или их властей, а также в отношении делимитации их границ.

Настоящий документ не является официальной публикацией ВМО и не подвергался стандартной редакторской процедуре ВМО. Мнения, выраженные здесь, не обязательно отражают точку зрения ВМО.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
1. Введение.....	6
2. Турбулентность и сдвиг ветра	6
2.1 ТУРБУЛЕНТНОСТЬ ИЗ-ЗА КОНВЕКЦИИ – КОНВЕКТИВНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ.....	7
2.1.1 Описание	7
2.1.2 Воздействие на воздушное судно	7
2.1.3 Анализ рисков с использованием соответствующих изображений	9
2.1.4 Эмпирические прогностические методики.....	9
2.1.5 Соответствующие продукты численных моделей	10
2.1.6 Два примера	10
2.2 МЕХАНИЧЕСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ	12
2.2.1 Описание	12
2.2.2 Воздействие на воздушное судно	12
2.2.3 Оценка турбулентности при использовании соответствующих изображений ..	13
2.2.4 Эмпирические методики прогнозирования	13
2.2.5 Соответствующие продукты численных моделей	13
2.3 ОРОГРАФИЧЕСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ	14
2.3.1 Описание	14
2.3.2 Воздействие на воздушное судно	15
2.3.3 Оценка опасности с использованием соответствующих изображений	16
2.3.4 Эмпирические прогностические методики.....	16
2.3.5 Соответствующие продукты численных моделей	17
2.3.6 Небольшой конкретный пример	17
2.4 ТУРБУЛЕНТНОСТЬ ЯСНОГО НЕБА	18
2.4.1 Описание	18
2.4.2 Воздействие на воздушное судно	18
2.4.3 Диагностирование риска с помощью соответствующих изображений	18
2.4.4 Эмпирические методики прогнозирования	20
2.4.5 Соответствующие продукты численных моделей	21
2.4.6 Небольшой пример.....	22
2.5 СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ НИЗКОГО УРОВНЯ	23
2.5.1 Описание	23
2.5.2 Влияние на воздушное судно	23
2.5.3 Анализ рисков с применением изображений	24
2.5.4 Эмпирические методики прогнозирования	26
2.5.5 Соответствующие продукты численных моделей	26
2.5.6 Краткий учебный пример	26
2.6 ТУРБУЛЕНТНЫЙ СЛЕД/ ВИХРЕВЫЕ СЛЕДЫ	28
2.6.1 Описание	28
2.6.2 Воздействие на воздушное судно	28
2.6.3 Анализ рисков с использованием соответствующих изображений	28
2.6.4 Эмпирические методики прогнозирования	28
2.6.5 Связанные продукты численных моделей	29
2.6.6 Краткий учебный случай	29
3. ОБЛЕДЕНЕНИЕ	29
3.1 ОБЛЕДЕНЕНИЕ КОРПУСА САМОЛЕТА	30
3.1.1 Описание	30
3.1.2 Воздействие на воздушное судно	31
3.1.3 Анализ рисков с использованием соответствующих изображений	32
3.1.4 Эмпирические методики прогнозирования	33

3.1.5 Краткий учебный случай.....	37
3.2 ОБЛЕДЕНЕНИЕ МОТОРА И КАРБЮРАТОРА	38
4. КУЧЕВО-ДОЖДЕВАЯ ОБЛАЧНОСТЬ И ГРОЗЫ	38
4.1 СИЛЬНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ	39
4.2 СИЛЬНОЕ ОБЛЕДЕНЕНИЕ.....	39
4.3 МИКРОВЗРЫВЫ.....	39
4.4 ГРОЗЫ И ГРОЗОВЫЕ РАЗРЯДЫ.....	39
4.4.1 Описание.....	39
4.4.2 Воздействие на воздушное судно.....	39
4.4.3 Анализ рисков, используя соответствующие изображения.....	40
4.4.4 Эмпирические методики прогнозирования.....	40
4.4.5 Соответствующие продукты численных моделей.....	41
4.5 СИЛЬНЫЙ ДОЖДЬ.....	41
4.5.1 Описание.....	41
4.5.2 Воздействие на воздушное судно.....	41
4.5.3 Анализ риска, используя соответствующие снимки	41
4.5.4 Эмпирические методики прогнозирования.....	42
4.5.5 Связанные продукты численных моделей.....	42
4.6 ГРАД	42
4.6.1 Описание.....	42
4.6.2 Влияние на воздушное судно.....	42
4.6.3 Анализ рисков с использованием соответствующих снимков.....	42
4.6.4 Эмпирические методики прогнозирования.....	43
4.6.5 Связанные продукты численных моделей.....	43
4.6.6 Краткий учебный случай.....	43
5 СИЛЬНЫЙ ДОЖДЬ.....	43
6 СНЕГ	44
6.1 Описание.....	44
6.2 Влияние на воздушное судно.....	44
6.3 Анализ с использованием соответствующих изображений.....	44
6.4 Эмпирические методики прогнозирования.....	44
6.5 Соответствующие продукты численных методов	45
6.6 Краткий учебный случай.....	45
7 ТУМАН	45
7.1 Описание.....	45
7.2 Влияние на самолет	46
7.3 Анализ с использованием соответствующих снимков.....	46
7.4 Эмпирические методики прогнозирования.....	46
7.5 Связанные продукты численных методов	46
8 НИЗКАЯ ОБЛАЧНОСТЬ/ПЛОХАЯ ВИДИМОСТЬ	46
8.1 Описание.....	46
8.2 Воздействие на воздушное судно.....	47
8.3 Анализ с использованием соответствующих изображений.....	47
8.4 Эмпирические методики прогнозирования.....	47
8.5 Соответствующие продукты численных методов	49
9 ПЕСЧАНЫЕ И ПЫЛЬНЫЕ БУРИ	49
9.1 Описание.....	49
9.2 Влияние на воздушное судно.....	49
9.3 Анализ с использованием соответствующих изображений.....	50
9.4 Эмпирические методики прогнозирования.....	50
9.5 Соответствующие продукты численных моделей.....	50
9.6 Краткий учебный случай.....	51
10 ШКВАЛЫ/ЛИНИИ ШКВАЛОВ	51

10.1 Описание	51
10.2 Влияние на воздушное судно	51
10.3 Анализ с использованием соответствующих изображений.....	51
10.4 Эмпирические методики прогнозирования	51
10.5 Связанные продукты численных методов	52
10.6 Краткий учебный случай	52
11 'ГОРЯЧИЕ И ВЫСОКИЕ'	52
11.1 Описание	52
11.2 Воздействие на воздушное судно	52
11.3 Анализ с использованием соответствующих изображений.....	52
11.4 Эмпирические методики прогнозирования	52
11.5 Связанные продукты численных методов	52
ССЫЛКИ.....	53

1. Введение

Настоящий документ является руководством для авиационных синоптиков-прогнозистов. Его назначение – обсудить множество и разнообразие явлений, которые могут, к несчастью, представлять опасность для авиации.

Задержки рейсов – это самое меньшее, что могут вызывать обсуждаемые явления, уменьшая, таким образом, эффективность выполнения полетов. Но они также снижают безопасность полетов и, хуже всего, они могут привести к потере оборудования, а, самое важное, утрате жизней людей.

Хотя здесь упоминаются некоторые методики прогнозирования, сам по себе данный документ не является наставлением по прогнозированию. Предполагается, что читатель хорошо знаком с довольно специфичными терминами, используемыми в метеорологии. Синоптики - практики, читающие данный документ, должны иметь свободный доступ к большинству включенных текстов по различным вопросам.

Данная публикация является результатом объединенных усилий инструкторов и преподавателей Мет Офиса, Великобритания. Поэтому для иллюстрации делаются некоторые ссылки на методики прогнозирования в Мет Офисе.

2. Турбулентность и сдвиг ветра

Сдвиг ветра можно определить как “слои или столбы воздуха, движущиеся с разными скоростями (т.е. скоростью и/или направлением) относительно соседних слоев или столбов воздуха”. Сдвиг ветра представляет главную опасность для авиации, особенно при выполнении полетов на низких высотах. Даже когда полет происходит внутри слоя с ламинарным течением и полет спокоен и тих, резкое пересечение границ разных ламинарных потоков может в большей или меньшей степени ускорять самолет. В зависимости от направления полета относительно изменений скорости, сдвиг может ощущаться как турбулентность, но также может ощущаться как внезапный попутный или встречный ветер с соответствующими последствиями.

После конвекции сдвиг ветра является вторым основным источником турбулентности. Основы гидродинамики говорят, что любая текучая среда, такая, как атмосфера, может выдержать только максимум сдвига между слоями ламинарного течения, прежде чем разбиться на турбулентный поток.

Одни воздушные суда более чувствительны к воздействию турбулентности, чем другие. Легкий самолет подвержен ударам и ощущает значительное воздействие даже при слабой турбулентности. Относительно немного сообщений о турбулентности поступает от быстрых военных реактивных самолетов, призванных иметь высокую степень устойчивости.

ИКАО подразделяет интенсивность турбулентности на такие категории:

- **Слабая**
 - Воздействия меньшие, чем при умеренной интенсивности.
- **Умеренная**
 - Могут быть умеренные изменения положения и/или высоты воздушного судна, но оно остается контролируемым все время.
 - Вариации скорости воздуха обычно небольшие.
 - Изменения отсчетов акселерометра в центре тяжести самолета в пределах 0.5 - 1g.
 - Пассажиры чувствуют натяжение привязных ремней. Трудно ходить. Незакрепленные предметы передвигаются.
- **Сильная**
 - Внезапные изменения положения и/или высоты воздушного судна. Воздушное судно на короткие периоды может выходить из-под контроля.
 - Вариации скорости ветра обычно большие.
 - Изменения отсчетов акселерометра в центре тяжести самолета более 1.0g (но заметим, что военные летчики считают сильными изменения +4g/-2g).
 - Пассажиры испытывают сильное давление привязных ремней. Незакрепленными предметами швыряет.
- **Чрезвычайная**
 - Рассказывают, что воздействия более значительны, чем при сильной интенсивности.

Исходя из вышесказанного, мы отмечаем, что единственным критерием, который не является субъективным, есть отсчеты бортового акселерометра. Преобразование “стандартных” параметров, доступных синоптику, - скорость ветра, порывы, устойчивость и проч., к его

значениям, неизбежно было бы очень трудным и требовало бы конкретного расчета по каждому самолету отдельно. Поэтому дежурные синоптики должны полагаться на более общие эмпирические правила и взаимосвязи.

Сам по себе сдвиг ветра таким способом не категоризируется, хотя, когда в конце концов его присутствие становится ощутимым, вышеуказанные категории турбулентности могут применяться. Мы будем по очереди рассматривать следующие вопросы:

- конвективная турбулентность
- механическая, в основном турбулентность низкого уровня
- орографическая вынужденная турбулентность
- турбулентность ясного неба (CAT)
- струйные течения низкого уровня
- турбулентный след / вихревые следы

2.1 ТУРБУЛЕНТНОСТЬ ИЗ-ЗА КОНВЕКЦИИ – КОНВЕКТИВНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

2.1.1 Описание

Конвекция всегда связана с турбулентностью, поэтому такая турбулентность называется конвективной турбулентностью. Происхождение и физическая причина последней может варьироваться:

- Вертикальные потоки внутри и возле конвективных облаков турбулентны;
- Растущие конвективные башни облаков могут создавать гравитационные волны, которые распространяются либо радиально, например, в пределах наковальни, либо могут также распространяться вертикально;
- Сухие термики (т.е. ненасыщенный поднимающийся воздух);
- Нисходящие движения, связанные с осадками или холодными слоями воздуха среднего уровня. Они могут создавать линии шквалов вблизи ливней.

Термическая турбулентность над сушей имеет явно выраженный суточный ход с максимумом после обеда и минимумом в полночь. Грозы, напротив, могут продолжаться в течение всей ночи и распространяться на большие расстояния в несколько сотен километров.

2.1.2 Воздействие на воздушное судно

Самое простое, что бывает в полете при конвективной турбулентности – болтанка. Ясно, что при возрастании интенсивности турбулентности в соответствии с категориями ИКАО увеличивается и ее воздействие. В конце концов, в зависимости от типа воздушного судна, сильная турбулентность может вызвать конструктивные повреждения воздушного судна. Авиакомпании больше всего беспокоит травмирование пассажиров, что может привести к подаче исков на дорогостоящую компенсацию. Следует также отметить, что поперек струи скорость восходящего течения обычно сильно изменяется. Таким образом, самолет, летящий сквозь конвективный восходящий поток, будет испытывать не только конвективную турбулентность внутри облака, но также и ускорение из-за изменяющейся вертикальной скорости ветра вдоль поперечного разреза облака. Считается, что грозовые восходящие потоки представляют даже большую опасность, чем град, разряды молний, сильный дождь и обледенение.

Кроме того, при больших бурях сильные нисходящие движения или микровзрывы могут создавать интенсивный поток воздуха вниз, который по достижению земли распространяется в стороны. Такие нисходящие движения обычно обуславливаются холодным воздухом, оседающим в окружении более теплого поднимающегося потока воздуха. Более низкие температуры могут вызываться либо испарением осадков, видимых как полосы падения, либо по большей части воздухом со среднего уровня, который сам по себе более холодный. Несмотря на то, что нисходящие потоки очень часто начинаются в глубине облака, связанный с ними риск самый большой под основанием облака. Здесь мы обнаруживаем не только отрицательную вертикальную скорость ветра, которая сама толкает воздушное судно вниз; мы также наблюдаем значительный горизонтальный сдвиг ветра. Нисходящие движения вынуждают воздух вблизи земли растекаться радиально в разные стороны. Рисунок Рис. 1а показывает типичный сценарий, а Рис. 1b иллюстрирует направление растекания. Сначала самолет испытывает встречный ветер, приподнимающий самолет, а затем резкое снижение, обусловленное сильным попутным ветром. Влияние обоих ветров приведет к существенной потере высоты, если не принять нейтрализующих

мер. Таким образом, нисходящие движения могут в результате иметь фатальные последствия, особенно для маленьких воздушных судов.

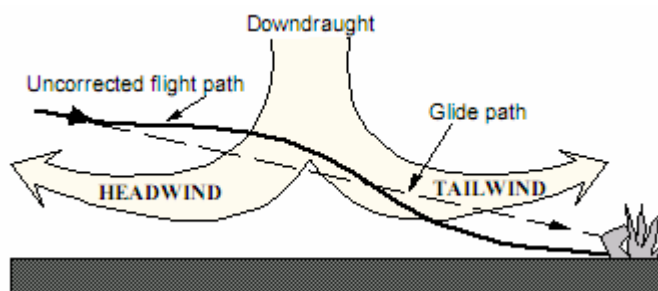


Рис. 1а Сдвиг ветра. Как нисходящие движения повлияли бы на траекторию движения воздушного судна, если бы пилоту не удалось скорректировать подъем и снижение

В вышеприведенном примере микровзрыва мы видим, как могут взаимодействовать турбулентность и сдвиг ветра. Сдвиг ветра будет присутствовать между восходящими и нисходящими столбами воздуха внутри и возле кучево-дождевого облака, и также будет сдвиг ветра через границу истекающего из микровзрыва потока воздуха по достижении им земли.

Сила восходящего течения варьируется от 1 м/сек в кучевых облаках хорошей погоды до 5 м/сек в ливневых облаках и вплоть до 65 м/сек в мощных кучево-дождевых облаках. Скорость нисходящих движений изменяется аналогично, с максимальным наблюдаемым значением -25 м/сек в кучево-дождевой облачности (см. Табл.1).

Сухие термики ощущаются как легкая или максимум средняя турбулентность.

Гравитационные волны вблизи или над башнями кучевых облаков могут приводить либо к относительным восходящим и нисходящим движениям, либо могут ощущаться как турбулентность, особенно, если их длина волны составляет порядка 100 м или менее; либо, более важно, если гравитационные волны разрушаются и вызывают турбулентность. Перед разрушением волны опрокидываются, что может привести к значительной и немедленной потере высоты.

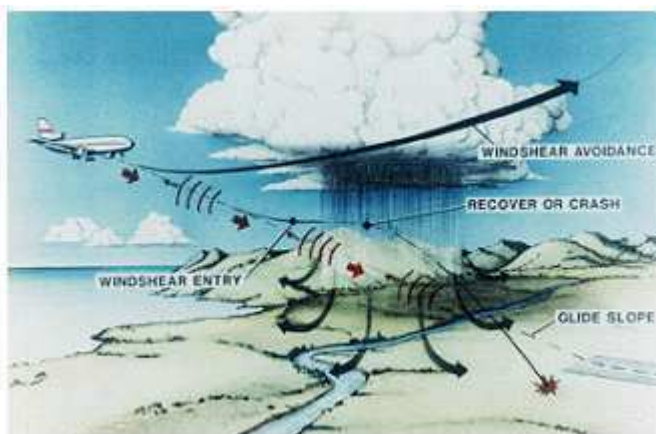


Рис. 1b Сдвиг ветра и метод уклонения от сдвига ветра
(из <http://www.nasa.gov/centers/langley/news/factsheets/Windshear.html>)

2.1.3 Анализ рисков с использованием соответствующих изображений

Спутниковые технологии позволяют контролировать развитие конвективной облачности с помощью использования системы инфракрасных и видимых изображений, что важно для краткосрочного прогнозирования.

Изображения водяного пара могут применяться для анализа зон вероятного развития, где адвекция положительного вихря (PVA) на верхних уровнях может взаимодействовать с суточными/орографическими факторами запуска конвекции. В самом деле, зона PVA может прекрасно запустить конвекцию. Мониторинг снимков водяного пара может давать прогнозные результаты на более длинный период времени.

Самые последние геостационарные спутники (такие, как Meteosat второго поколения (MSG), сейчас переименованный в Meteosat 8, или GOES-10) дают прогнозисту значительно больше информации. В дополнение к намного более высокому разрешению каналов видимого изображения, более быстрое сканирование за 15 минут позволяет осуществлять более плотный мониторинг развивающихся систем. Существуют также методики комбинирования длин волн для создания ложных цветовых схем определения оледенения вершин облаков и формирования наковален кучево-дождевой облачности.

Радиолокационные изображения неоценимы для краткосрочного прогнозирования развития гроз. Заметим, что всегда следует учитывать формирование дочерних ячеек, в том числе новых ячеек, не связанных с существующими системами.

Системы доплеровских локаторов в состоянии помочь анализировать систему относительных потоков вблизи конвективных систем. Доплеровские локаторы будут становиться все более полезными, поскольку модернизация радиолокационных систем – это требование будущего.

Системы грозоотметчиков и грозорегистраторов (такие, как Sferics или SAFIR) доступны во многих бюро прогнозов для помощи в мониторинге бурь.

2.1.4 Эмпирические прогностические методики

Существует много методик, доступных синоптику для помощи в прогнозировании конвекции, слабой или сильной. Чтобы избежать слишком больших повторений, читатель отсылается к разделу “Кучево-дождевые облака и грозы” этих заметок. Многие другие метеорологические тексты описывают методики конвекции подробно.

Критерии для прогноза опасного сдвига ветра/турбулентности на низком уровне:

Должен удовлетворяться один или более из следующих критериев:

1. Средняя скорость приземного ветра ≥ 20 узлов
2. Модуль вектора разности между средним приземным ветром и градиентным ветром (на уровне 2000 фт) ≥ 40 узлов.
3. Наличие гроз или сильных ливней в пределах десятикилометровой зоны.
4. Воздушное судно уже сообщило о значительном сдвиге ветра в ближней зоне.

Таблица 1 дает представление об интенсивности турбулентности, обычно связываемой с различными типами конвективных движений.

Табл. 1 Типовые вертикальные течения, обусловленные конвекцией

Режим	Вертикальная скорость			Турбулентность
	м/сек	узлы	фт/мин	
Плоские/средние кучевые облака	1 - 3	2 – 6	200 –600	Слабая
Кучевые мощные облака	3 – 10	6 -20	600 - 2000	Умеренная
Кучево-дождевые облака	10- 25	20 – 50	2000 – 5000	Сильная
Сильные ураганы (например, в США)	20 - 65	40 – 130	4000 - 13000	Чрезвычайная
Сухие термики	1 – 5	2 – 10	200 – 1000	Слабая/Умеренная
Восходящие течения	3 – 15	6 – 30	600 – 3000	Умеренная/Сильная
Нисходящие течения	до -25	до 50	до 5000	Чрезвычайная

Вывод: синоптик должен рассматривать все стороны вопроса – от теории основных воздушных масс через анализ фактических и прогностических тефигграмм до концептуальных моделей мезомасштабных конвективных систем и формирования дочерних ячеек.

2.1.5 Соответствующие продукты численных моделей

Помощь компьютера очень полезна для исследования мезомасштабных прогностических линий тока у земли с целью обнаружения зон конвергенции.

Смотри также раздел “Кучево-дождевые облака и грозы” этих заметок.

2.1.6 Два примера

а. Микровзрыв

9 июля 1982 года в международном аэропорту Нью-Орлеан вскоре после взлета разбился самолет Боинг 727-235. Основной причиной был микровзрыв вблизи и над полем аэродрома.

Синоптическая ситуация

Над Мексиканским заливом располагалась область высокого давления, что давало жаркий влажный полдень. В прогнозе была дана рассеяная облачность на разных высотах, умеренные ливни и грозы. В радиусе 180 км от Нью-Орлеана фронты или области низкого давления отсутствовали.

Взлет и катастрофа

После периода штиля на аэродроме начался сильный дождь, и приземный ветер стал порывистым. Аэропорт имел систему предупреждения о сдвиге ветра, и эта система выдала диспетчерам предупреждение, которое было надлежащим образом передано пилотам. Кроме того, Б-767 при посадке сообщил о сдвиге 10 узлов на высоте 100 футов.

Боинг 727-235 взлетел с ВПП28 и поднялся до высоты 100 фт прежде, чем упал и разбился за пределами аэропорта в жилой зоне.

Встречный ветер при взлете составлял 18 узлов. На расстоянии 3500 фт от точки взлета самолет подвергся нисходящему потоку 510 фт/мин (≈ 2.5 м/сек). На 4000 футах после взлета самолета попутная составляющая ветра составляла 36 узлов.

Причина

Грозовой очаг, пересекающий поле аэродрома, вызвал микровзрыв, который привел к потере высоты самолета из-за физического нисходящего потока и потере скорости полета из-за быстрого изменения направления и силы ветра.

Еще до аварии дежурный синоптик связывался с аэропортом и консультировал о возможности “очень сильных до интенсивных гроз с сильной турбулентностью, молниями и порывами ветра”. 152 человека, в том числе восемь на земле, погибли во время катастрофы.

в. Интенсивная гроза и дождь

Спутниковые снимки Йоркширской бури 19 июня 2005 года.

Следующий ряд спутниковых снимков показывает, как быстро могут развиваться ячейки мощной кучево-дождевой облачности при освобождении неустойчивости на среднем уровне.

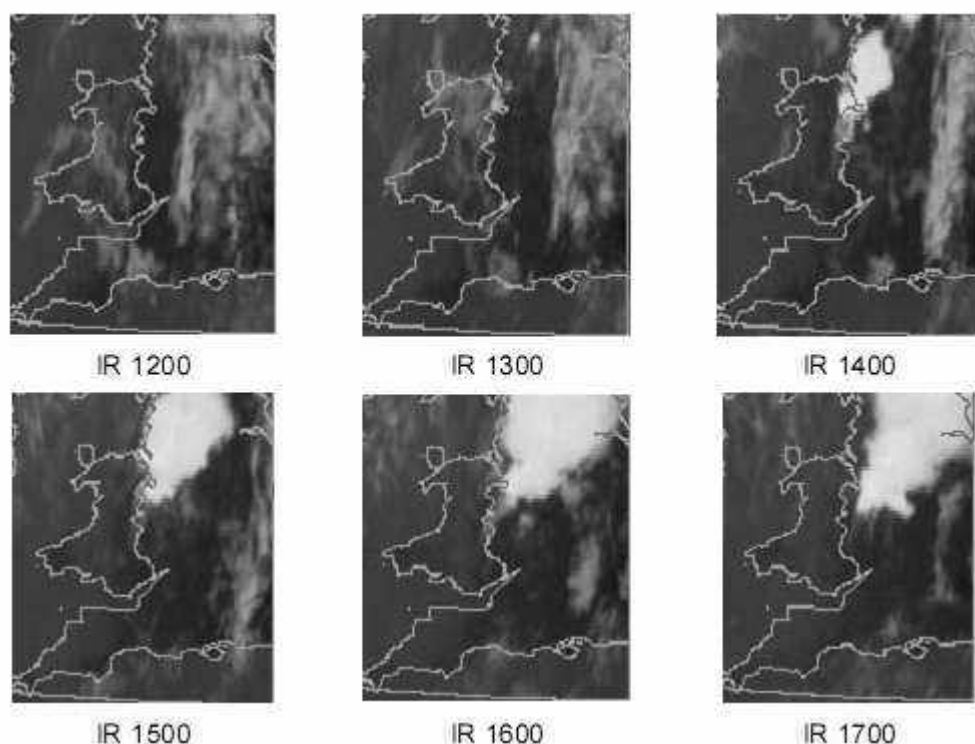


Рис. 2 Последовательность инфракрасных снимков за 19 июня 2005 г.

Инфракрасные снимки (Рис.2) показывают быстрое развитие ячеек кучево-дождевой облачности. Из снимков водяного пара (Рис. 3) можно сделать вывод, что в 0900Z зона высокого относительного вихря (темная область) стала пересекать область, где орографические и тепловые триггеры (факторы) позже инициировали конвекцию.

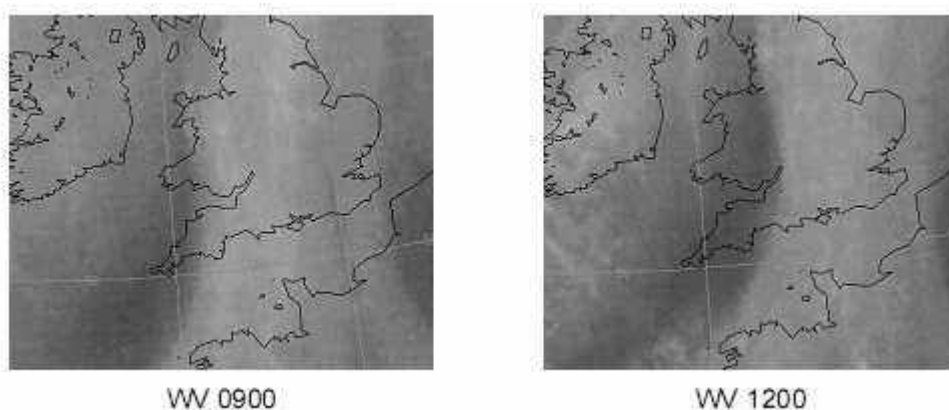


Рис. 3 Последовательность снимков водяного пара за 19 июня 2005 г.

Синоптическая карта за 1200Z 19 июня представлена на Рис. 4.

По-существу, расщепленный фронт двигался на восток через территорию Великобритании. Зона тонкого тумана, которая была явно видна над Ирландским морем и на западе Уэльса, высушивалась при прохождении через горные преграды Уэльса. Повышенная инсоляция благодаря чистому небу над Чеширом и/или вынужденное восходящее движение над горами в сочетании с потенциальной неустойчивостью на высоте вызвали сильные восходящие конвективные потоки.

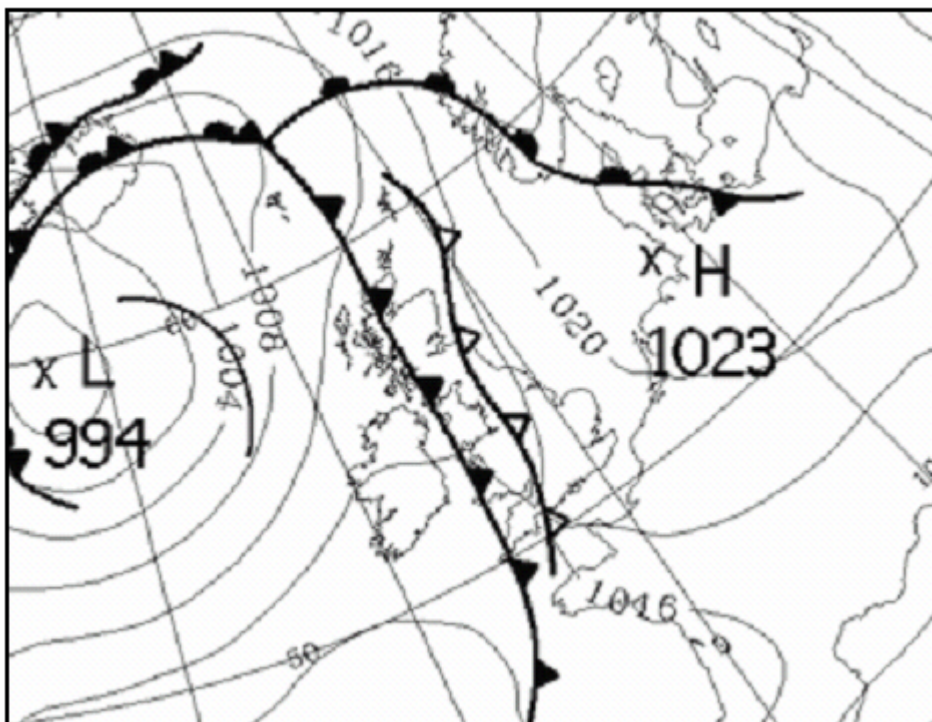


Рис. 4 Синоптическая карта за 1200Z 19 июня 2005 г.

Ячейки, показанные на спутниковых снимках (Рис.2), стали причиной проливных дождей над Йоркширом и местного наводнения.

2.2 МЕХАНИЧЕСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

Единственной причиной механической турбулентности является сдвиг ветра. Сдвиг ветра всегда имеется вблизи земной поверхности, где скорость ветра уменьшается до нуля. Внутри пограничного слоя, а также обычно ночью на низком уровне можно обнаружить течение, которое тоже может служить источником турбулентности. Кроме того, турбулентность можно также обнаружить у края струйного течения на высоте тропопаузы.

2.2.1 Описание

Вблизи земли механическая турбулентность часто называется турбулентностью низкого уровня. Трение о земную поверхность является основной причиной затихания ветра у земли. Таким образом, интенсивность механической турбулентности зависит от:

- силы ветра
- шероховатости подстилающей поверхности
- устойчивости атмосферы вблизи земли.

В общем, чем сильнее ветер и чем больше шероховатость поверхности, тем больше интенсивность испытываемой турбулентности. Слабые ветры над гладкой поверхностью моря вызывают минимальную турбулентность.

Чем больше вертикальный градиент температуры, тем легче развиваются вертикальные порывы ветра и тем сильнее турбулентность. В более устойчивой атмосфере вертикальные вихри подавляются и турбулентность более слабая, но очень устойчивая атмосфера и достаточный сдвиг над большими препятствиями (возвышенности/горы) могут привести к развитию горных волн или волн на подветренной стороне, смотри главу “Орографическая Турбулентность”.

2.2.2 Воздействие на воздушное судно

В простейшем случае механическая турбулентность может привести к болтанке в полете. Интенсивность турбулентности будет возрастать в соответствии с вышеупомянутыми критериями и увеличением скорости полета. При данной интенсивности турбулентности, чем больше скорость полета самолета, тем больше его ускорение. А чем ближе самолет к земле, тем меньше у летчика

времени на реагирование на эти ускорения. В конечном счете, в зависимости от типа самолета, сильная турбулентность может вызвать конструктивные повреждения самолета, особенно при сочетании с неадекватно резкими движениями руля.

2.2.3 Оценка турбулентности при использовании соответствующих изображений

Оценивать приземный ветер, используя стандартные снимки, трудно. Ряды спутниковых и радиолокационных снимков могут помочь в обнаружении облаков / ливней, но обычно ведущие потоки располагаются на высотах, иных, чем 'градиентный ветер', они имеют скорости больше, чем 'градиентный ветер', и поэтому напрямую неприменимы к приземным/околоприземным ветрам. Характерные формы конвективной облачности могут служить указанием градиентного ветра, но это возможно только над морскими просторами, а над сушей структура облачности разрушается.

Наиболее эффективным методом мониторинга скорости ветра, который дает некоторые результаты при оценке турбулентности, является регулярный контроль сводок приземного ветра. Такую информацию можно затем использовать для проверки и корректировки моделей ветра.

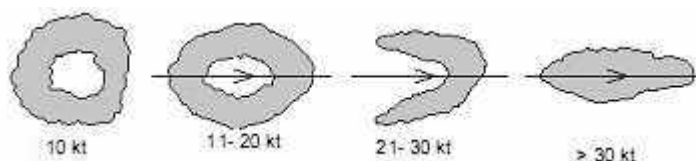


Рис. 5 Модели морских конвективных ячеек и соответствующая скорость приземного ветра.

Из Пирсон и Стогатис, 1998

2.2.4 Эмпирические методики прогнозирования

При условии, что прогнозист уверен в прогнозе скорости ветра, возможна оценка вероятной турбулентности; это показано в таблице ниже.

Табл. 2 Приблизительная оценка интенсивности турбулентности при разных скоростях ветра и типах поверхности

Скорость ветра (узлы)	Турбулентность		
	Море	Равнина	Холмистая местность
15 – 35	от слабой до умеренной	умеренная	сильная
Выше 35	от умеренной до сильной	сильная	чрезвычайная

Синоптик должен также учитывать устойчивость атмосферы и определять вероятную скорость приземного ветра при данном градиенте и данной ситуации, а также применять коэффициент порывистости для определения порывов. В конвективных ситуациях с ливнями порывы могут приближаться по силе к градиентному ветру. При очень неустойчивой ситуации с сильными ливнями и грозами, порывы могут превышать градиентный ветер и достигать скоростей ветра, обычных на высоте 5000 фт.

При прогнозировании приземного ветра штормовой силы синоптикам следует по умолчанию ожидать, что турбулентность на низком уровне будет сильная.

2.2.5 Соответствующие продукты численных моделей

Модели ветра являются хорошими подспорьями, но прогнозист должен понимать ограничения разрешения модели в отношении орографии. Часто полезно принимать в качестве градиентного ветра ветер на поверхности 925 гПа и рассчитывать соответствующий приземный ветер вручную. Но будьте внимательны, - когда приземное давление значительно выше или ниже 1013 гПа, то начиная с 925 гПа оценка будет значительно меньше соответствовать градиентному ветру.

2.3 ОРОГРАФИЧЕСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

2.3.1 Описание

Когда шероховатость поверхности земли увеличивается и характерные высоты неровностей возрастают тоже, например, над городами, лесами, небольшими возвышенностями и холмами побольше, в конце концов над горами, то воздушные течения испытывают большие соответствующие отклонения от своего первоначального уровня. В зависимости от устойчивости воздушной массы это может привести к запуску конвекции с сопутствующей ей турбулентностью; это может также создавать гравитационные волны, называемые в таком случае горными волнами, или может проявлять тенденцию возврата воздушного потока на свой исходный уровень, создавая 'стоячие волны' и роторы. Орографическая система может быть произвольной сложности и такая же будет модель взаимодействующего течения. Можно найти воздушные течения, струящиеся вдоль долин со значительными отклонениями от направления, которое можно было бы ожидать при ненарушенном градиентном ветре; можно обнаружить блокирование потока горами или возвышенностями, можно также заметить усиление турбулентности вблизи хребтов гор.

Прогнозистам следует быть внимательными, чтобы не быть обманутыми 'тихим' сценарием. Может развиваться кatabатический и анабатический ветер, создавая поток ветра там, где его и не ожидали. Сильные кatabатические ветры могут быть обнаружены вдоль ледников и у их подножия, и надо учитывать системы долинных ветров, усиленных холодным воздухом.

Горные волны образуются при переваливании воздушного потока через горы и могут развиваться при устойчивых условиях атмосферы. Такие волновые движения могут сохраняться на сотни миль вниз по потоку:

- в теплых секторах;
- в сильных ветрах на периферии антициклонов;
- впереди теплых фронтов.

Более конкретно, причинами формирования горной волны могут быть:

- сильные ветры ($>20 - 25$ узлов) на верхней границе пограничного слоя, обычно непосредственно под сильной инверсией;
- ветер, дующий в пределах 30° от нормали к оси гребня;
- слой безразличной стратификации на низком уровне, прикрытый значительной инверсией, в $1.5 - 2$ раза превышающей высоту хребта.

Горные волны – это ничто иное, как гравитационные волны и, соответственно, мы можем классифицировать их как "захваченные (trapped)" и "незахваченные (un-trapped)". Последние также известны как вертикально распространяющиеся.

Захваченные волны можно характеризовать как формирующиеся при увеличении скорости ветра с высотой и/или при расположении менее стабильного слоя над устойчивым слоем. Энергия волны тогда блокируется внутри соответствующих горизонтальных слоев обычно на нижних уровнях и распространяется в нисходящем направлении.

Незахваченные волны формируются, если устойчивость высокая и/или скорость ветра маленькая, или ширина хребта большая. Энергия волны передается вверх, поэтому эти волны часто регулярно наблюдаются в стратосфере, имея там характерный признак орографических Cirrus с хорошо выраженными границами.

С движениями горных волн может быть связана турбулентность, особенно, если вертикальные потоки сильные, а длина волны маленькая. Подверженные турбулентности зоны, скорее всего, будут располагаться вблизи гребней и впадин волны, в то время как на средних уровнях воздушные течения будут совершенно спокойными и ламинарными. Как и все гравитационные волны, горные волны могут также опрокидываться, вызывая тогда сильную турбулентность.

Роторы

Роторы турбулентности в нижней тропосфере обычно связаны с волнами высокой амплитуды на подветренной стороне. Наблюдаются два типа роторов. Первый тип, часто видимый, как ряды плоской кучевки (Cu) или кучевых разорванных облаков (Cu fr), параллельных горной цепи, иллюстрирует хорошо выраженную циркуляцию под гребнями резонирующих горных волн. Этот тип ротора содержит умеренную или сильную турбулентность, сверху ограничивается часто наблюдаемой инверсией вблизи вершины горы. Второй, менее распространенный, тип ротора

простирается значительно выше, чем инверсия вблизи вершины горы. Наблюдаясь, этот тип ротора содержит сильную или очень сильную турбулентность и, как полагают, связан с системой горных волн большой амплитуды, подобных гидравлическому скачку. Оба типа ротора представляют опасность для авиации, хотя второй тип ротора значительно более опасен.

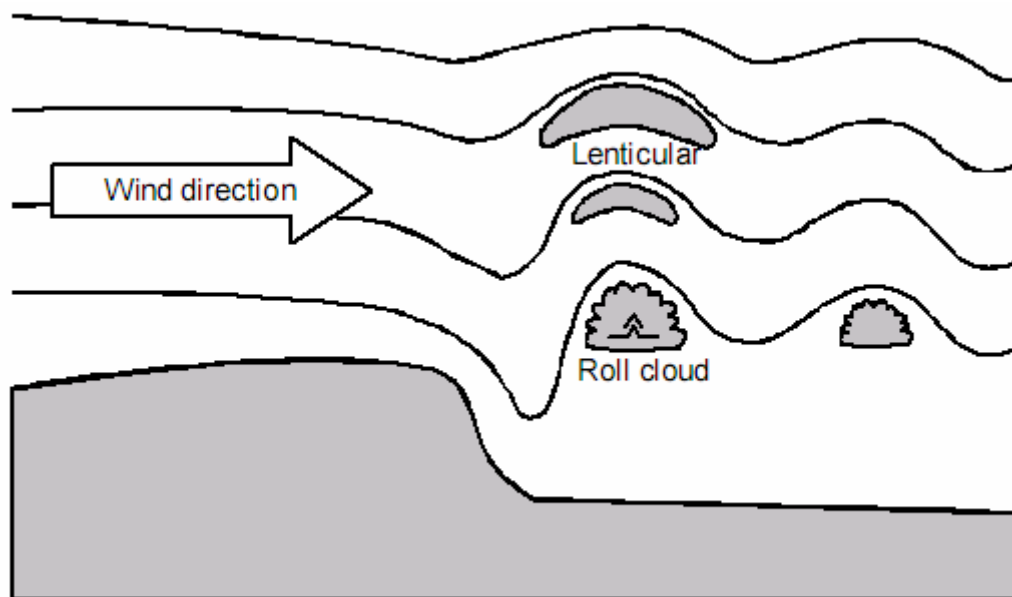


Рис. 6 Стоячая волна и роторная активность на подветренной стороне горного хребта.

Роторные течения

Термин “роторное течение” применяется синоптиками для описания циркуляций замкнутого типа, связанных с волнами на подветренной стороне. Это идеализация местного, индуцированного волной, и направленного в противоположную сторону градиента давления. Такие градиенты являются причиной быстрого уменьшения скорости ветра у земли; они ассоциируются с сильной турбулентностью и высокой степенью изменчивости ветра.

Для образования роторных течений требуются такие условия:

- сильные ветры (>20 – 25 узлов) наверху пограничного слоя, обычно непосредственно под сильной инверсией;
- ветер, дующий в пределах 30° от нормали к оси гребня;
- слой безразличной стратификации на низком уровне, прикрытый сверху мощной инверсией, в 1.5 – 2 раза превышающей высоту хребта;
- заметное уменьшение скорости ветра, сопровождающееся значительным изменением направления, на уровне, кратном 1.5 – 2 высотам хребта;
- устойчивая воздушная масса выше хорошо перемешанного слоя на нижнем уровне.

Хорошей индикацией роторного течения при наблюдениях с земли служит нисходящие с гор потоки, имеющие силу слабого или даже сильного ветра и направления, часто противоположного градиентному ветру.

Отметим, что инверсия на подветренной стороне хребта может быть ниже, чем с наветренной стороны, благодаря вынужденному опусканию и результирующему адиабатическому нагреванию. Отметим также, что даже в ситуациях, когда отсутствуют горные волны или роторные течения, сильные ветры в холмистых местностях могут давать усиление турбулентности до значительной благодаря шероховатости поверхности (как описано в п.2.2).

2.3.2 Воздействие на воздушное судно

Горные волны могут как способствовать выполнению полетов, так и препятствовать, но обычно не благоприятствуют.

Опытный пилот планера, желая повысить высоту полета, ищет восходящие потоки горных волн. При скоростях поднятия приблизительно 500 фт за минуту они могут быть очень полезными для быстрого достижения высоты. Внутри таких восходящих потоков полет может быть очень спокойным.

Несколько присущих рисков

1. Резкое изменение высоты полета может означать, что пилот, допустивший невнимательность, очень скоро оказывается с самолетом на совершенно другом эшелоне; более опасно, если попадание в нисходящий поток быстро уменьшает запас высоты и в конечном счете становится причиной столкновения с землей. Такой эффект наиболее ярко проявляется, если маршрут полета параллельный хребту.
Горные волны отмечаются на авиационных картах, если вертикальные скорости достигают и превышают 500 фт/мин, – максимальная скорость поднятия некоторых моделей легких самолетов Cessna составляет порядка 700 фт/мин. Понятно, что более мощные гражданские и военные воздушные суда способны подниматься более быстро, но это показывает, насколько важным для пилотов легких самолетов может быть нисходящий поток в 500 фт/мин.
2. Если ламинарный и спокойный поток разбивается, создавая роторы на гребнях первой волны потока или гребнях последующих двух более низких волн – в этом районе можно ожидать сильную турбулентность; и может присутствовать, а может и отсутствовать “шкваловый ворот”.
3. Если длина волны короткая, то самолет, быстро летящий перпендикулярно ряду волн, будет испытывать продолжительную серию быстрых флюктуаций вертикальной скорости. Это выливается в турбулентный полет.

Роторные течения и приземные роторы чрезвычайно опасны для воздушных судов. Самолет может просто быть не в состоянии стабилизировать свой заход на посадку. Не только направление ветра может резко изменяться (сдвиг ветра), вызывая значительные изменения по высоте и скорости сноса, но самолет может также подвергаться сильным восходящим и нисходящим движениям. Турбулентный поток может быстро смениться на очень сильный поток воздуха на подветренной стороне, часто намного превышающий предельные допуски самолета по боковому ветру. Для обозначения резко отличающихся направления и скорости ветра в различных точках по периметру поля аэродрома рекомендуется устанавливать ветроуказатели (ветровые конусы).

2.3.3 Оценка опасности с использованием соответствующих изображений

Горные волны часто хорошо различимы на спутниковых снимках. Захваченные волны легко диагностируются в виде очень четких волнообразных структур на инфракрасных и видимых снимках. Незахваченные, или волны вертикального распространения, проявляются характерными признаками ‘орографических циррусов’. Подаем примеры циррусов, которые указывают на наличие турбулентности:

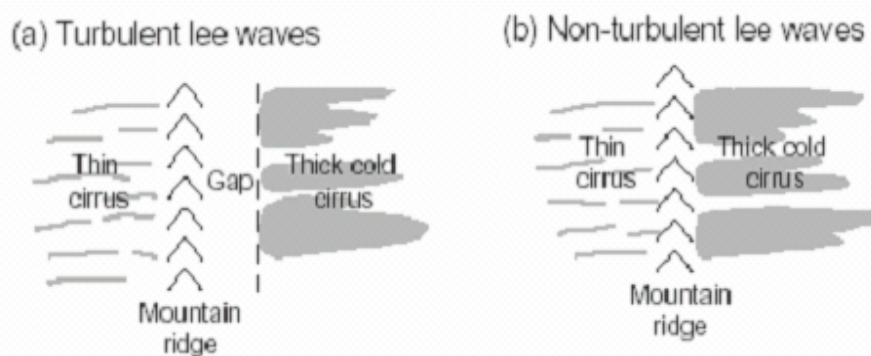


Рис.7 Характерная перистая облачность, обозначающая наличие/отсутствие турбулентности

По приземным картам скорости и направления ветра можно обнаруживать эффект роторов на уровне земли. В этом случае приземный ветер может быть очень слабым, совершенно случайных направлений, иногда даже обратного направления.

2.3.4 Эмпирические прогностические методики

Синоптические ситуации, когда может отмечаться орографическая турбулентность:

- вблизи глубокой циклонической депрессии благодаря усилению ветра;
- впереди теплого фронта, когда устойчивая масса воздуха наверху заставляет воздух протискиваться над обширными горными хребтами. Это приводит к увеличению скорости

ветра более чем вдвое против значений градиентного ветра на вершине горы и может инициировать роторную деятельность;

- при сильных ветрах в устойчивом теплом секторе при интенсивном летнем прогреве.

2.3.5 Соответствующие продукты численных моделей

В первом приближении поля ветра на картах 925 гПа и 850 гПа обычно хорошо показывают направление общего потока через горную область, но помните, что в отношении орографии модель имеет ограничения. Синоптик должен хорошо понимать топографию страны.

Устойчивость атмосферы оказывает, конечно, основное влияние на развитие или отсутствие горных волн. Синоптик поэтому должен уделять большое внимание соответствующим тефиграммам (фактическим и прогностическим).

2.3.6 Небольшой конкретный пример



Рис.8 Приземная карта давления района Фолклендских островов (южное полушарие). Высокое давление располагается на северо-востоке (юго-западная периферия Южно-Атлантического субтропического максимума)

На карте показан классический, устойчивый северо-западный градиент ветра, влияющий на аэропорт Маунт-Плэзент. При нем часто наблюдаются либо низкая инверсия оседания, либо низкая инверсия впереди приближающегося теплого фронта. Тефиграмма внизу показывает результирующие профили температуры и ветра, и это еще один классический показатель развития роторов над и вокруг поля аэродрома. Горы, оказывающие влияние, простираются приблизительно с востока на запад в нескольких милях к северу от аэропорта. Гора Викхем расположена на высоте около 2000 фт, высота отрогов хребта находится между 1000 и 1500 фт.

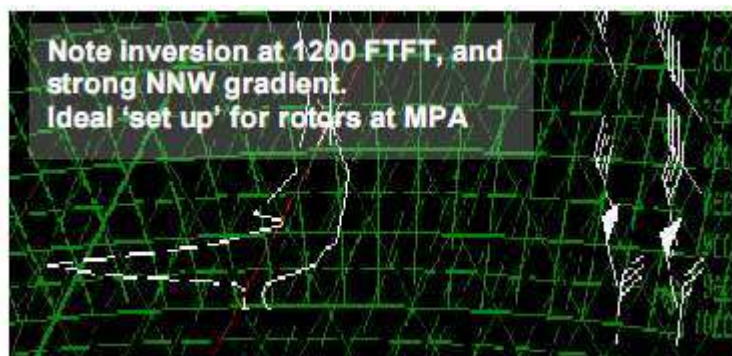


Рис. 9 Тефиграмма, показывающая инверсию, вертикальный градиент и ветры на МРА

Просматривая METARы, мы видим:

- Сильный ветер с порывами до 50 узлов;
- Изменчивость скорости/порывов. Обратите внимание на изменения скорости/порывов ветра между 0850Z и 1350Z;
- Небольшие ключья низкой слоистой облачности, вероятно, указывающие зону ротора.

Срок	Ветер	Видимость, облачность, явления
212050	01028G39 KT	9999 FEW003 BKN100 BKN120
212150	36037G50 KT	9999 FEW007 SCT050 BKN220
212250	01028 KT	9999 FEW007 SCT120
212350	010038G49 KT	9999 FEW007 SCT120
220050	01031G41 KT	9999 FEW008 SCT120
220150	03023 KT	9999 FEW008 SCT180 BKN120
220250	36028G38 KT	9999 FEW008 SCT080 BKN120
220350	36039G50 KT	9999 FEW008 SCT080 BKN120
220450	36036 KT	9999 FEW010 BKN220
220550	35033G47 KT	9999 FEW010 SCT090 BKN200
220650	36033G46 KT	9999 FEW010 SCT090 BKN200
220750	35024G36 KT	9999 FEW045 SCT080
220850	35036G48 KT	9999 FEW045 SCT130 OVC160
220950	35016G29 KT	9999 FEW011 SCT019 BKN150
221050	33010 KT	9999 FEW008 BKN018 BKN100
221134	36015G25 KT	9999 FEW008 BKN014
221150	01016 KT	9999 –RA FEW007 BKN014
221250	34009G19 KT	6000 VCSH FEW007 BKN012
221350	35036G47 KT	9999 FEW008 SCT012 BKN100
221450	34031G42 KT	9999 FEW012 BKN100 BKN120
221550	33027G39 KT	9999 –RA FEW012 SCT100 BKN120
221650	33015 KT	9999 FEW010 SCT100 BKN120

2.4 ТУРБУЛЕНТНОСТЬ ЯСНОГО НЕБА

2.4.1 Описание

Турбулентность ясного неба (CAT) – термин, используемый для описания турбулентности, создаваемой в районах заметного сдвига ветра на среднем и высоком уровне. Судя по названию, она часто – но не обязательно – случается в отсутствие облачности, что делает ее трудной для визуального определения.

2.4.2 Воздействие на воздушное судно

Как и все типы турбулентности, степень турбулентности категоризируется определениями ИКАО. Хотя самолет в большинстве случаев находится на высоте, к сильной турбулентности нельзя относиться несерьезно. В исключительных случаях может происходить повреждение самолета. Пассажиры гражданской авиации могут испытывать дискомфорт или, если не пристегнуты ремни безопасности, получать ушибы. В последние годы также произошло несколько катастроф.

2.4.3 Диагностирование риска с помощью соответствующих изображений

Определенные обозначения облачности на спутниковом снимке могут помочь в идентификации вероятного расположения CAT. Следует также контролировать сводки AIREP на предмет наличия в полете турбулентности.

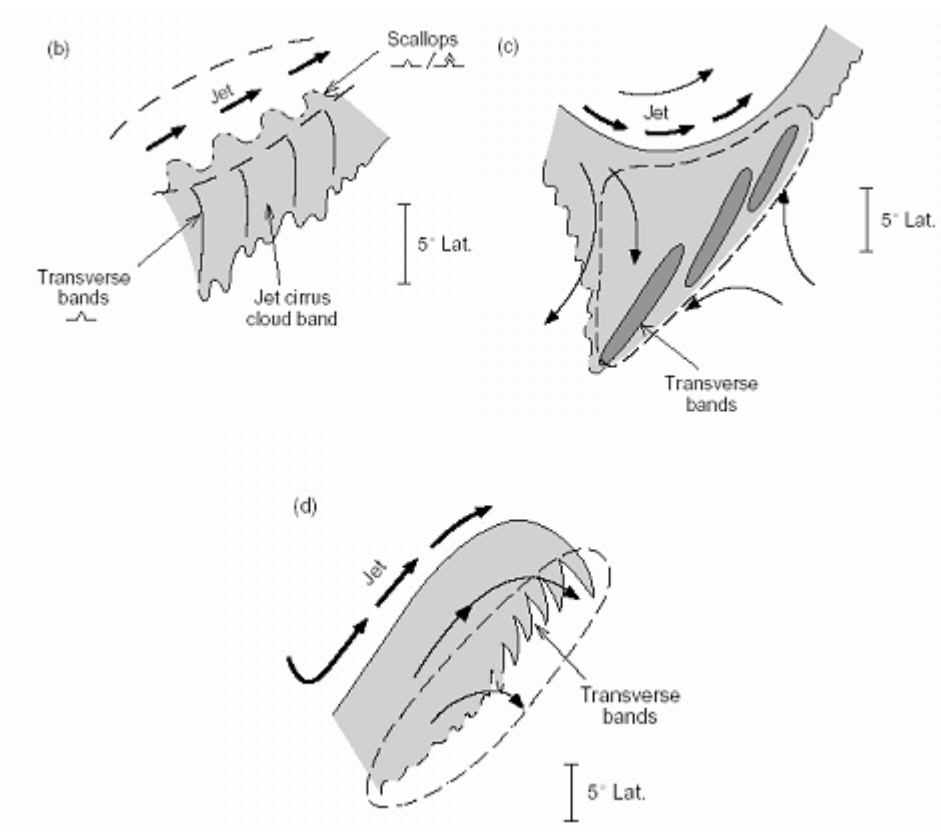


Рис. 10 На рисунках b, c и d представлены обозначения облачности, указывающей на наличие зон турбулентности. Из Бадера и др., 1995

Scallop – зубцы, фестоны

Transverse bands – поперечные полосы

Характерная структура перистой облачности, известная как ‘валы, волны’, служит сигналом наличия зоны CAT. Валы являются индикатором разбиения на турбулентный поток в виде неустойчивости Кельвин-Гельмгольца.

Неустойчивость Кельвин-Гельмгольца можно оценивать через отношение к числу Ричардсона Ri , которое само является отношением турбулентности, вызванной статической неустойчивостью, к турбулентности, вызванной сдвигом ветра:

$$Ri = \frac{N^2}{(dU/dz)^2}$$

где

$$N^2 = \frac{(g/\theta)}{d\theta/dz}$$

(N – частота Брант-Вайсала)

В вышеприведенных уравнениях U – скорость ветра, g – ускорение силы тяжести (≈ 9.8 м/сек), θ – потенциальная температура, z – высота. Отметим, что даже в стратосфере, где статическая устойчивость высока, все же могут генерироваться турбулентность и опрокидывающиеся волны, если сдвиг ветра имеет значительную величину. Значения Ri , меньшие, чем 0.25, допускают образование опрокидывающихся волн. Значения Ri между 0.25 и 1.0 говорят об устойчивой турбулентности, а значения Ri больше 1.0 говорят о тенденции затухания любой имеющейся турбулентности.

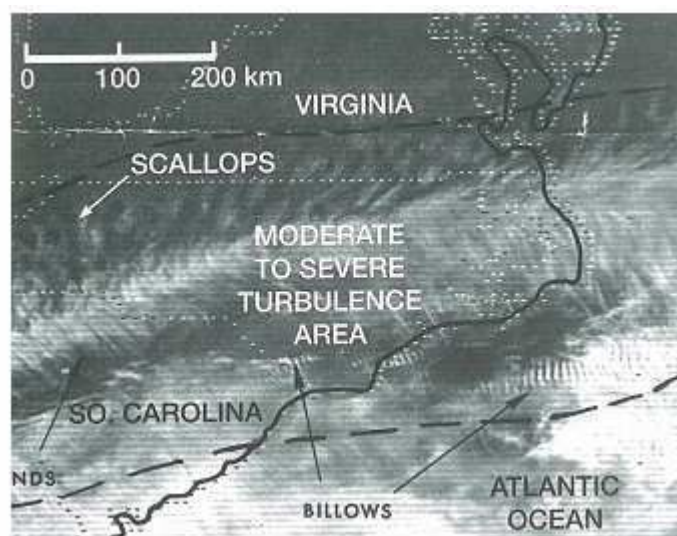


Рис. 11 Характерные признаки валов (billow), отмечающие превращение в турбулентность неустойчивости Кельвин-Гельмгольца

Снимки водяного пара и инфракрасные снимки неоценимы при определении расположения струйных течений и могут показывать, что модель имеет позиционные ошибки. Тогда зоны CAT можно соответственно подстраивать.

Следует проверять сводки AIREP, это поможет установить и подправить длину струйного течения.

2.4.4 Эмпирические методики прогнозирования

CAT часто отмечается:

- на холодной (со стороны полюса) стороне струйного течения, вблизи и ниже оси струйного течения, где сдвиг ветра самый большой;
- на теплой (со стороны экватора) стороне струйного течения, над осью струйного течения. Чем сильнее струйное течение, тем больше вероятность присутствия CAT;
- в усиливающихся высотных гребнях, где скорость потока ветра вокруг гребня достигает своего предела благодаря кривизне;
- в вытянутых высотных ложбинах, где резко изменяется направление ветра;
- в зонах конвергенции и дивергенции струйных течений;
- в областях холода, где может наблюдаться узкая, но отчетливая линия CAT.

Еще несколько правил:

- Если скорость ветра на оси струйного течения превышает 100 узлов, а вертикальный сдвиг ветра составляет 4 узла на 100 футов, в радиусе 150 морских миль прогнозируется умеренная CAT.
- Выше хорошо выраженной тропопаузы CAT случается редко, потому что число Ричардсона (Ri) больше, чем 0.25.
- Турбулентность ясного неба CAT может иметь место или усиливаться в зоне конвекции, особенно скрытой фронтальной конвекции.

Турбулентность CAT чаще наблюдается над сушей, особенно над гористой местностью, чем над морем. В 60% сообщений о CAT она располагается вблизи струйных течений. Интенсивность CAT может быть оценена, если известны величины вертикального и горизонтального сдвига ветра (см. Табл. 3). Вероятность CAT также автоматически прогнозируется прогностической моделью.

Табл. 3 Субъективное правило связи CAT с горизонтальным и вертикальным сдвигом ветра

Сдвиг \ Турбулентность		Умеренная	Сильная
Горизонтальный	сдвиг	20 узлов на градус широты	30 узлов на градус широты
Вертикальный	сдвиг	6 узлов на 1000 фт	9 узлов на 1000 фт

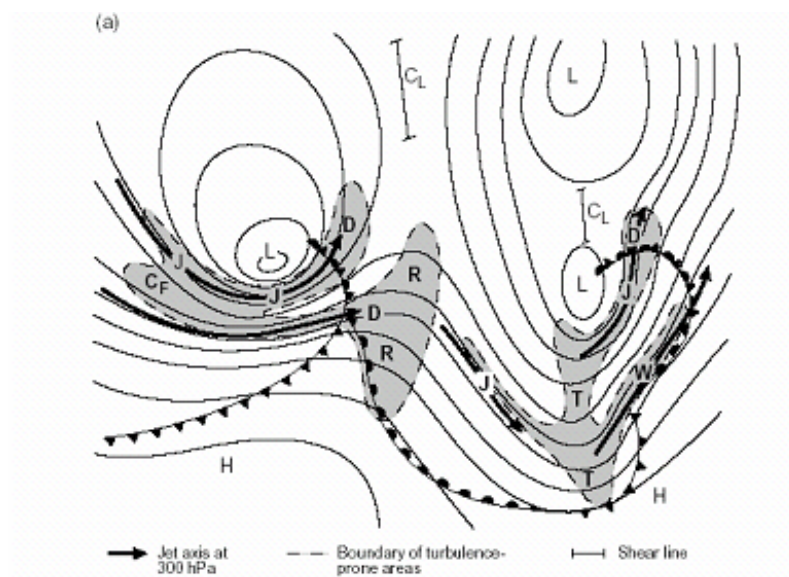


Рис.12 Схематическое изображение зон, подверженных САТ

Сплошные линии	Изогипсы 300 гПа
CF	Зона конвергенции двух струйных течений
CL	Высотная седловина. Турбулентность наблюдается в узких полосах вдоль линии сдвига.
D	Зона дивергенции струйного течения
J	Турбулентность в струйном течении со стороны низкого давления
R	Усиливающийся высотный гребень
T	Вытянутая высотная ложбина
W	Развивающаяся волновая депрессия

2.4.5 Соответствующие продукты численных моделей

Для высотных струйных течений соответствующие поля изогипс в сочетании с анализом изотак и линий тока могут помочь диагностировать зоны вероятного расположения САТ. Рассмотрим, как в соответствии с моделью располагаются гребни и ложбины, и применим вышеприведенные эмпирические методики к полям модели.

Индекс Даттона (DI) – это величина, получаемая из данных модели, и поэтому приближенные данные численных моделей могут помочь в прогнозировании САТ.

$$DI = \frac{5(\text{Горизонтальный Сдвиг Ветра}) + (\text{Вертикальный Сдвиг Ветра})^2 + 42}{4}$$

Турбулентность ясного неба вероятна, когда индекс Даттона $DI > 4$.

В некоторых пунктах возможно получить копии 'jet-плана' (расчет ветра по маршруту, хронометраж времени, сгорание топлива, температура на эшелоне полета и др. для конкретного полета) и оценить величину 'сдвига' как часть базы данных.

Помните, что модель точно не рассчитывает оси струйных течений из-за деления сетки по длине и по вертикали между уровнями модели.

2.4.6 Небольшой пример

Снимок зубцов и поперечных полос.

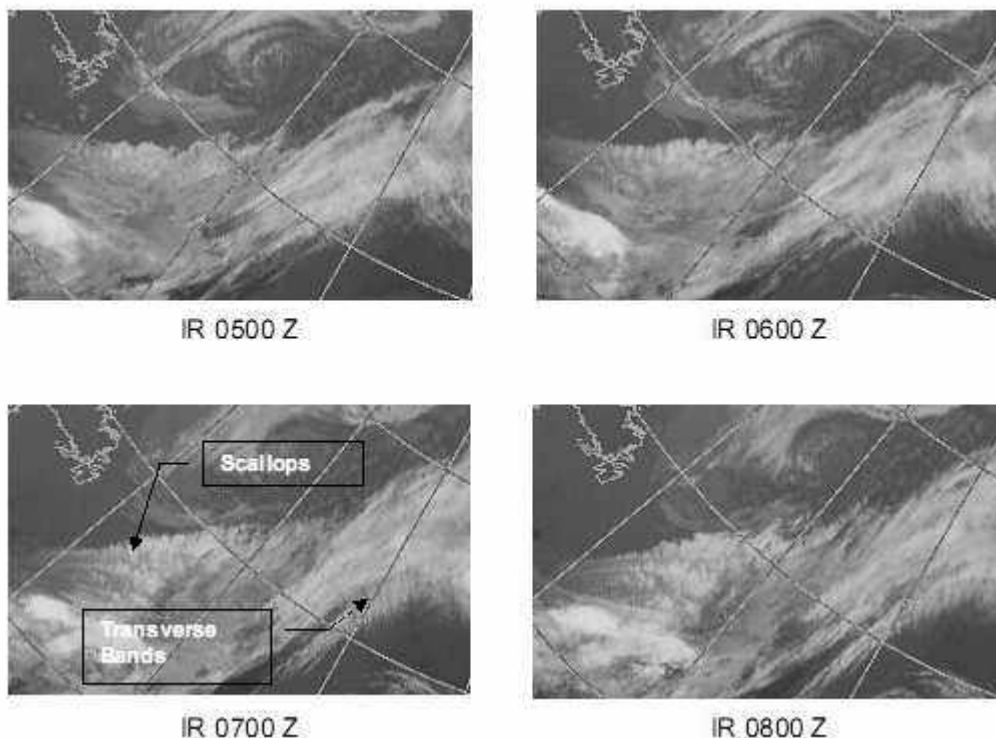


Рис. 13 Последовательность снимков, показывающих развитие облачности в виде зубцов и поперечных полос 06.06.2005

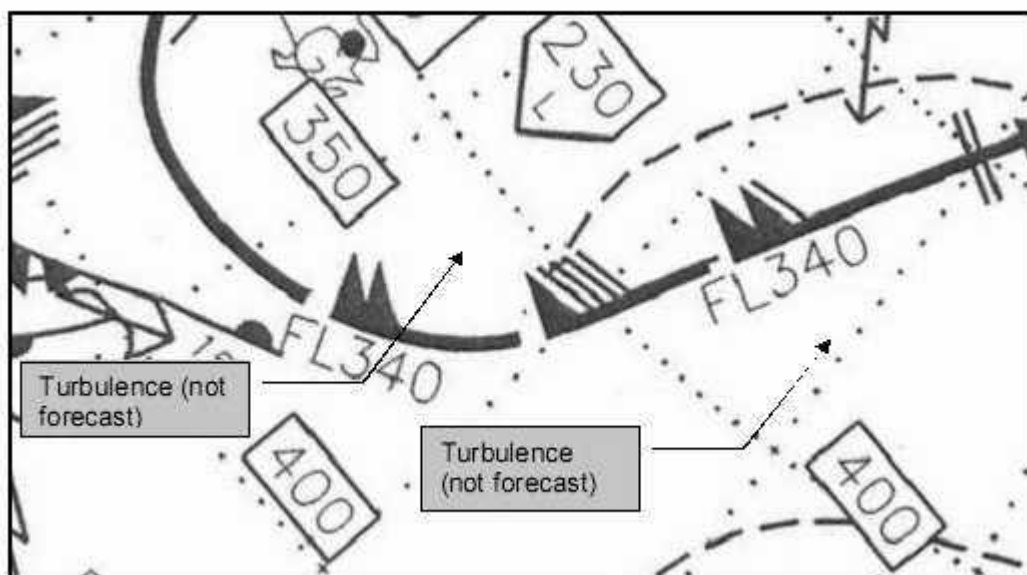


Рис. 14 Проверка карты особых явлений NAT за 0600Z, 06.06.2005

Карта особых явлений NAT за 0600Z не совсем точно предсказала зоны турбулентности, связанные с облачностью в виде зубцов или поперечных полос. Возможно, что в этих районах будет умеренная турбулентность. В районах, указанных на карте вдоль струи 110 узлов на FL340, предполагается умеренная турбулентность CAT между FL280 и FL390.

Следует помнить, что карты ВЦЗП выпускаются с заблаговременностью 24 часа, и определенные обозначения облаков не могут появиться так рано, особенно, если системы развивающиеся. Кроме того, модель может быть ошибочной, а данные, по которым работает синоптик, сами не полностью освещают события.

Тем не менее, эти снимки позволяют синоптику более подробно консультировать экипаж перед длительным полетом.

2.5 СТРУЙНЫЕ ТЕЧЕНИЯ НИЗКОГО УРОВНЯ

2.5.1 Описание

Есть несколько видов струйных течений низкого уровня.

Один тип струйного течения можно описать как трубу повышенной скорости ветра на низком уровне вдоль и впереди холодного фронта. Как таковая, она связана с фронтом и движется вместе с ним.

Другой тип струи на низком уровне можно описать как усиливающийся поток ветра, вызванный формированием ночной инверсии и соответствующим разделением градиентного и приземного ветра. Когда течение разделяется, приземный ветер становится значительно более слабым, а на поток воздуха непосредственно над разрывом ветрового поля трение (или сопротивление вязкости) уже не оказывает такого большого влияния, поэтому он становится сильнее.

Ночное струйное течение на низком уровне является особенностью пограничного слоя на высотах между 50 и 1000 м. Оно может суживаться до тонкого слоя толщиной несколько дециметров. Сдвиг может быть значительным с величинами 20 м/сек на 50 м. Ночное струйное течение на низком уровне является типичным инерционным потоком, происходящим при слабых градиентах давления. Направление ветра поворачивает в течение ночи в соответствии с инерциальной частотой $2\pi/f$. Благодаря сдвигу ветра на нижней и верхней участках струи, там может генерироваться турбулентность и/или возбуждаться гравитационные волны. Ночные струйные течения на низких уровнях есть частым явлением в определенных районах мира, особенно над низкими равнинами Австралии, севера Центральной Европы и над большими равнинами Северной Америки.

Существует также тип струйного течения на низком уровне, называемый 'острая струя', которая формируется возле центра низкого давления при внезапном циклогенезе. Такие струйные течения есть зонами повышенной скорости ветра, вызванной оседающим воздухом, ускоряющимся при охлаждении (и поэтому становящемся плотнее) благодаря осадкам, что испаряются при падении через уже оседающий воздух. Следует отметить, что 'острая струя' все еще изучается, и точный метод ее формирования будет значительно более сложным, чем простое вышеприведенное описание.

Примером 'климатологического' струйного течения на нижнем уровне может быть сезонное развитие и последующее затихание 'Сомалийского струйного течения'. Сомалийское струйное течение – это особенность лета северного полушария и проявление Азиатского муссона. Полностью сформированный юго-восточный поток низкого уровня пересекает северную оконечность Мадагаскара, затем поворачивает, и южным, а затем юго-западным течением пересекает Африканский Рог, чтобы стать юго-западным потоком, текущим параллельно побережью Йемена и Омана. Струйное течение имеет важное климатологическое значение, а с максимальными ветрами примерно 40-50 узлов на уровне 850 гПа всегда представляет интерес для авиации.

2.5.2 Влияние на воздушное судно

При струйном течении холодного фронта на низком уровне может отмечаться турбулентность, и ее воздействие будет непредсказуемым. Сдвиг ветра через границы струйного течения потребует корректирующих действий со стороны пилота. По определению, струйное течение низкого уровня подразумевает, что при небольшом запасе высоты над поверхностью земли возможны проблемы и при посадке самолета могут возникать трудности.

Пока пилот остается на одной стороне разрыва ветрового поля, турбулентность ночного струйного течения не ощущается. Пересечение границы неоднородности может привести к попаданию в зону турбулентности, а изменение воздушного потока, набегающего на крылья на низком уровне, может неблагоприятно сказываться на подъемной силе, особенно на этапе взлета и приземления.

2.5.3 Анализ рисков с применением изображений

Струйные течения низкого уровня на холодных фронтах не всегда можно различить на спутниковых снимках. Однако, возможно опознать зоны повышенной конвекции, обозначающие линию конвекции на фронте и, как результат, предполагаемое струйное течение низкого уровня.

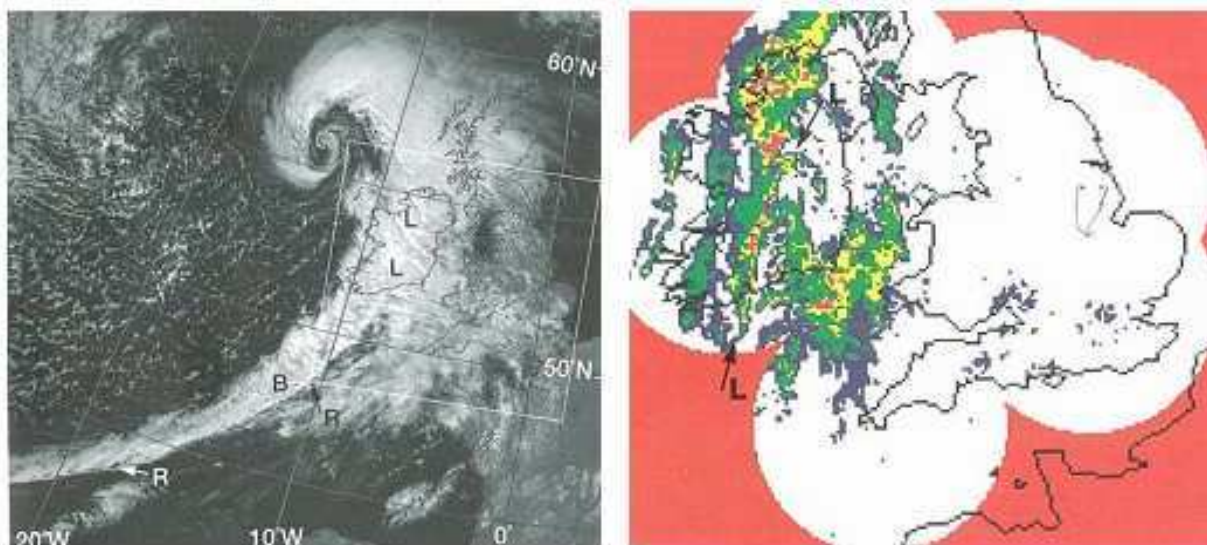


Рис. 15 Спутниковый и радарный снимки, показывающие 'веревочную' облачность (RR) и линию конвекции (LL)

Расщепленные фронты могут предупреждать о струйном течении на низком уровне в тонкой влажной зоне.

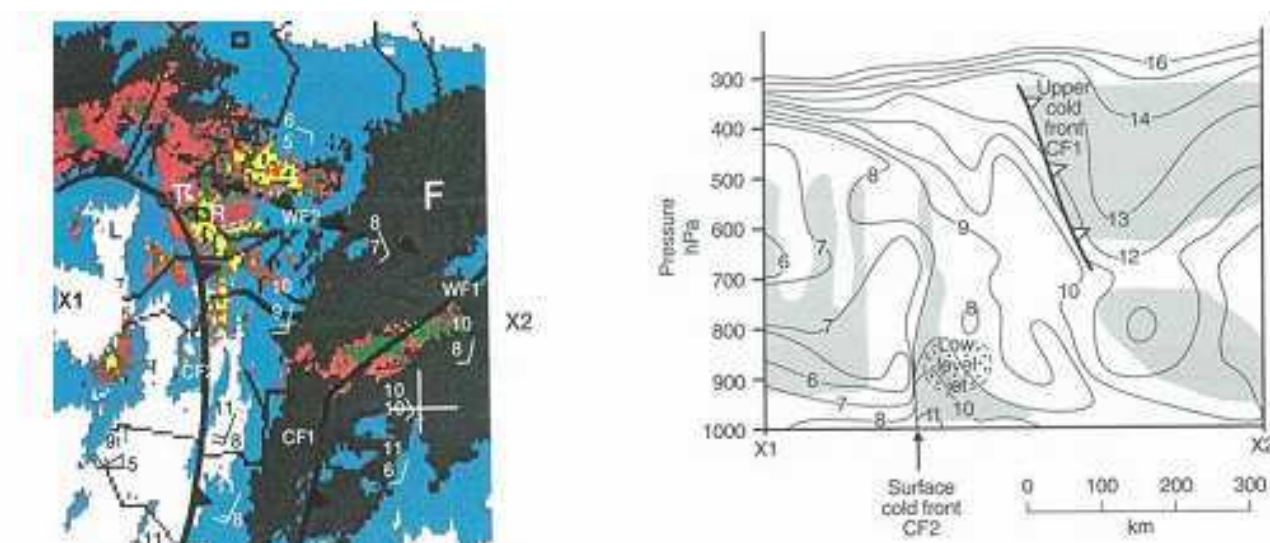


Рис. 16 Композит радарного и спутникового снимков и соответствующий поперечный разрез, иллюстрирующие связь струйного течения на низком уровне с положением верхнего и приземного фронтов

Радарный снимок может выявить линию конвекции на холодном фронте и, как догадка, навести на мысль о струйном течении на низком уровне.

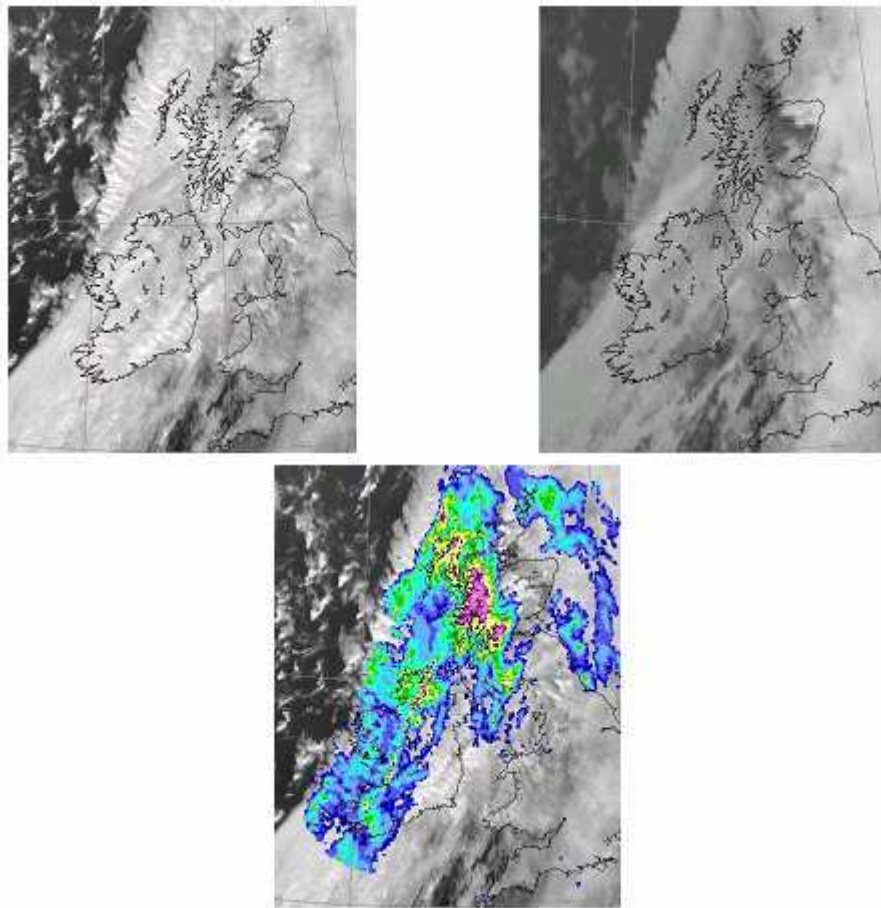


Рис. 17 Ряд снимков за 1200Z 26 сентября 2005г. Снимки Vis и IR (вверху) линию конвекции не выявляют. На радарном снимке внизу видна линия конвекции, простирающаяся от Лимерика до Эннискиллена. Увеличенное радарное/Vis изображение показано ниже.



Рис. 18 Увеличенный снимок, выявляющий линию конвекции над Ирландией

2.5.4 Эмпирические методики прогнозирования

Прогнозисты должны понимать концептуальные модели всех сценариев струйных течений низкого уровня. Не все формы струйных течений на низком уровне охвачены надежными эмпирическими методиками.

Как пример местного метода может служить номограмма, разработанная для прогнозирования силы и высоты ночного струйного течения в Персидском Заливе – см. учебный пример.

Схема, приведенная ниже, визуализирует взаимосвязь между фронтальной зоной, линией конвекции и струйным течением на низком уровне.

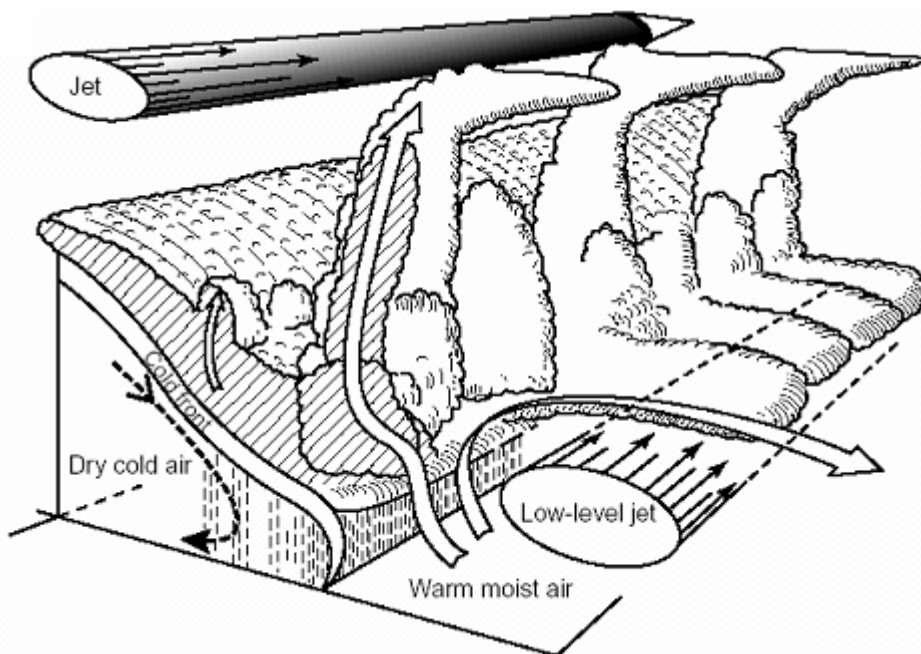


Рис. 19 Концептуальная модель струйного течения низкого уровня перед приземным холодным фронтом

2.5.5 Соответствующие продукты численных моделей

Численный прогноз ветра может не полностью охватывать струйные течения на низких уровнях.

Перекрестное сравнение фактических и прогностических тефигграмм может быть единственным способом определить район усиления ветра на низком уровне там, где ничего не ожидается. Конечно, надежды мало, что фактический подъем воздуха произойдет в правильное время и в правильном месте для создания струи низкого уровня. Для определения таких характеристик следует использовать профили AMDAR.

Большие градиенты псевдопотенциальной температуры (θ_w) на 850 мб свидетельствуют о близости холодного фронта, и, если есть доказательства, что фронт расщеплен, то можно предполагать сценарий, подобный примеру, приведенному выше Бадером.

Численный прогноз восходящих потоков часто указывает на приземные инверсии, но не всегда точно дает мощность инверсии. Синоптики должны быть внимательны к сигналам и при рассмотрении влияния потоков ветра у земли учитывать, что приземный ветер и градиентные потоки ветра становятся раздельными.

2.5.6 Краткий учебный пример

Вдоль южного побережья Аравийского Залива с полуночи и до рассвета часто наблюдается ночное струйное течение. Здесь, в условиях слабого и переменного приземного ветра и северо-западного геострофического потока со скоростью меньше 20 узлов, на уровне ниже 1000 фт наблюдается низкоуровневое струйное течение с максимумом, превышающим 40 узлов. Оно представляет особую опасность возможностью сдвига ветра при взлете и посадке воздушного судна.

На рис. 20 представлены три случая значительной температурной инверсии, ветры достигают сверх-геострофического максимума приблизительно 40 узлов на высоте значительно ниже 1000 футов.

Мембери в 1983 г. разработал простую номограмму для прогноза скорости и высоты струйного течения по данным величины температурной инверсии (Рис. 21). Ее можно применять, когда условия подходят для развития ночного струйного течения, т.е.:

- ясное небо, способствующее значительному радиационному выхолаживанию поверхности, что приводит к образованию устойчивого слоя у земли;
- антициклональный синоптический масштаба северо-западный поток со значительным градиентом давления.

Ночное струйное течение исчезает рано утром, поскольку дневной прогрев разрушает температурную инверсию.

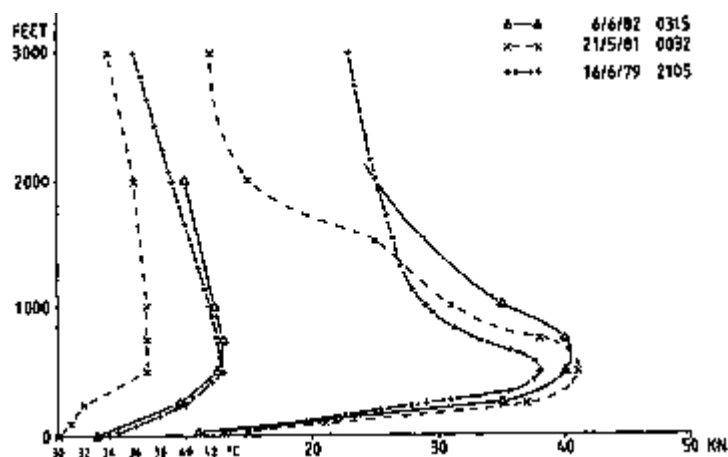


Рис. 20 Низкоуровневые профили в Бахрейне со значительными температурными инверсиями (из Мембери, 1983)

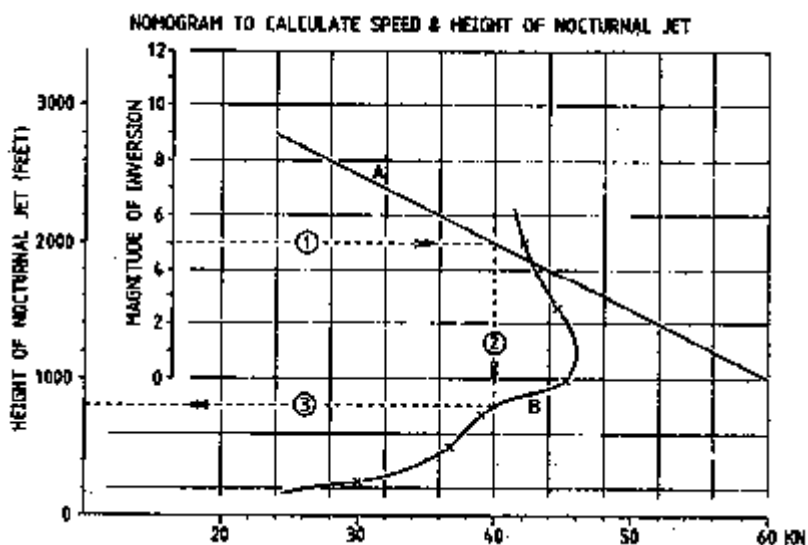


Рис. 21 Номограмма для прогнозирования скорости и высоты ночного струйного течения

- Шаг 1: прогнозируем величину инверсии, например, 5° , и ведем до пересечения с прямой А.
 Шаг 2: отсчитываем максимальную скорость на низком уровне (40 узлов);
 Шаг 3: отсчитываем наиболее вероятную высоту максимальной скорости (800 фт).

Номограмма действительна для инверсий мощностью $3 \div 9^{\circ}$ С и скоростей ветра струйного течения 24-46 узлов (Из Мембери, 1983).

2.6 ТУРБУЛЕНТНЫЙ СЛЕД/ ВИХРЕВЫЕ СЛЕДЫ

2.6.1 Описание

Турбулентный след является результатом вихрей, сформированных в кильватерном потоке воздушного судна. Вихри формируются на верхней поверхности каждого крыла и остаются в кильватерной струе. Вертолеты также создают турбулентный след с вихрями, генерируемыми главными лопастями несущего винта.

В формировании вихрей нет 'метеорологической' причины, поскольку они используются для поддержания полета воздушного судна и передачи момента движения в нисходящем направлении. В основном вихри являются функцией веса, размера и аэродинамических свойств воздушного судна. Однажды сформированные, они будут заведомо оседать со скоростью 1-2 м/сек и переноситься с общим потоком ветра.

2.6.2 Воздействие на воздушное судно

Как и при всех видах турбулентности, встреча с вихрями на низкой высоте может иметь фатальные последствия ввиду малого запаса высоты или отсутствия времени для разворота. Можно считать, что наихудшим случаем развития событий был бы одновременный взлет двух самолетов. Пусть при прочих равных условиях передний самолет имеет полную загрузку пассажиров, грузов и топлива. Из-за своего веса он будет создавать интенсивные вихревые следы/турбулентность. Взлетает второй самолет, и он тоже может быть полностью загруженным и тяжелым. Попадая в турбулентный след, из-за своего большого веса он будет менее отзывчивым на сигналы управления и установки режима работы двигателей, и может столкнуться с землей. Влияние турбулентности вместе с реакцией на неподходящие движения руля будет пагубным, поскольку возможно превышение предельных нагрузок конструкции.

Легкий самолет, попав в турбулентный след тяжелого воздушного судна, будет испытывать сильнейшую болтанку.

Даже после взлета самолет может неожиданно столкнуться с турбулентным следом. Рассмотрим самолет, взлетающий в северном направлении, а также зону вылета. Если направление ветра западное, турбулентный след будет сноситься на восток. Взлетает второй самолет, поворачивает на запад и затем попадает в турбулентный след первого самолета.

Для пилотов простейшей мерой предосторожности будет - оставаться на безопасном расстоянии от находящегося впереди самолета. Легкий самолет должен держаться на большем расстоянии за тяжелым самолетом по сравнению с расстоянием, на котором должен находиться тяжелый самолет, следующий за таким же тяжелым самолетом. В настоящее время поддержание такого интервала, а также соответствие международно согласованным интервалам находится на ответственности службы Управления Воздушного Движения и командира ведомого воздушного судна. Сейчас на УВД усиливается давление, чтобы уменьшать эти интервалы до минимально безопасного расстояния, и метеорологи могут в этом сыграть свою роль.

Самолетные инверсионные следы, формирующиеся за турбинами самолета, объединяются с вихрями на крыльях. Таким образом, из четырех следов инверсии турбин за самолетом остаются только два отдельных следа инверсии. Потом поведение вихревых следов можно контролировать по инверсионным следам, которые служат маркерами вихрей. Обычно вихревые следы подвергаются продольным изменениям, что в конце концов приводит к разрушению вихрей. Такое разрушение усиливается и происходит быстрее, если турбулентность окружающей среды высокая.

2.6.3 Анализ рисков с использованием соответствующих изображений

Не существует снимков, позволяющих метеорологу диагностировать турбулентные следы.

Для образования долгоживущих инверсионных следов требуется перенасыщенная атмосфера по отношению ко льду. Поэтому очень часто инверсионные следы самолета образуются до возникновения обычной перистой облачности. Инверсионные следы могут жить часами, а вихревой след обычно растекается через несколько минут.

2.6.4 Эмпирические методики прогнозирования

Как отмечалось выше, основными факторами создания вихрей являются вес, размеры и аэродинамические свойства самолета. Однако, однажды сформированные, вихри будут оседать и переноситься с общим потоком воздуха. На их живучесть и размер влияет устойчивость атмосферы, через которую летит самолет, а также сила ветра. Вихри имеют тенденцию быстрее всего ослабляться в устойчиво стратифицированных, а также в неустойчивых воздушных массах. В более нейтрально стратифицированной атмосфере вихри живут дольше. Это то небольшое, почти

ничего, что в настоящее время дежурные синоптики могут полезного добавить в отношении живучести.

Сформированные вихри имеют тенденцию оседать со скоростью 300-500 футов за минуту, со временем выравниваясь примерно на 1000 фт ниже уровня формирования и на расстоянии примерно 5-9 морских миль за самолетом. Вертолеты тоже формируют вихревой след или снос потока вниз, и вертолет определенного веса может создавать более мощные вихри, чем такого же веса воздушное судно с фиксированным крылом. Когда вихри образуются у земли во время взлета или посадки, понятно, что они не могут оседать, а будут стремиться сохраняться у земли и распространяться в стороны от траектории движения воздушного судна. Распространение, однако, зависит от приземного ветра. Может так случиться, что движение вихрей в боковом направлении и адвекция ветра в противоположном направлении приведет к образованию стационарного вихря. При опускании вихрей с высоты к поверхности земли они могут 'отскакивать' и вновь подниматься вверх.

При использовании нескольких ВПП, особенно, если они параллельные, синоптиков могут просить давать более детальную информацию о направлении ветра. Диспетчеров могут беспокоить вихревые следы (и сопутствующая турбулентность), смещающиеся с ветром поперек других ВПП. Направление ветра и результирующая траектория вихревых следов будет влиять на выбор рабочего курса работы аэропорта. Опять-таки, информация, предоставляемая синоптиком, может помочь диспетчеру в этом.

2.6.5 Соответствующие продукты численных моделей

В настоящее время оперативных численных моделей, которые специально прогнозировали бы появление или продолжение существования турбулентных вихрей, не существует. Исследования продолжаются, и развивается моделирование вихревых следов, что позволяет для данного воздушного судна и данной окружающей среды определить, где, когда, и в течение какого времени за данным воздушным судном могут наблюдаться вихревые следы.

Что касается смещения турбулентных следов, то важно знание приземного ветра, а ветровые модели обычно дают только хорошее первое приближение. Синоптики должны быть особенно внимательны, когда наблюдается слабый ветер. Из-за ограничения моделей более полезно будет, если синоптик определит наиболее вероятное направление слабого ветра и возможность смещения вихревых следов на смежные взлетные полосы.

2.6.6 Краткий учебный случай

12 ноября 2001 года в округе Квин Нью-Йорка после взлета из аэропорта Кеннеди разбился Аэробус-300. Предполагается, что самолет столкнулся с турбулентным следом Боинга 747, взлетевшим незадолго до него.

Хотя существуют разногласия относительно деталей катастрофы, предполагается, что встреча с вихревым следом 747-го и последующие попытки восстановления положения самолета, создание деструктивных усилий на вертикальный стабилизатор самолета привели к потере управления и последующему столкновению с землей. Хотя сам по себе турбулентный след не мог бы разрушить стабилизатор самолета, встреча с ним, а также реакция пилотов могла бы способствовать этому.

3. ОБЛЕДЕНЕНИЕ

Обледенение наблюдается, если осадки попадают на самолет или на его части (или внутрь его частей). Существует несколько механизмов образования. Доминирующим является тот, когда переохлажденная жидкая вода ударяется о самолет и мгновенно замерзает. Обледенение может наблюдаться:

- в полете

или на поверхности земли:

- наземное обледенение.

Обледенение можно также подразделить на:

- обледенение корпуса самолета
- обледенение турбин.

Обычно прогнозы обледенения составляются только на обледенение корпуса.

Существует три стратегии борьбы с обледенением воздушных суден:

- i. воздушное судно должно быть проверено на обледенение;
- ii. воздушное судно должно быть очищено ото льда до взлета (принцип чистых крыльев);
- iii. воздушное судно должно быть оснащено антиобледенительным оборудованием.

Каждый самолет сертифицируется на определенную категорию обледенения: слабое, умеренное, сильное.

3.1 ОБЛЕДЕНЕНИЕ КОРПУСА САМОЛЕТА

3.1.1 Описание

Обледенение корпуса самолета обычно наблюдается при температуре окружающей среды ниже 0°C и наличии капель переохлажденной воды. Однако, если самолет круто пикирует и попадает в воздух с положительными температурами, обледенение может наблюдаться, пока температура обшивки самолета, особенно вблизи танков с топливом, будет ниже точки замерзания, - это явление называется "выдержка в холоде".

Существует пять типов обледенения корпуса воздушного судна:

- Изморозь (изморозевое обледенение) – белый, пористый, непрозрачный, хрупкий и шероховатый лед, он разрушается потоком воздуха. Изморозь наблюдается при низких температурах ($< -10^{\circ}\text{C}$) и/или низком содержании жидкой воды, так как в этих условиях тепло, выделяющееся в процессе замерзания, может немедленно уноситься в окружающую среду.
- Прозрачный лед (также известный как гололед) – прозрачный, прочный, клейкий, плотный и тяжелый, гладкий, поэтому воздушный поток оказывает на него слабое воздействие. Гололед обычно наблюдается при температурах выше -10°C и/или большом содержании жидкой воды, поскольку в процессе замерзания формирующаяся водно-ледяная смесь остается полужидкой на протяжении нескольких секунд. Благодаря относительно высокой температуре необходимо больше времени, чтобы выделяющееся тепло унес набегающий воздушный поток.
- Переохлажденные большие капли или капли мороси с диаметром в диапазоне $50 \div 500$ мкм. После соударения переохлажденные капли могут затекать позади защищенных зон крыла и затем там замерзать. В прошлом требования сертификации полностью игнорировали эту опасность, и от метеорологов требуется внимательность при прогнозировании замерзающей мороси.
- Смешанный лед – соударения переохлажденной воды и льда.
- Если переохлажденные капли дождя с диаметром больше 500 мкм ударяются о самолет, может наблюдаться чрезвычайное нарастание льда (замерзающий дождь).
- Иней – такое "покрытие" обычно наблюдается в холодные зимние ночи при стоянке самолета в отсутствии дождя и снега.
- Снег, налипший на фюзеляже, следует удалить до взлета самолета.
- Смешанный дождь и снег (мокрый снег) подобен замерзающему дождю и может также привести к образованию "снежной маски", которая блокирует заборное устройство воздуха и другие отверстия самолета, - смотри раздел 'Снег' этих заметок.

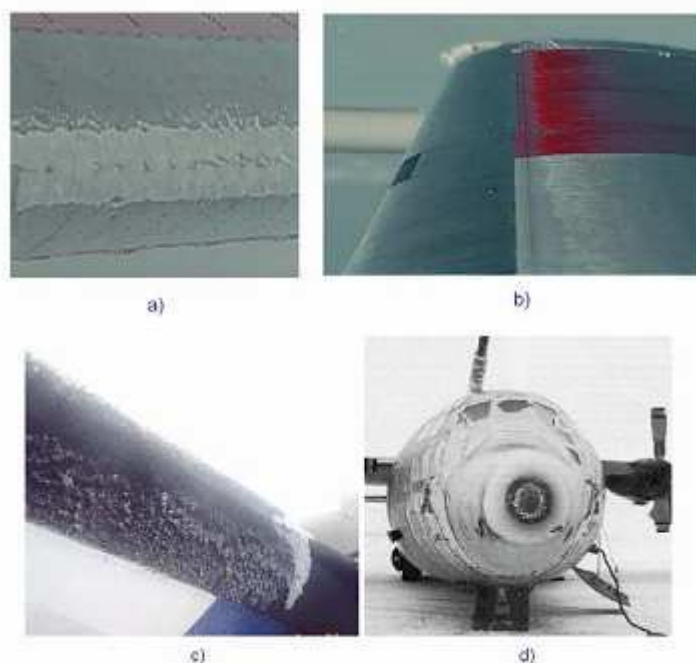


Рис. 22 Примеры: а) изморозевое обледенение; б) прозрачный лед (гололед); в) смешанное обледенение; г) замерзающий дождь.

3.1.2 Воздействие на воздушное судно

Мелкие переохлажденные капли облачности быстро замерзают при контакте с самолетом, превращаясь в лед и создавая отложение белой изморози на передних кромках и поверхностях самолета. Более крупные капли замерзают дольше, растекаясь перед застыванием по корпусу.

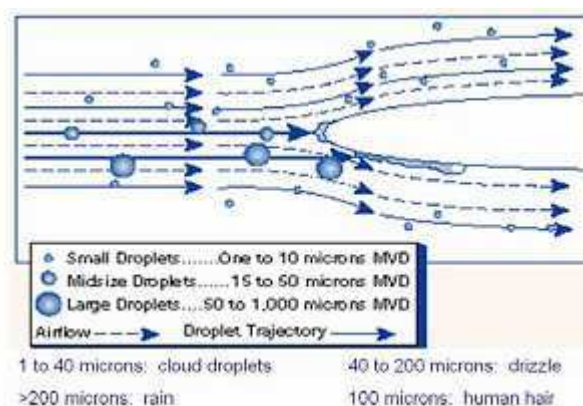


Рис. 23 Траектории капель вблизи аэродинамической поверхности (крыла)

Интенсивность обледенения определяется следующим образом:

- Слабая** Скорость нарастания льда может создавать проблемы, если полет в таких условиях продолжается более 1 часа.
- Умеренная** Скорость нарастания такова, что даже кратковременное обледенение потенциально опасно. Должно применяться антиобледенительное оборудование.
- Сильная** Скорость нарастания такова, что применение антиобледенительного оборудования недостаточно для уменьшения или управления риском. Необходим немедленный уход из зоны.

Кроме метеорологических факторов, скорость отложения льда на корпусе воздушного судна также зависит от характеристик самолета. Быстрое воздушное судно с тонким поперечным сечением крыла более чувствительно к ухудшению аэродинамических характеристик, и поэтому более чувствительно к нарастанию льда.

Вертолеты особенно уязвимы к обледенению, потому что нарастание льда на несущих винтах может привести к нарушению равновесия, дестабилизируя воздушное судно.

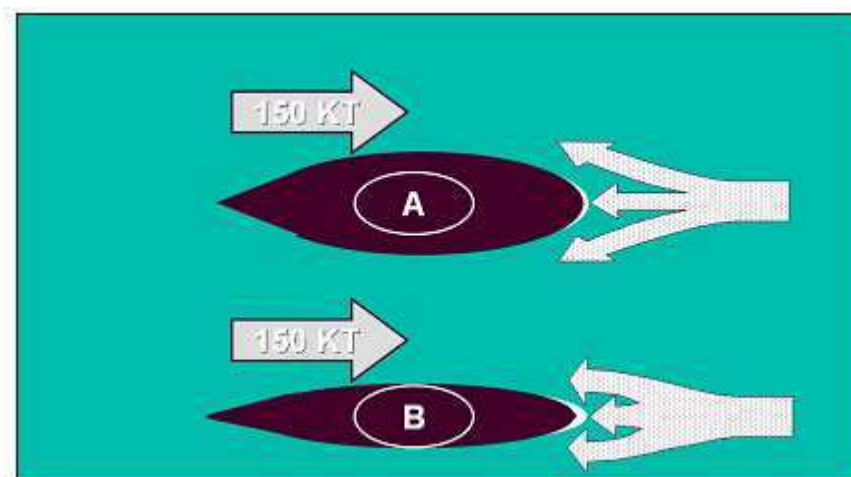


Рис. 24 Нарастание обледенения в зависимости от поперечного сечения крыла

Обледенение корпуса самолета представляет собой серьезную опасность для авиации. Возможный диапазон воздействий на самолет приводится ниже:

- Ухудшение аэродинамических свойств
- Изменение режима полета
- Возрастание веса и неравномерность центровки груза
- Блокировка воздухозаборников турбин
- Проблемы с убиранием/выпуском шасси
- Рули заклиниваются или становятся малоподвижными
- Блокируются трубки Пито
- Повреждается связь
- Ухудшается обзор

Обледенение турбины или поршней происходит в условиях высокой относительной влажности возле точки замерзания, когда пониженное давление в поршне приводит к конденсации и намерзанию внутри турбины (смотри раздел ниже).

3.1.3 Анализ рисков с использованием соответствующих изображений

Основным условием обледенения корпуса воздушного судна является наличие переохлажденных капель облачности. Диагностика такой облачности в реальном времени легче всего производится при помощи использования методики 'цветового расслоения' спутниковых IR снимков, обычно девятого канала спутника MSG (длина волны 10.8 мкм). Она позволяет синоптику определить фактическую температуру вершин облаков по инфракрасному спутниковому снимку. Такая характеристика доступна по Nimbus.

Серия спутников MSG также имеет возможность различать переохлажденные водяные капли и лед. На третьем канале MSG (длина волны 1.6 мкм) ледяные кристаллы и капли воды ведут себя по-разному в отношении падающего 'видимого' света. Ледяные кристаллы сильно поглощают, поэтому на IR снимках третьего канала зоны оледенения выглядят более темными, чем облачность из водяных капель. Комбинируя эту характеристику с температурами вершин облачности от обычного канала 9 MSG, в частности, используя цветное комбинированное изображение RGB, можно идентифицировать переохлажденные водяные капли на вершине облачности. Хотя данный метод представляет полезный способ для контроля вершин облаков, он не дает информации о нижележащей облачности.

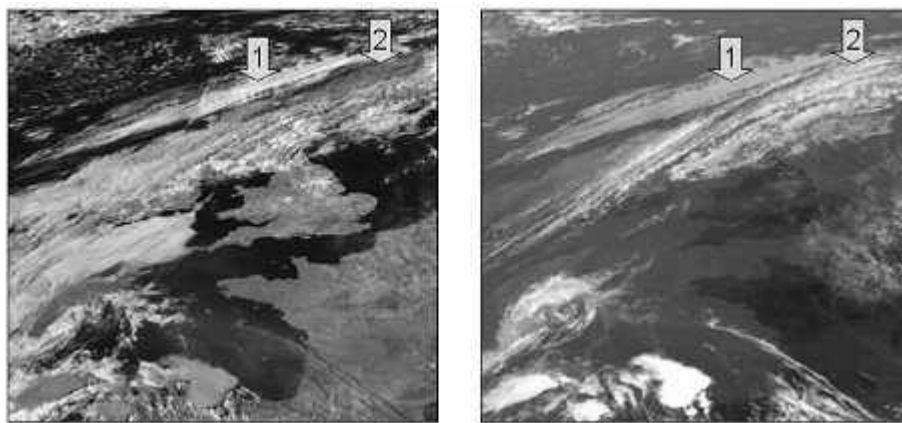


Рис.25 Инфракрасные снимки за 1500Z 05.09.2004. Слева длина волны 1.6 мкм, справа 10.8 мкм. Заметьте разницу в отражаемости зон 1 и 2: 1 – капли воды, отражаемость высокая, 2 – ледяные кристаллы, отражаемость ниже. На обоих снимках IR картинка показывает наличие холодной облачности.

3.1.4 Эмпирические методики прогнозирования

Интенсивность обледенения корпуса воздушного судна зависит от температуры, содержания жидкой воды, размера капель и вертикальных движений. Чтобы определить наличие обледенения, необходимо использовать фактические и прогностические вертикальные профили атмосферы, карточки метеорологического локатора и спутниковые снимки, а также знание и понимание характеристик различных типов облачности.

Синоптический анализ

Изучая вероятность обледенения, следует учитывать такие факторы:

- Чтобы обледенение имело место, должно быть наличие переохлажденной воды в атмосфере (капли жидкой воды при температуре ниже 0° C).
- Чем больше содержание переохлажденной воды, тем более значителен риск обледенения. Содержание переохлажденной воды уменьшается при понижении температуры.
- Чем больше размер капли переохлажденной воды, тем более значителен риск.
- По-видимому, только очень мелкие капельки остаются переохлажденными при температурах ниже -20°С, следовательно, самое опасное обледенение возможно при температурах от 0° до -15° C.
- Переохлажденные капли воды не могут существовать при температурах ниже -40° C.
- Переохлажденные капли замерзают при столкновении с твердой поверхностью, но могут растекаться, прежде чем полностью замерзнуть. Величина растекания зависит от размера капель (большие капли растекаются больше), температуры окружающего воздуха и температуры поверхности.
- Вертикальные движения воздуха внутри облака увеличивают водность облака. Наиболее интенсивное обледенение связывается с восходящими движениями в кучевообразной облачности, но вертикальные движения во фронтальной и орографической облачности также могут приводить к сильному обледенению.

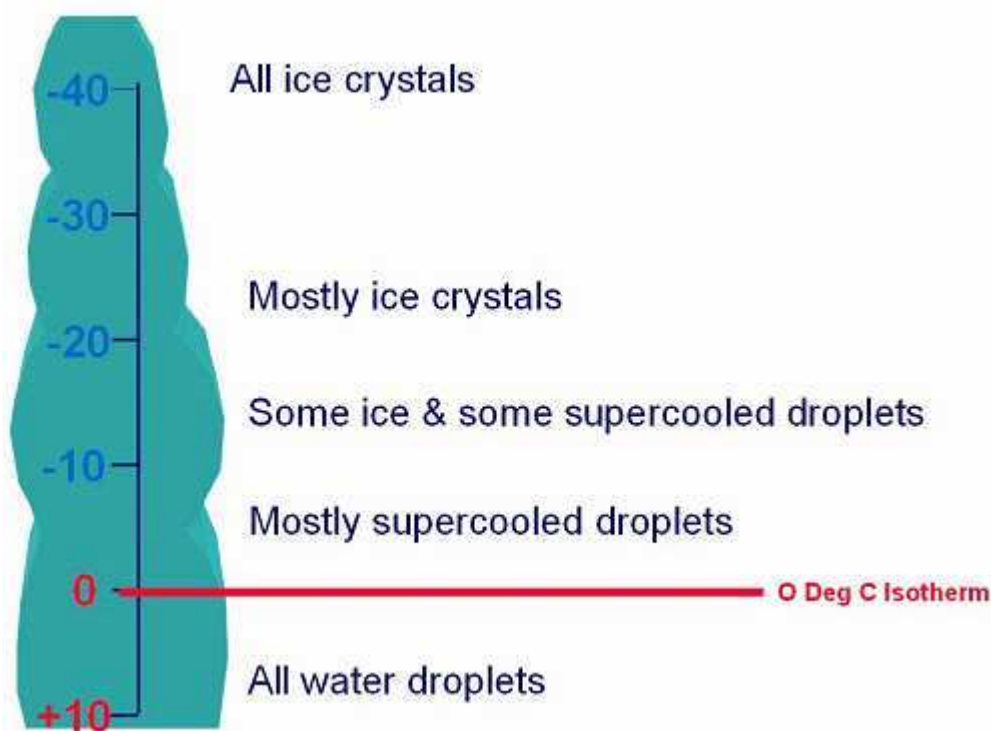


Рис. 26 Изменение фаз воды в связи с падением температуры с высотой

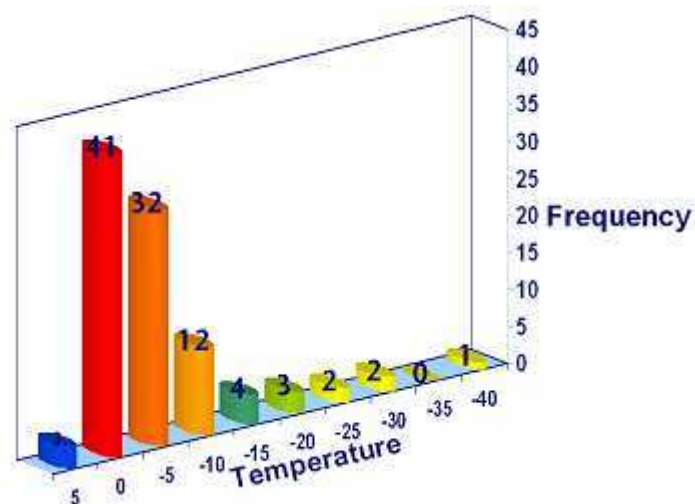


Рис. 27 Частота обледенения корпусов самолетов (800 случаев) в процентном выражении

Содержание жидкой воды в облачности (водность облаков)

Содержание жидкой воды в облачности зависит от разнообразных факторов. Самые важные соображения приводятся ниже:

- Водность от нулевого значения на нижней границе облака возрастает примерно линейно первые 600 – 1000 футов высоты. При отсутствии орографического поднятия, скрытой кучево-дождевой облачности или осадков, в этом объеме 600 – 1000 фт наблюдается слабое обледенение.
- Внутри каждого облака наблюдается широкий разброс содержания жидкой воды: смешивание с сухим воздухом на вершине облака может уменьшать содержание жидкой воды до половины максимального значения, хотя максимальные значения составляют только крошечную долю объема облака.
- В облачности, выглядящей как однородная слоистая, по интенсивности обледенения могут быть значительные пространственные различия, если некоторая часть облачности испытывает вертикальные движения из-за орографического эффекта.

Прогнозируемые типы обледенения

- *Изморозь* – мелкие переохлажденные водяные капли, относительно низкая водность вдоль маршрута полета, диапазон температур обычно от 0° до -40° С, быстрое замерзание из-за малого выделения скрытой теплоты.
- *Прозрачный лед* (также известен как глянцевый лед) – большие переохлажденные капли воды, относительно высокая водность вдоль маршрута полета, диапазон температур обычно от 0° до -15° С, медленное замерзание благодаря большому выделению скрытой теплоты, позволяющему конденсирование.
- *Смешанный лед* – переохлажденные водяные капли разного размера, переменные значения водности вдоль маршрута полета, диапазон температур обычно от -10° до -15° С, различные скорости замерзания.
- *Замерзающий дождь* – как прозрачный лед; очень большие переохлажденные капли воды, иначе известные как замерзающий дождь. Замерзающий дождь состоит из переохлажденных капель дождя, которые замерзают при контакте с твердой поверхностью. Он может привести к очень быстрому интенсивному обледенению корпуса воздушного судна. Самые обычные условия образования переохлажденных капель – когда капли дождя попадают из теплого слоя атмосферы в намного более холодный нижележащий слой. Наиболее вероятные условия погоды для этого наблюдаются зимой непосредственно перед теплым фронтом, особенно если теплый воздух натекает на холодный континентальный воздух. Заметьте наличие 'теплого носа' при зондировании.

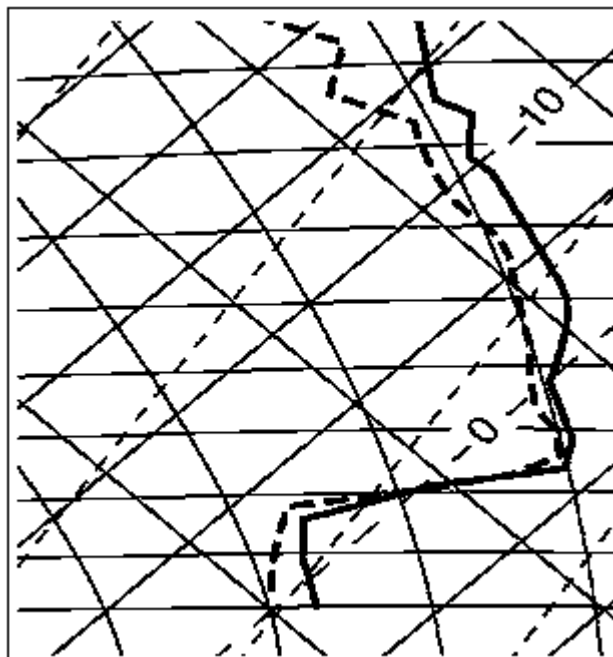


Рис. 28 Пример типичной стратификации температуры замерзающего дождя, полученный при зондировании

Переохлажденные капли Переохлажденные большие капли, капли мороси, замерзающая морось. Размер капель в диапазоне 50-500 мкм. Типовой сценарий – это переохлажденный слой тумана. Чистый процесс слияния приводит к формированию капелек мороси через пару дней. Если температура у земли ниже 0°С, замерзающую морось можно легко диагностировать при наличии а) жидких осадков, и б) температуры ниже нуля наверху.

Иней – температура точки росы окружающего воздуха выше, чем отрицательная температура корпуса самолета. Три возможные причины: а) самолет поставлен на стоянку холодной зимней ночью; б) быстрое снижение из слоя с отрицательной температурой в теплый влажный воздух, иначе известное как 'выдержка в холоде'; в) взлет в туманное утро в теплый влажный воздух наверху из-за ночной приземной инверсии.

Прогнозирование интенсивности обледенения

Таблица 4 дает представление о вероятности, интенсивности и типе обледенения корпуса воздушного судна. Конвективная облачность имеет тенденцию приводить к худшему обледенению, чем слоистая облачность, благодаря более высокому содержанию влаги, большему размеру капель и большему вертикальным скоростям. Если адвекция переохлажденных капель снизу более сильная, чем процесс замерзания капель, особенно при отсутствии ядер замерзания, тогда количество переохлажденной жидкой воды увеличивается. Вот почему можно обнаружить сильное обледенение в любой части кучево-дождевого или кучевого облака. Риск обледенения, вероятно, будет самым большим в облаке, расположенном непосредственно под уровнем замерзания (высокое содержание переохлажденной жидкой воды).

Табл. 4 Вероятность и интенсивность обледенения при разных типах облачности

Тип облачности	Вероятность обледенения	Интенсивность обледенения	Вероятный тип обледенения	Содержание влаги gm^3
CB	Высокая	SEV	Все	0.2 – 4.0
CU	Умеренная/высокая	MOD/SEV	Прозрачный	0.2 – 0.6
NS	Высокая	SEV	Все	0.2 – 4.0
SC, AC	Умеренная	Редко превышает MOD*	Смешанный	0.1 – 0.5
AS	Низкая	MOD/Light	Изморозь	0.1 – 0.3
ST	Низкая	Light	Изморозь	0.1 – 0.5

*Заметьте, что: а) длительный рейс внутри переохлажденной слоистой облачности может представлять риск большей степени обледенения, чем предполагается здесь; б) облака Stratocumulus (SC) иногда могут давать неожиданно сильное обледенение, особенно, если они располагаются в слое отрицательных температур непосредственно под инверсией над морем. Особый риск существует при скрытой конвекции, в частности, вблизи вершин, пробивающих задерживающий слой. Пилоты не распознают маскированную кучевку при полете в слоистой облачности. В таких конвективных облаках скорость нарастания обледенения может достигать 3мм/мин.

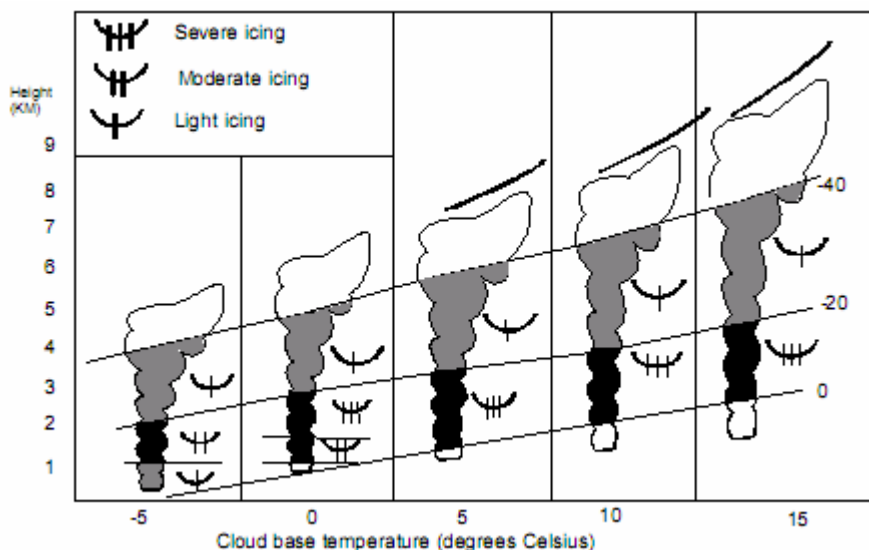


Рис. 29 Интенсивность обледенения в конвективной облачности

Фактическое время полета в условиях обледенения также является важным фактором. Слои обледенения в облачности обычно имеют толщину 2000 – 3000 футов и редко превышают 5000 фт. Облака кучевых форм всегда можно облететь стороной, тогда как обледенение в облачности обычно сопряжено с необходимостью изменения высоты полета либо вверх, либо, если местность позволяет, вниз. Если, однако, значительные массы льда уже выросли, самолет может просто

быть не в состоянии подняться над облачностью. Поэтому решение, а особенно для легких воздушных суден, следует принимать очень быстро, даже в течение нескольких минут.

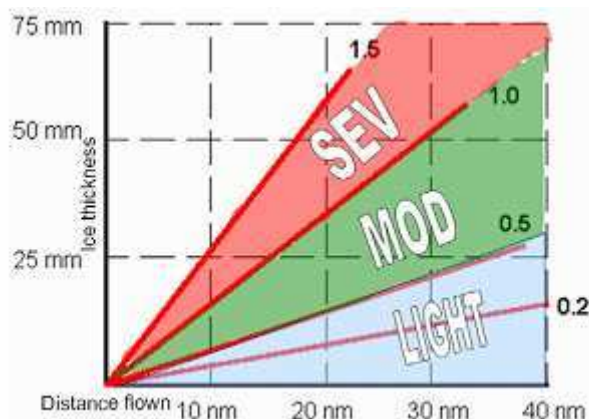


Рис.30 Скорость нарастания льда в облаках с различной водностью (gm^{-3})

Неметеорологические или другие факторы

- Риск и интенсивность обледенения возрастает в облачности с отрицательной температурой над возвышенностями и горами благодаря вертикальным движениям.
- Источники и природа переохлажденных капель все еще исследуется. Наблюдения показывают, что в слоях сдвига вблизи вершин переохлажденных облаков находятся переохлажденные капли.
- То же самое можно сказать о вершинах кучевых облаков, пробивающих задерживающий слой.
- Влияние переохлажденных капель на выполнение полетов зависит от типа самолета. Обычно, чем меньше воздушное судно (турбовинтовой самолет), тем более оно чувствительно к обледенению.
- Риск и интенсивность обледенения возрастает в облачности с отрицательной температурой при полете над большими массами (незамерзающей) воды благодаря более высокому содержанию переохлажденной жидкой воды и большему размеру переохлажденных водяных капель.
- Трение вызывает кинетическое нагревание, поднимающее температуру корпуса воздушного судна. Например, $+1^\circ$ при скорости 100 узлов, $+25^\circ$ при скорости 500 узлов.

Существует специальная диагностика обледенения и разрабатываются методики нагрева частей корпуса. Некоторые из них уже находятся на этапе экспериментального тестирования и могут оцениваться официально. Например, по поводу CIP/FIP обращайтесь к NCAR, по поводу SIGMA к METEO Франс, по поводу ADWICE – в Службу Погоды Германии (DWD), а про алгоритм обледенения Унифицированной Модели UM – в Мет Офис Великобритании. Эти модели по сути являются экспертными системами, которые используют большой ряд наблюдений, моделируют и делают выводы, - где, когда, какого типа и при каких условиях происходит обледенение.

3.1.5 Краткий учебный случай

Далее приводится выдержка из доклада Австралийского Бюро Безопасности на Транспорте (АББТ) о потере управления 28 июня 2002 года самолетом Saab 340. Это произошло в результате обледенения корпуса, происшедшего во время финального снижения в полете от Сиднея до Батэрста, штат Новый Южный Уэльс, после того, как самолет занял минимальную высоту снижения 3810 фт. Самолет сначала накренился влево и стал без предупреждения снижаться, а во время восстановления после первого сваливания самолет накренился вправо и опустился до 112 фт прежде, чем высота полета была восстановлена.

В заключительном докладе АББТ о расследовании этой серьезной предпосылки было указано, что пилоты потеряли управление вследствие низкой скорости полета, обледенения корпуса воздушного судна, работы системы автопилота самолета; и что они не получили важного предупреждения о сваливании самолета. Можно также предположить, что отложение льда должно было быть немного ассиметричным, из-за чего автопилот не смог более справляться с создаваемым крутящим моментом.

Используя репрезентативное зондирование температуры и доступные IR спутниковые снимки, над Батэрстом были определены такие метеорологические условия (все высоты над уровнем моря):

- Высота нулевой изотермы 3500 фт.
- Облачность разорванная или сплошная, высота нижней границы 3000 фт, верхняя граница на 7500 фт
- Температура вершин облаков от -7° С до -9° С.
- Формирование облачности частично шло благодаря орографическому эффекту.
- На лобовом стекле кабины летчика во время снижения в облачности наблюдалось отложение льда.

В результате катастрофы 1994 года из-за обледенения корпуса самолета ATR-72 в Розелон, FAA США выпустила директиву о годности к летной эксплуатации, которая применима также и к Saab 340, требующую, чтобы наставления о выполнении полетов предупреждали, что работа автопилота может маскировать проблемы в условиях сильного обледенения.

3.2 ОБЛЕДЕНЕНИЕ МОТОРА И КАРБЮРАТОРА

Некоторые самолеты подвержены обледенению карбюратора и воздухозаборников. Оно вызывается снижением давления, приводящему к адиабатическому охлаждению вследствие расширения воздуха.

Обледенение карбюратора воздушных судов с поршневым двигателем является наиболее частым видом проблем, связанных с обледенением. При поступлении в карбюратор влажного воздуха через трубку Вентури, на стенках откладываются ледяные кристаллы. Они сужают трубку и приводят к постепенному уменьшению мощности. Обледенение карбюратора часто наблюдается при положительной температуре окружающего воздуха, основным фактором является содержание влаги в атмосфере. Чем больше влаги в воздухе, тем больше риск; следовательно, обледенение двигателя более вероятно в теплый влажный облачный летний день, чем в холодный сухой ясный зимний день. В очень влажной атмосфере адиабатическое охлаждение может привести к понижению температуры до 5° С.

Охлаждение в карбюраторе может усиливаться из-за испарения топлива. Такое искусственное охлаждение само может приводить к понижению температуры приблизительно на 10° С.

Дополнительной проблемой для двигателя является нарастание льда на кромках и стойках воздухозаборников в самых разных условиях. В чрезвычайных случаях большие куски льда могут отламываться и служить причиной повреждения мотора.

Для некоторых самолетов необходим прогноз высоты определенной температуры (например, уровней PS 03 или MS 01) с целью уклонения от полета на высотах, где могут быть проблемы с обледенением двигателя.

Чаще всего обледенение мотора наблюдается, если температура воздуха немного выше нуля, а относительная влажность больше 60%. Поэтому пилоты используют прогностические данные температуры и влажности воздуха для оценки риска обледенения двигателя. Типовыми условиями появления высокой влажности есть дымка после сильного дождя и непосредственно под слоистой облачностью.

4. КУЧЕВО-ДОЖДЕВАЯ ОБЛАЧНОСТЬ И ГРОЗЫ

Кучево-дождевые облака (СВ) представляют большую угрозу для авиации благодаря вероятности:

- сильной турбулентности,
- сильного обледенения,
- микровзрывов, образованию шквалов или фронтов порывистости, создающих сильную турбулентность на низком уровне,
- грозových разрядов,
- высокой влажности, например, содержанию дождевой воды,
- града.

Поскольку кучево-дождевая облачность может создавать много разных видов опасностей в одно и то же время в одном и том же месте, ее никогда не следует недооценивать. Воздушное судно должно избегать влетать в район развития кучево-дождевой облачности, особенно, если она может быть маскирована неясными облачными слоями.

Хотя продолжительность жизни отдельных СВ облаков может составлять 1.5 часа, наиболее интенсивное развитие кучево-дождевой облачности и грозовой деятельности связано с многоячеечными конвективными системами, которые затем могут развиваться в Суперячейки.

Такие системы являются долгоживущими благодаря появлению дочерних ячеек, и это может продолжаться в течение многих часов.

Синоптики всегда должны понимать различные типовые условия, которые приводят к развитию грозовой деятельности. Нецелесообразно обсуждать здесь подробности этих сценариев, и читатель отсылается к большой и разнообразной литературе по предмету, включая записки Мет Офиса.

4.1 СИЛЬНАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ

Читатель отсылается к разделу 'Турбулентность' этих заметок и должен рассматривать кучево-дождевую облачность способной создавать наиболее опасные турбулентные условия.

4.2 СИЛЬНОЕ ОБЛЕДЕНЕНИЕ

Читатель отсылается к разделу 'Обледенение' этих заметок и должен рассматривать СВ облачность способной создавать наиболее опасные условия обледенения. Следует иметь в виду, что сильное обледенение может наблюдаться на высотах, близких к уровню -40° , располагающемуся в верхней части облаков на высоте выше 30 000 фт. В прошлом произошло несколько катастроф, когда СВ облака маскировались большими фронтальными облачными системами и самолет влетал в кучево-дождевое облако, не подозревая о его существовании. Обледенение было таким, что трубы Пито полностью блокировались льдом, несмотря на их обогрев.

4.3 МИКРОВЗРЫВЫ

Читатель отсылается к разделу 'Турбулентность' данных заметок, где рассматриваются явления микровзрывов и кучево-дождевой облачности. Смотрите также раздел 'Песчаные и пыльные бури' и обсуждение этих явлений.

4.4 ГРОЗЫ И ГРОЗОВЫЕ РАЗРЯДЫ

4.4.1 Описание

Молнии (грозовые разряды, засветки) могут наблюдаться внутри и возле кучево-дождевых облаков, в том числе в наковальнях и под наковальнями.

Метеорологический словарь описывает молнию как электрический разряд силой примерно 20 кулон и разностью потенциалов где-то 10^8 или 10^9 вольт. Электрические разряды могут происходить внутри облака (называются внутри-облачными разрядами) и между облаком и землей (называются грозowymi разрядами в землю). Обычно разряды внутри облака слабее грозowych разрядов в землю, но могут достигать такой же силы.

Гром – это звуковое проявление электрического разряда, вызванное сильным нагреванием и расширением атмосферы, окружающей путь прохождения молнии.

4.4.2 Воздействие на воздушное судно

Воздействий молнии на воздушное судно (и на его экипаж и пассажиров) может быть множество.

Если разряд попадает в прочную, металлически связанную конструкцию, самолет останется структурно прочным, и пассажиры и экипаж не будут непосредственно поражены током и напряжением разряда благодаря эффекту клетки Фарадея. Но вход и выход разряда будут явно видны как ожог на обшивке самолета. Это результат температуры 3000 - 32000° К внутри канала молнии. Если же разряд попадает рядом или проходит через такие детали, как антенны, тогда эти детали могут быть разрушены. Удар молнии вызовет у пассажиров и экипажа шок и, возможно, страх. Ночью разряд молнии может быть причиной временной слепоты или ухудшения зрения экипажа.

Попадание молний в современные композитные материалы будут вызывать расслоение материала. Если разряды попадают в структурно важные зоны самолета, их целостность может подвергаться риску. Поэтому удары молнии по композитным лопастям вертолета особенно опасны.

После удара молнии могут выйти из строя электрическая/электронная системы с отключением цепи питания. Магнитные компасы становятся ненадежными.

Радиокommunikационному и навигационному оборудованию может быть нанесен ущерб.

Автоматический радиокompас (ADF) будет указывать на центр бури.

4.4.3 Анализ рисков, используя соответствующие изображения

Спутниковые снимки, особенно ряды снимков, могут помочь идентифицировать развивающуюся конвективную облачность. Инфракрасные снимки дают оценку степени охлаждения вершин и приблизительные значения температуры вершин облаков. Снимки водяного пара помогают идентифицировать зоны высокого значения Адвекции Положительного Вихря (PVA), которые могут благоприятствовать развитию кучево-дождевой облачности и грозовой деятельности.

Слежение с помощью метеорологических радиолокаторов является важным методом контроля развития конвективных ячеек. В качестве оценки вероятности грозы используется цветовой код, соответствующий интенсивности осадков. Поляризационные радиолокаторы позволяют различать частицы осадков, например, снежную крупу и град. Сдвоенные доплеровские локаторы обозначают зоны подтока воздуха, слои сдвига ветра и могут давать силу восходящего потока.

Системы обнаружения засветок идентифицируют электрически активные части облака и таким образом позволяют различить на радарном снимке неопасные зоны обложного дождя и активные конвективные ячейки. Системы обнаружения внутриоблачной активности дают очень раннюю индикацию развития грозowych ячеек еще до первых раскатов грома у земли. Их первое появление прекрасно коррелируется с началом оледенения внутри облака.

4.4.4 Эмпирические методики прогнозирования

Существует много методик, чтобы помочь прогнозику оценить вероятность грозы или грозовой деятельности. Кратко некоторые из основных способов приводятся ниже:

- Построение тефиграммы, фактический и прогностический профили.
- Исследование мощности конвекции и проверка на грозу в соответствии с локальными критериями.
- Конвективное поднятие до и выше изотермы минус 20° C.
- Рассмотрение индекса неустойчивости Бойдена, модифицированного индекса Рэклиффа, Джефферсона (индекс потенциальной неустойчивости), Бредбери (К-индекс) или других.
- Мониторинг районов пониженной θ_w с высотой для диагностирования зон потенциальной неустойчивости.
- Всегда заслуживают изучения 'тонкие влажные' зоны, связанные с расщепленными холодными фронтами.
- Рассматривать влияние отсутствия / однонаправленного / или направленного сдвига ветра, учитывая высоту облака.

Имеется несколько других общеиспользуемых индексов, таких, как значения CAPE или Индексы поднятия. Расчет CAPE зависит от используемой в гидрометслужбе системы прогнозирования, но графические свойства 'равной зоны' тефиграммы позволяют создавать очень выразительные схемы, чтобы легче было определять мощность конвективного облака. Значения индексов подъема (например, на 850 гПа) могут применяться, но тогда не учитываются ни задерживающие инверсии непосредственно над высотой примера, ни уровни замерзания.

CAPE

0	устойчивая
0-1000	слабонеустойчивая
1000-2500	среднеустойчивая
2500-3500	очень неустойчивая
≥ 3500	чрезвычайно неустойчивая

Для полноты информации: размерностью CAPE есть Дж/кг.

Индекс поднятия (500 гПа)

11	чрезвычайно устойчивая	TS маловероятна
8-11	очень устойчивая	TS маловероятна
4-7	устойчивая	TS маловероятна
0-3	в основном устойчивая	TS маловероятна
-3...-1	слегка неустойчивая	TS вероятна
-5...-4	неустойчивая	TS вероятна
-7...-6	очень неустойчивая	вероятна сильная TS
< -7	сильно неустойчивая	неустойчивая TS. Вероятно торнадо

Конвективные ячейки могут смещаться или следовать полю ветра на высоте, соответствующей 1/3 высоты облака, измеряемой от нижней границы основания облака.

Ветер на высоте 700 гПа (~ 10 000 фт) часто является хорошим первым приближением траектории гроз через Великобританию – но бывают случаи, когда облачность очень низкая/тонкая или высокая/мощная.

4.4.5 Соответствующие продукты численных моделей

В соединении с эмпирическими методиками численное прогнозирование может применяться для определения различных индексов неустойчивости. По тефиграммам можно обычным порядком определять конвекцию и получать результаты. Большинство продуктов численных прогнозов дают некоторую индикацию конвективных осадков и их интенсивности. Можно считать, что 'самые серьезные' такие указатели просто предполагают возможность образования кучево-дождевой облачности и грозовой деятельности.

4.5 СИЛЬНЫЙ ДОЖДЬ

4.5.1 Описание

Не существует согласованного международного определения интенсивности осадков. Используются следующие критерии:

- Дождь называют сильным, если интенсивность превышает 4 мм/час.
- Ливни называют сильными, если интенсивность превышает 10 мм/час.

Далее ливни классифицируются как неистовые (очень сильные), если интенсивность превышает 50 мм/час, хотя такая интенсивность обычно считается нормальной для тропических регионов.

Такой термин, как 'очень сильные' не имеет официального хождения, но он и подобные ему термины будут применяться далее для описания интенсивности осадков, намного превышающих обычно ожидаемые величины, связанные с грозовой деятельностью. Пожалуйста, отметьте, что для авиационных целей интенсивность дождя, по существу, является мерой содержания дождевой воды.

4.5.2 Воздействие на воздушное судно

Большая или очень большая интенсивность осадков будет, конечно, оказывать ухудшающее влияние на общую видимость. Однако, кроме уменьшения метеорологической дальности видимости, воздействие дождя на ветровое стекло/фонарь кабины летчика создает дополнительное ухудшение видимости. Дворники стекол (если установлены) могут быть не в состоянии справиться с дождем.

При сильном дожде легкое, не герметизированное воздушное судно, может пропускать (засасывать) воду в кабину/кокпит/отсек двигателя, создавая риск для электронного оборудования. Двигатели гражданских самолетов тестируются и сертифицируются, чтобы гарантировать, что турбины не загорятся в условиях интенсивного дождя и засасывания воды. Ураганы, – это другой вопрос.

Залитая водой ВПП или участки стоячей воды будут оказывать тормозящее действие и могут привести к асимметричному торможению и возможному выкатыванию за пределы ВПП.

Низкая облачность (слоистых форм) может временами давать умеренный или сильный дождь, когда его не ожидали (смотри ниже).

4.5.3 Анализ риска, используя соответствующие снимки

Метеорологические локаторы неоценимы для диагностирования зон осадков и определения их интенсивности, хотя ограничения радарных снимков всегда следует иметь в виду.

Спутниковые снимки могут помочь в выявлении зон охлаждающихся (и поэтому растущих и развивающихся) вершин облачности. Комбинирование различных длин волн метеорологических спутников (продуктов RGB) все больше будет полезно при определении зон осадков и общего развития. Обращайтесь к разделу 'Обледевание' этих записок.

Системы обнаружения засветок показывают, где располагаются области наиболее частой и упорядоченной грозовой деятельности, а также оказывают некоторую помощь при оценке смещения.

Анализируя такие данные, синоптик всегда должен внимательно следить за развитием дочерних ячеек и возникновением отдельных ячеек в других местах, т.е. бури могут не следовать за общим направлением ветра или 'ведущим потоком'.

4.5.4 Эмпирические методики прогнозирования

Внимательно следите и рассматривайте случаи, когда совпадают высокие значения адвекции положительного вихря и адвекции тепла, - это наиболее вероятные зоны образования сильных осадков – и из слоистой, и из конвективной облачности.

Помните, что орография увеличивает выпадение осадков на наветренной стороне возвышенностей и гор.

Длительные периоды сильных или умеренных дождей увеличивают влажность на низких уровнях вследствие процесса испарения и охлаждения. Даже получаса очень сильного дождя может понизить температуру окружающего воздуха до температуры, близкой к температуре смоченного термометра, в то время, как на достижение такого же эффекта при непрерывном умеренном дожде надо 1 – 2 часа. Часто в результате появляется рваная слоистая облачность, и из Справочника Синоптика взято следующее правило:

- 2 часа непрерывного дождя – высота нижней границы 800 фт
- 4 часа непрерывного дождя – высота нижней границы 400 фт.

4.5.5 Связанные продукты численных моделей

Данные базовых моделей дают значения вероятной интенсивности динамических осадков/конвективных осадков в конкретное время и общее количество осадков за конкретный период.

Всегда надо понимать ограничения данных модели и то, что такая интенсивность будет осреднена по сетке. Учитывайте влияние увеличения количества осадков на наветренной стороне.

4.6 ГРАД

4.6.1 Описание

Мелкий град (GS по коду METAR) – это град или снежная крупа диаметром менее 5 мм. Настоящий град (GR по коду METAR) – это град диаметром 5 мм или более. Град (GS и GR) может выпадать из кучево-дождевой облачности (CB). Мелкий град GS (не GR!) может выпадать из кучевых мощных облаков (TCU). Явление не следует путать с ледяным дождем (PL по коду METAR), выпадающим из слоистой облачности.

Град формируется в восходящих потоках конвективной (TCU или CB) облачности. Чем сильнее восходящий поток, чем больше вертикальная протяженность облака, тем больше может быть размер градин.

4.6.2 Влияние на воздушное судно

Град маленького размера оказывает небольшое влияние на самолет, он просто отскакивает от него. Но даже маленькие градины ухудшают видимость. Начало выпадения града может быть очень резким, неожиданным для пилота.

Градины могут достигать значительного размера, вызывая повреждения обшивки самолета, что влияет на аэродинамику воздушного судна, и также существует вероятность разбивания лобового стекла.

Град может сильно повредить лопасти пропеллера и лопасти турбины. Он может блокировать воздухозаборники или откладываться где-нибудь внутри воздухозаборника.

Внезапные ливни града могут образовывать чрезвычайно скользкую поверхность на ВПП или рулежной дорожке. Поэтому, даже когда град закончился, а видимость и облачность подходят для приземления самолета, состояние ВПП может оказывать неблагоприятное влияние на выполнение полетов.

4.6.3 Анализ рисков с использованием соответствующих снимков

Интенсивная отражаемость на радиолокационных снимках может указывать на град внутри данной конвективной системы. Допплеровский локалатор может предоставлять информацию о восходящих потоках достаточной силы для образования градин, а поляризационный локалатор позволяет идентифицировать град внутри облака. В общем, град может ожидаться внутри или вблизи основного восходящего потока.

4.6.4 Эмпирические методики прогнозирования

Как правило, град можно ожидать, если:

- Температура вершин кучево-дождевых облаков ниже -20°C ;
- Частица, поднятая по криволинейной траектории, имеет температуру на 4° выше, чем кривая температуры окружающей среды на том же уровне, и дает вершины облачности, превышающие 15 000 фт;

Исследуя кривую частицы более внимательно, можно применять следующий способ:

- В точке, где кривая достигает -20°C , измерять разность между этой температурой и температурой окружающей среды;
- Если разность $\geq 5^{\circ}$, - прогнозируется град; если разность от 5° до 2.5° , - прогнозируется слабый град или дождь; если разность $\leq 2.5^{\circ}$, - прогнозируется дождь.

Далее утверждается, что большой град требует 'устойчивого состояния', но не обязательно медленно смещающегося шторма.

Между основанием и вершиной кучево-дождевого облака необходимо присутствие вертикального сдвига ветра.

4.6.5 Соответствующие продукты численных моделей

Основным продуктом численных моделей, применимым для прогноза града, может быть прогностическая тефиграмма. На тефиграмме можно выполнять обычные конвективные построения и судить о вероятности выпадения или не выпадения града.

"Необработанные" результаты модели в форме символов сильного дождя могут считаться индикаторами возможности образования града, но это очень приблизительный способ. Довольно много деталей строения атмосферы необходимо учитывать, поэтому изучение прогнозирования по численным моделям продолжается.

4.6.6 Краткий учебный случай

Снимок иллюстрирует повреждения, которые большой град может нанести самолету в полете.



Рис. 33 Военный самолет после попадания в град

5 СИЛЬНЫЙ ДОЖДЬ

Смотри описание сильного дождя в разделе 'Кучево-дождевые облака и грозы' этих заметок.

Отметим, что сильный дождь может наблюдаться и в отсутствии кучево-дождевой облачности. В таких случаях его причиной могут быть плотные мощные слои фронтальной облачности, возможно, усиленные орографическим поднятием. Если ожидается выпадение дождя из неконвективных облаков, следует указывать (и прогнозировать) слоисто-дождевую облачность (NS).

Нет особых причин, почему кучево-дождевое облако СВ не может скрываться внутри слоисто-дождевого.

6 СНЕГ

6.1 Описание

Снег – это твердые осадки в форме отдельных, обычно лучистых, кристаллов льда, или агломерата таких кристаллов. Структура снега зависит от температуры и условий его образования. При температурах выше -5°C кристаллы имеют склонность к слипанию.

6.2 Влияние на воздушное судно

Снег, даже слабой интенсивности, оказывает серьезное ухудшающее воздействие на видимость. Нетающие снежинки при температуре ниже нуля сильно отклоняются потоком воздуха и на большинство воздушных судов влияния не оказывают. Однако, если снег попадает в гондолу двигателя или в пустоты, такие, как ниша шасси, он может накапливаться и уплотняться, создавая помехи. Они могут ограничивать поток воздуха на турбины или препятствовать выпуску шасси приземляющегося аппарата.

На земле во время стоянки или руления снег может накапливаться на корпусе, нарушая аэродинамические характеристики и увеличивая вес самолета. На лобовое стекло может налипать снег и дворники становятся неэффективными (если они установлены).

Могут блокироваться трубки Пито, что приводит к ошибкам в показаниях скорости и высоты полета.

Мокрый (тающий) снег не так легко отклоняется потоком воздуха и быстро уплотняется на передней части поверхностей корпуса воздушного судна. Как указывалось выше, если снег уплотняется внутри и на передней части гондолы двигателя, в нише шасси или на решетке воздухозаборника двигателя, это может привести к опасным последствиям.

Накопление снега на взлетной полосе значительно ухудшает торможение. Оно также затемняет огни ВПП и может мешать отличить ВПП от соседнего травяного покрова, особенно, если учесть, что видимость ухудшена. Бывают случаи, когда у земли идет дождь, а на высоте приблизительно 1000 фт летит снег. В этих условиях снег оказывает влияние на самолет, находящийся на кругу или заходящий на посадку.

Снег до взлета следует полностью удалять с самолета подходящими способами, обычно применяя антиобледенительные жидкости. Фатальная ошибка предполагать, что снег с самолета и крыльев будет удален аэродинамическими силами при старте и взлете.

6.3 Анализ с использованием соответствующих изображений

Радарные и спутниковые снимки сами не могут диагностировать снег на земле. Вершины облачности, обращенные к спутнику, обязательно затенят нижележащую поверхность, хотя видимое изображение может обнаруживать недавнее выпадение снега через разрывы облачности. Радарные отражения от снега и дождя калибруются давать одинаковые значения при одной интенсивности, но тающий снег дает намного большее отражение. Это явление создает эффект 'яркой полосы' на радарном снимке.

6.4 Эмпирические методики прогнозирования

Прогнозист должен быть хорошо знаком с синоптическими условиями, которые способствуют выпадению снега. Холодный поток полярного воздуха, дающий зимние ливни, - это один из таких сценариев. Холодный континентальный воздух впереди приближающегося теплого фронта может вызвать выпадение осадков в виде снега на нижнем уровне, включая поверхность земли.

Не вдаваясь здесь в подробности применения методики, синоптик может использовать:

- Методику 1000-850 гПа Бойдена;
- Высоту нулевой изотермы;
- Температуру воздуха у земли;
- Относительную топографию 1000 – 500 гПа;
- Наставление;
- Исходную потенциальную температуру смоченного термометра;
- Текущую температуру смоченного термометра;
- Параметр снега Буза;
- Параметр снега Варлей.

Прогнозист должен понимать ограничения таких методик и при необходимости подстраивать количественные значения для учета влияния орографии или понижения уровня замерзания в периоды продолжительных снегопадов. Прогнозист также должен рассматривать вероятность поземка или низовой метели.

6.5 Соответствующие продукты численных методов

Обычно численные методы оказывают хорошую помощь в отношении общей синоптической ситуации, поэтому синоптик в состоянии оценить общую вероятность выпадения снега.

Поля некоторых моделей дают конкретные советы. Часто на карты наносят символы жидких и твердых осадков, но они будут относиться к осадкам, выпадающим у земли, основываясь на внутреннем представлении орографии моделью. В таких обстоятельствах, снегопад, скажем, на 3500 футах может не наноситься моделью как снег, если внутренне представляет зону не выше 3000 фт с фактическим максимумом 4000 фт.

Кроме того, часто указывается вероятность снега, и она относится к вероятности выпадения снега на уровне моря. По существу, символы снега могут (правильно) быть нанесены по горной местности, когда вероятность снега на уровне моря равна нулю.

Некоторые синоптики пользуются прогнозами Мет Офиса на перспективу. Непрямыми индикаторами модели для определения района 'зимних' осадков на уровне моря может служить маркер $2 \theta_w$ на уровне 850 мб или значение 528 дм относительной топографии. Следует с осторожностью пользоваться линиями вероятности снега – линиями $2 \theta_w$ и изогипсами 528 дм относительной топографии. Они могут не всегда обнаружить тонкие слои отрицательных температур приземного течения, которые дают снег на низком уровне.

Прогностические тефиграммы чрезвычайно полезны, но опять-таки, всегда следует учитывать ограничения модели. Тефиграмма может не захватывать слои с отрицательными температурами. Синоптики также должны следить за эффектом охлаждения благодаря фазовому переходу от снега к дождю и за понижением со временем уровня замерзания. Понижение уровня замерзания и отбор энергии тепла от более низких слоев благодаря фазовому переходу от твердого состояния к жидкости может дестабилизировать первоначально устойчивое состояние слоя на низком уровне. Это приведет к формированию кучевых разорванных (Cu frct) облаков в условиях выпадения снега.

6.6 Краткий учебный случай

13 января 1982 года при взлете из национального аэропорта Вашингтон в реку Потомак упал Air Florida 737.

В условиях снегопада и низовой метели и после обработки антиобледенителем самолет заглох в воздухе после взлета.

Несмотря на обработку антиобледенителем, на крыльях был виден снег, осевший на них еще до взлета. Инциденту способствовало применение реверсной тяги при рулении самолета от терминала, когда буксировочные машины оказались не в состоянии оттащить самолет. Полагают, что реверсная тяга забросила снег и лед в турбины, повредив датчик, который передавал в кабину показания мощности двигателя.

В результате, самолет взлетал с крыльями, покрытыми снегом, и с недостаточной силой тяги двигателей.

7 ТУМАН

7.1 Описание

Туман – это взвесь микроскопических капель воды с диаметром ≤ 10 мкм, или, в случае ледяного тумана, частичек льда. Туман для целей авиации, – это условия, когда горизонтальная видимость благодаря этому явлению ухудшается до значений менее 1000 м.

Дальше туманы можно квалифицировать как формирующиеся адвективными процессами или радиационными процессами охлаждения. Применяются также дескрипторы 'туман возвышенностей' и 'фронтальный туман'.

Туман может охватывать большие сплошные площади, либо может формироваться клочьями, охватывая только маленькие участки поля аэродрома. Если слой тумана толщиной менее 2 метров, это называется поземный туман.

7.2 Влияние на самолет

Туман серьезно ухудшает видимость, иногда до такой степени, что приземление может быть невозможно. Только наиболее оснащенное воздушное судно (Гражданская Авиация/военный самолет) в таких обстоятельствах может быть в состоянии совершить 'автоматическую посадку', и только на аэродромах с соответствующим оборудованием. Даже имея техническую возможность, гражданские и военные процедуры выполнения полетов при определенных условиях запрещают 'автоматическую посадку'.

Ледяной туман имеет подобные ограничения по видимости, но, в дополнение к этому, неочищенные рулежки и взлетно-посадочные полосы могут быть покрыты тонким слоем льда.

Пилоты могут получить ложное чувство безопасности при пролете над полем аэродрома, поскольку при направлении взгляда прямо вниз постройки и ВПП могут быть совершенно четко видны. Однако при снижении на подходе и попытке рассмотреть поле аэродрома под наклонным углом через туман, пилот может очень быстро потерять все визуальные ориентиры и оказаться в очень серьезном затруднении.

7.3 Анализ с использованием соответствующих снимков

Туман лучше всего диагностируется при сравнении видимого и инфракрасного изображений, снятых одним и тем же спутником в одно и то же время. Обычно температура верхней поверхности тумана аналогична температуре земли, и поэтому он невидим на инфракрасных снимках. Однако туман сильно отражает солнечные лучи, и поэтому четко виден на видимых снимках. Такая методика сравнения доступна только в дневное время.

Методика комбинирования двух инфракрасных каналов (10.8 мкм и 3.7 мкм), и извлечение выгоды от немного отличающихся значений отражаемости позволяет обнаруживать туман ночью. Результирующий снимок представляется нам как 'канал тумана'. Этот процесс может применяться только ночью.

Дневной и ночной способы обнаружения тумана будут невозможны, если более высокая облачность закрывает поверхность земли.

Наземные наблюдения тумана следует тщательно контролировать.

7.4 Эмпирические методики прогнозирования

Первая задача – определить, что является причиной образования тумана, и степень покрытия площади. Физические особенности местности, смещение фронтов, адвекция теплых масс воздуха на более холодную поверхность, радиационное охлаждение при ясном небе и слабом ветре – это все те аспекты, которые следует рассматривать. Важно знание местных особенностей. Знание расположения и размера соседних болот или больших объемов воды, включая водохранилища, поможет синоптику написать хороший прогноз для конкретного места. Низко расположенные районы, подверженные кататическому стоку, также могут быть склонны к туманообразованию.

Существует много методик для помощи прогнозисту при определении возникновения и густоты тумана, и наиболее подходящие из них должны использоваться дежурным синоптиком.

Существенной необходимостью является прогноз температуры подстилающей поверхности. Особенности тумана в ситуации радиационного тумана можно определять по методу Сондерса. Креддок и Притчард создали регрессную методику прогноза пятен тумана, и в сочетании с их методом минимальной температуры она используется для оценки вероятности тумана.

Адвекция относительно теплой воздушной массы на более холодную поверхность (моря или суши) должна настораживать синоптика о возможности формирования адвективного тумана, особенно, когда точка росы окружающего воздуха выше температуры поверхности. Такие случаи обычны для морских районов на юго-западе Великобритании в теплом секторе.

7.5 Соответствующие продукты численных методов

Модели численных методов создают поля видимости. Как и все данные моделей, их следует критически оценивать и дополнять применением эмпирических методик и знанием местных особенностей.

8 НИЗКАЯ ОБЛАЧНОСТЬ/ПЛОХАЯ ВИДИМОСТЬ

8.1 Описание

Низкая облачность и плохая видимость могут рассматриваться как потенциальная опасность. Также они очень трудны для определения, поскольку величины будут зависеть от типа воздушного

судна, мастерства и опыта пилота, назначения полета, выполняемого самолетом, и навигационных средств, доступных на маршруте и на аэродромах вылета/назначения/запасных. Хотя точные величины могут отличаться в разных вариантах, наверное, низкую облачность и плохую видимость лучше всего описывать как значения, находящиеся ниже оперативных минимумов самолета или летчика, либо обоих вместе.

Небольшие количества низкой облачности (скажем, 1 или 2 октанта), вообще-то, не представляют опасности. При увеличении количества облачности риск для воздушного судна возрастает. Отметим, что даже небольшой клочок низкой облачности может прикрывать маленькую вершину (более того, гора может способствовать образованию облачности).

Плохая видимость может наблюдаться на небольшой площади (в форме ливней или тумана клочьями), что может быть вызвано многими причинами (дождь, дымка, мгла, дым и проч.). При этом пилот может 'обходить' проблемы. К сожалению, ухудшение видимости может быть и часто случается на очень большой площади, и справиться с этой проблемой намного труднее.

8.2 Воздействие на воздушное судно

Если высота нижней границы облачности и/или видимость понижаются ниже допустимых значений, пилот в ситуации, когда нет достаточного времени для принятия решения, должен видеть препятствия. Это могут быть природные препятствия (гора или просто земля), строения (здание/вышка), или другое воздушное судно. Возможны разные конфликтные ситуации. Пилоты, не имеющие квалификации использования приборов, или летящие на плохо оборудованном самолете, могут дезориентироваться в плохой видимости и/или низкой облачности.

Приподнятые слои тумана вводят летчиков в заблуждение, поскольку сообщаемые значения видимости в горизонтальном направлении оценивают у земли. Летчик, летящий в слое тумана, не воспринимает видимость такой хорошей, как ему сообщают.

Когда пилот летит над слоем приземного тумана, он часто будет видеть дальше, чем сообщаемая видимость на поле аэродрома. В этом случае летчик может испытывать ошибочное чувство безопасности, и при снижении сквозь слой тумана внезапно обнаруживает, что видимость намного ухудшилась.

8.3 Анализ с использованием соответствующих изображений

Низкую облачность, не затемненную более высокими облачными слоями, можно определить при соответствующем сравнении видимых и инфракрасных изображений. Для получения большей информации обращайтесь к разделу 'Туман' этих записок.

Наземные наблюдения видимости и нижней границы облачности являются для синоптика наиболее доступным источником данных.

8.4 Эмпирические методики прогнозирования

Низкая облачность

В отношении прогнозирования низкой облачности, синоптики должны использовать соответствующие данные фактической и прогностической тефиграмм, применяя, где подходит, стандартные конструкции. Прогнозы приземной температуры и скорости ветра у земли являются основой для прогнозирования высоты нижней границы облаков. Высота нижней границы может понижаться до меньших, чем ожидаются, значений в условиях непрерывного умеренного или сильного дождя, или при нисходящих потоках от конвективной облачности, или благодаря орографическому опусканию.

Плохая видимость

Принимая во внимание множество и разнообразие причин ухудшения видимости, синоптик должен осознавать все привходящие факторы и применять наиболее подходящие методики оценки вероятных значений видимости. Методика прогнозирования тумана рассматривается в разделе 'Туман' этих заметок. Следует рассматривать значения видимости в связи с различными интенсивностями дождя или снега.

Если нет ничего, что синоптик должен специально определять, по крайней мере, предупредите пилота об ухудшенных значениях наклонной видимости. Синоптик должен также предупредить о приподнятых слоях тумана, если имеются.

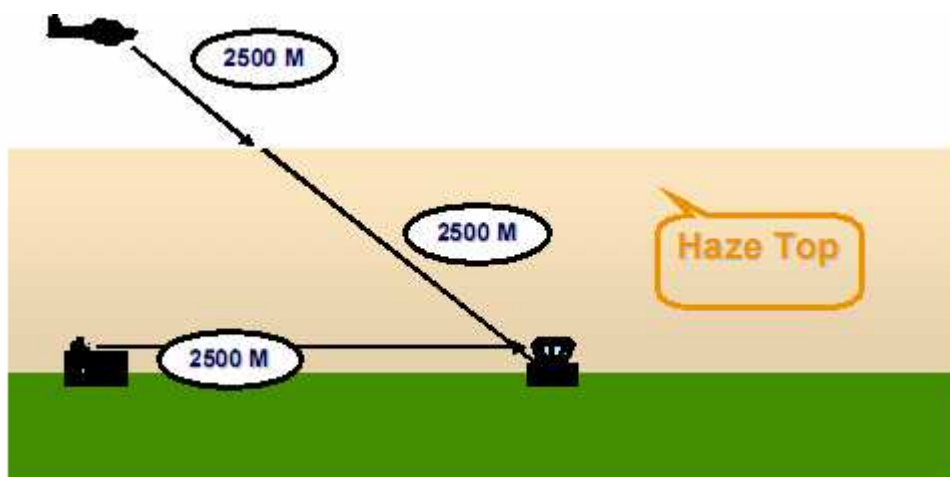


Рис.34 Пример, когда пилот самолета, летящего выше слоя дымки, видит дальше, чем сообщаемая наблюдателем видимость

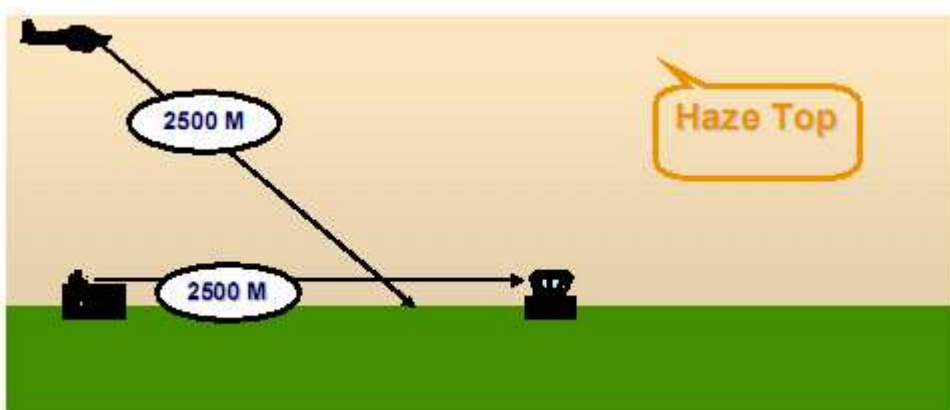


Рис. 35 Пример, когда пилот самолета, летящего внутри слоя дымки, видит хуже, чем сообщаемая видимость, благодаря наклонной видимости.

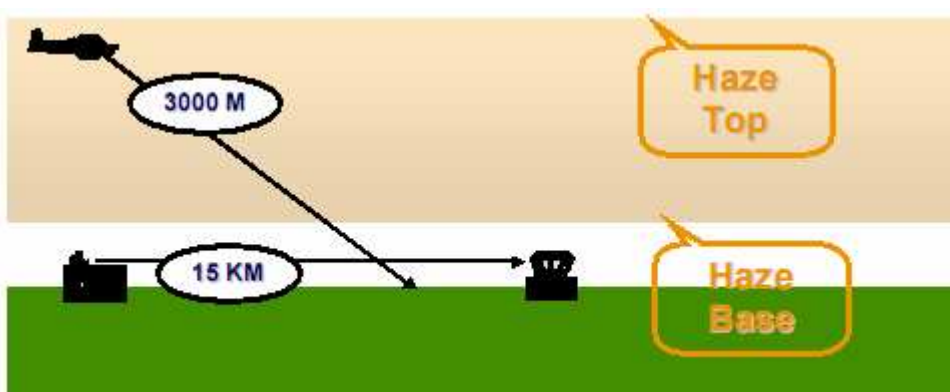


Рис. 36 Пример, когда пилот самолета, летящего внутри приподнятого слоя дымки, видит намного хуже, чем сообщаемая видимость

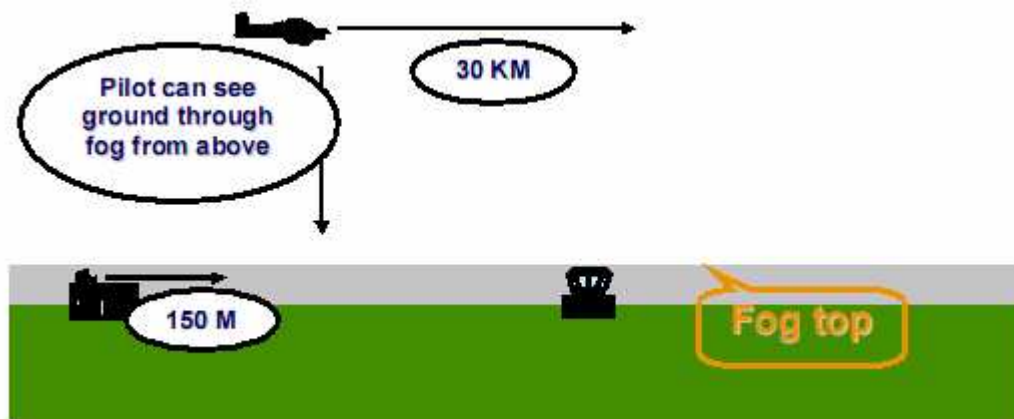


Рис. 37 Пример самолета, летящего над слоем тумана. Пилот с высоты может видеть землю и строения совершенно четко. Однако, при заходе на посадку и приземлении в тумане, пилот будет испытывать быстрое уменьшение видимости до значений тумана.

8.5 Соответствующие продукты численных методов

Как уже обсуждалось в разделе 'Туман', поля видимости можно получать из численных моделей. Как и все данные моделей, их следует критически оценивать и дополнять результатами применения эмпирических методик. Обычно численные модели дают видимость 'воздушной массы', основываясь на содержании аэрозолей. Хотя они принимают во внимание влажность и дальнейшую конденсацию на аэрозолях (ядрах конденсации), они не всегда показывают значения видимости, напрямую относящиеся к интенсивности дождя или снега.

Численный прогноз восходящих движений может дать полезную индикацию инверсии, обозначающей вероятный верх слоя дымки. Для определения, будет ли подниматься (или не подниматься) слой дымки, и будет ли этот слой полностью разрушаться при прорыве конвекции через инверсию, могут применяться стандартные конвективные конструкции.

Модель восходящих движений не дает хорошего результата для диагноза нескольких слоев инверсии на нижнем уровне и возможно отдельных слоев тумана, которые иногда развиваются в длительные периоды высокого давления. Формирование отдельных слоев происходит, когда воздушная масса ниже основной инверсии попеременно нагревается и охлаждается в течение нескольких суток.

9 ПЕСЧАНЫЕ И ПЫЛЬНЫЕ БУРИ

9.1 Описание

Пыльные и песчаные бури - это области поднятых пыли и песка. Пыль и песок поднимаются ветром и заносятся на разные высоты в зависимости от турбулентности, неустойчивости и постоянства потоков, поднимающих частицы.

Размер частиц пыли и песка находится в диапазоне от примерно микрона до нескольких сотен микрон. Понятно, что меньшие и более легкие частицы будут быстрее подниматься на большую высоту и дольше возвращаться назад, а более крупные частицы могут переноситься по воздуху только на короткие расстояния в несколько сотен метров.

9.2 Влияние на воздушное судно

При пыльной или песчаной буре вероятно резкое ухудшение видимости. Иногда фактическая видимость может приближаться к нулю.

Попадание пыли и песка в турбины самолета может вызвать уменьшение их мощности вплоть до полного отказа двигателя.

При проникновении пыли и песка внутрь кабины воздушного судна возможны проблемы с электрооборудованием.

9.3 Анализ с использованием соответствующих изображений

Пыльные и песчаные бури можно наблюдать, используя стандартные снимки видимого и инфракрасного изображения. Как почти всегда, производится сравнение изображений разных длин волн; для лучшего анализа пользуются рядами изображений.

9.4 Эмпирические методики прогнозирования

В соответствии с эмпирическими правилами, 15 узлов считаются достаточными для поднятия пыли. Более сильный ветер будет поднимать более крупные частицы.

Не все пустынные области состоят из 'сыпучих песка и пыли', некоторые районы могут представлять собой совершенно голые скалы. Поэтому к синоптикам выдвигается требование понимать, каков основной источник пыли и песка в регионе, для которого они собираются писать прогноз.

Более трудно оценить уровень, на который могут быть подняты пыль и песок. Хотя известно, что пыль и песок могут подниматься на высоту выше 15 000 фт, более обычными являются значения высоты между 3000 и 6000 футами. Первым приближением вероятной высоты поднятия пыли и песка может быть высота вершины предполагаемого сухоадиабатического градиента.

При рассмотрении смещения шлейфа пыли и песка необходимо учитывать, что на траекторию движения песка и пыли будет влиять ветер внутри шлейфа на более высоких уровнях, а приземный ветер не всегда обеспечивает хорошую индикацию направления, в котором будет перемещаться основная масса пыли и песка.

Предполагая, что ветер ослабел ниже 10 узлов и что турбулентность и неустойчивость уменьшились, можно показать, что однажды поднятая пыль оседает со скоростью 1000 футов за час. То есть, пыль, поднятая на высоту примерно 6000 фт, будет оседать в течение 6 часов. Большие частицы песка будут оседать быстрее.

Выпадение дождя производит на пыль и песок два эффекта:

- обычно после периода дождя поднятие пыли и песка будет подавлено примерно на 24 часа;
- дождь также вымывает пыль и песок из атмосферы.

Хабуб (сильный ветер и песчаная/пыльная буря в Судане)

Вид пыльной/песчаной бури, образованной конвективными нисходящими движениями, известен как хабуб. Проще говоря, растекание у земли воздуха нисходящих движений поднимает пыль и песок. Этот механизм подобен микровзрывам, обсуждаемым в разделе 'Турбулентность' этих заметок. В данном сценарии обычная скорость ветра может быть недостаточной для поднятия пыли или песка, но местное увеличение скорости благодаря нисходящим движениям и связанная с этим неустойчивость обеспечивают механизм пыльной бури.



Рис. 38 Пыль и песок отмечают нисходящий поток

9.5 Соответствующие продукты численных моделей

Численные методы могут помочь синоптику в прогнозировании пыльных и песчаных бурь в подверженных им районах.

В самом простом случае мониторинг прогнозов скорости ветра у земли предупредит синоптика о районах возможного поднятия пыли и песка. Мониторинг данных прогностических тефиграмм позволит дать некоторую оценку вероятной высоты поднятия пыли и песка.

Учитывайте возможное влияние кучево-дождевых облаков на дальнейшее образование нисходящих движений и хабуба.

Рассматривайте влияние прогнозируемого дождя как препятствия для формирования/распространения пыли, но имейте в виду, что дождь, выпадающий согласно

модели из среднего уровня неустойчивости, может не всегда достигать поверхности из-за очень сухого воздуха внизу. Численные модели некоторых стран содержат параметры, позволяющие учитывать перенос пыли. Университет Афин имеет такой продукт, его можно найти в Интернете.

9.6 Краткий учебный случай

Снимки внизу иллюстрируют перенос пыли и песка. Пыль и песок происхождения из Сирии и Ирака переносился на юго-восток сильным ветром 'шамал'. Конечно, комплект изображений дал бы больше информации, но будем надеяться, что основное из этих снимков можно понять.

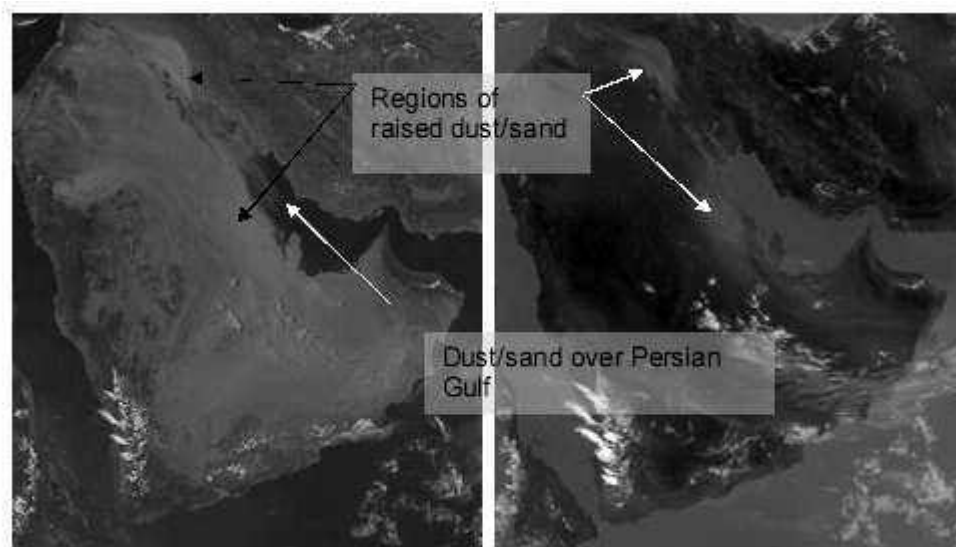


Рис. 39 Видимое (слева) и инфракрасное (справа) изображения за 1200Z 7 августа 2005 г.

10 ШКВАЛЫ/ЛИНИИ ШКВАЛОВ

10.1 Описание

Шквал определяется как внезапное временное усиление ветра, а конкретнее, увеличение средней скорости ветра по крайней мере на 16 узлов до минимум 22 узла и продолжающееся в течение одной минуты, а затем сравнительно резко затихающее.

Шквалы могут быть связаны с фронтом порывистости/микровзрывами от отдельной ячейки кучево-дождевой облачности. Они являются причинами хабубов, описываемых в предыдущем разделе.

Шквалы могут наблюдаться в более организованном виде при прохождении холодного фронта, тогда они называются 'линией шквалов'.

10.2 Влияние на воздушное судно

Обращайтесь к разделу 'Турбулентность' данных заметок, в частности, к главам о микропорывах и струе на низком уровне.

10.3 Анализ с использованием соответствующих изображений

Обращайтесь к разделу 'Турбулентность' данных заметок, в частности, к главам о микропорывах и струе на низком уровне.

10.4 Эмпирические методики прогнозирования

Обращайтесь к разделу 'Турбулентность' данных заметок, в частности, к главам о микропорывах и струе на низком уровне.

10.5 Соответствующие продукты численных методов

Обращайтесь к разделу 'Турбулентность' данных заметок, в частности, к главам о микровзрывах и струе на низком уровне.

10.6 Краткий учебный случай

Обращайтесь к разделу 'Турбулентность' данных заметок, в частности, к главам о микровзрывах и струе на низком уровне.

11 'ГОРЯЧИЕ И ВЫСОКИЕ'

11.1 Описание

Производство полетов уменьшается в условиях высокой температуры и низкой влажности. Такие сценарии являются особенностями аэродромов, которые являются 'горячими' благодаря климатическим условиям (сезонным или иным) и 'высокими' в силу расположения на высоте.

11.2 Воздействие на воздушное судно

Очень просто, - когда температура окружающего воздуха выше, чем Международная Стандартная Атмосфера, функционирование турбин воздушного судна и крыльев затрудняется. А именно, эксплуатационные качества турбин ухудшаются, а подъемная сила крыльев уменьшается.

Когда давление меньше, чем Международная Стандартная Атмосфера, функционирование турбин самолета и крыльев также затрудняется. Тяга и подъемная сила уменьшаются.

Когда оба условия работают одновременно, это может привести к значительным ограничениям выполнения полетов.

Каждое воздушное судно имеет свои критерии в отношении ограничений, которые накладывают на них высокая температура и низкое давление. Прогнозисты должны понимать, что самолету для взлета потребуется более длительный разбег и/или он будет иметь ограничение максимального взлетного веса. Дело командира воздушного судна - установить влияние на самолет и учесть соответствующие допуски. В этих условиях синоптики могут попросить дать точный прогноз температуры и давления.

Типовой сценарий – это слишком высокая температура для взлета и просьба дать прогноз прохлады, такой, как начало морского бриза. Это пример Мельбурна, Австралия.

Другой сценарий – уменьшение плотности, ограничивающее потолок самолета, например, при попытке полета над ущельями Скалистых Гор, США.

11.3 Анализ с использованием соответствующих изображений

Оперативный снимок не подходит для анализа 'горячих и высоких' условий.

Важным инструментом для помощи в прогнозе температуры и давления является мониторинг данных приземных наблюдений, таких, как METAR и SPECI.

Мониторинг аэрологических наблюдений и тефиграмм также важен для понимания вертикального распределения температуры воздушной массы.

11.4 Эмпирические методики прогнозирования

Отсылаем синоптиков к местным эмпирическим методам прогнозирования.

11.5 Соответствующие продукты численных методов

Существует модель прогноза температуры на всех уровнях. Для горных/приподнятых районов ею следует пользоваться с осторожностью, поскольку часто разрешение модели ограничено и шаг сетки по высоте может не точно соответствовать точке/высоте поля аэродрома.

Причина этому двоякая – во-первых, модель может неточно рассчитывать температуру, потому что она (модель) недостаточна для решения задачи влияния увеличения нагрева на таких уровнях, и также потому, что температура фактически прогнозируется для высоты, которая не является высотой аэродрома.

Пусть синоптик учел все эти факторы, и в случае, если их влияние минимально, параметр, которым пилот будет больше всего интересоваться, - это высота полета в атмосфере высокой плотности.

ССЫЛКИ

Bader M.J. , G.S.Forbes, J.R.Grant, R.B.E.Lilley, A.J.Waters. 1995:
Images in Weather Forecasting. Cambridge University Press, New York, 499 pp.
(Бадер и др., Снимки в прогнозировании погоды)

Pearson G.M & Stogaitis S. 1988: Satellite imagery interpretation in synoptic and mesoscale meteorology. Environment Canada
(Пирсон и Стогатис., Интерпретация спутниковых изображений в синоптической и мезомасштабной метеорологии)

Membery D.A. Low level wind profiles during the Gulf Shamal. Weather, 38; 18-24, 1983
(Мембери., Профили ветра на низких уровнях во время ветра шамала в Персидском заливе)