



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

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **«Мобильный радиолокационный комплекс»**

Исполнитель **Шейнов Ростислав Андреевич**
(фамилия, имя, отчество)

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

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

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

Восканян Карина Левановна
(фамилия, имя, отчество)

«25» мая 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Содержание

	Введение	3
1	Метеорологические локаторы	5
1.1	Задачи и технические особенности радиолокационных систем	5
1.2	ДМРЛ-С	7
1.3	Мобильные локаторы	9
1.4	ДМРЛ-С Войеково	14
2	Опасные для авиации явления	17
2.1	Сдвиг ветра	19
2.2	Турбулентность	19
3	Верификация радиолокационной информации	25
3.1	Верификация	25
3.2	Данные бортовой погоды как рабочий эталон	25
4	Верификация радиолокационной информации от ДМРЛ-С по данным бортовой погоды	33
5	Валидация и верификация	54
5.1	Методика валидации и верификации	54
5.2	Валидация динамических величин: сдвиг ветра и турбулентность	58
	Заключение	67
	Список используемых источников	70

Введение

Локаторы типа ДМРЛ-С являются наиболее часто используемыми устройствами для проведения радиометеорологических исследований на сети Росгидромета. Для выполнения более узконаправленных задач используются малогабаритные локаторы (50-100км) X диапазона с возможным включением обнаружения динамических характеристик, канала Ka диапазона. Чтобы использовать данные о турбулентности и сдвиге ветра, нужно проработать методику и найти для них эталон для дальнейшего использования на практике.

Цель исследования:

Оценка работоспособности использования данных бортовой погоды для использования в качестве эталона по отношению к локатору ДМРЛ-С (Войеково) для апробации вторичных динамических продуктов.

Задачи исследования:

- сформировать базу данных бортовой погоды за 2023 год зоны ULLL (зона полета Санкт-Петербургского центра);
- сформировать базу данных бортовой погоды за 2023 год зоны ULLLи убрать из нее данные, выходящие за зону обнаружения локатора Войеково;
- расшифровать полученную базу данных, представленную в закодированном виде, за 2023 год зоны ULLL в зоне обнаружения локатора;
- сформировать базу данных локатора Войеково;
- провести совместный анализ данных локатора Войеково и данных бортовой погоды: совпадение или не совпадение случая;

- провести совместный анализ данных локатора Войеково и данных бортовой погоды в случае рассмотрения сдвига ветра: рассчитать оправдываемость и достоверность;
- провести совместный анализ данных локатора Войеково и данных бортовой погоды в случае рассмотрения годичной изменчивости турбулентности: рассчитать оправдываемость и достоверность;
- провести совместный анализ данных локатора Войеково и данных бортовой погоды в случае рассмотрения турбулентности по сезонам: рассчитать оправдываемость и достоверность;
- привести окончательные выводы относительно работоспособности бортовой погоды в качестве эталона и как решить возможные проблемы.

1. Метеорологические локации

1.1 Задачи и технические особенности радиолокационных систем

В целом радиометеолокаторы – технически богатое устройство, обладающее немалым набором способов принятия и визуализации специализированной информации о близлежащей атмосфере.

Излучая электромагнитную энергию и принимая отражения, создаваемые различными гидрометеорами и частицами, он способен определять ряд параметров: дальность, азимут и угол места. Первая определяется за счет фиксирования времени задержки принятого импульса относительно излученного и дальности до объекта.

Остальные параметры рассчитываются с помощью угловых координат антенного луча на момент приема отраженного сигнала. Так как объекты, за которыми ведется наблюдение – это трехмернорасположенные цели, то вся область обзора разбивается на компоненты разрешения – определенные зоны в пространстве с угловыми размерами луча антенны и продольным размером, приблизительно равным пространственной протяженности излучаемого импульса.

Привычным режимом работы метеорологического радиолокатора является поэтапное фиксирование пространства по азимуту с пошаговым изменением угла места после полного оборота. В результате каждый элемент разрешения находится в зоне действия антенны определенный промежуток времени, в течение которого приемник локации получает сумму импульсов. Что можно получить и что в себе несет эта сумма определяется типом радиолокатора.

Чаще всего выделяют три типа:

- 1) В некогерентном сумма импульсов – это всего лишь ее пределы. По ней можно определить только мощность. Ее величина зависит как от характеристик цели обнаружения, так и от возможностей

радиолокатора (мощности излучения, коэффициента усиления антенны, коэффициента шума приемника). Поэтому мощность чаще всего пересчитывают в связанную с ней величину, радиолокационную отражаемость. По мере ее распределения в пространстве можно рассуждать о различных метеорологических явлениях (гроза, град и т.д.) и их интенсивности (легкий-сильный дождь);

- 2) В когерентном радиолокаторы могут фиксировать фазовые изменения сигнала, то есть фиксирование одного и того же объекта в пространстве при его движении. Таким образом, к мощности добавляются спектральные параметры: средняя скорость изменения фазы, определяемая средней скоростью частиц в направлении на радиолокатор; среднеквадратическое отклонение этой скорости (или ширина спектра), характеризующее степень упорядоченности движения частиц в наблюдаемом элементе разрешения. Это позволяет фиксировать ветер в разном пространственно-высотном распределении, предполагать зоны сдвигов и турбулентности и т.д.
- 3) Поляриметрический тип является компиляцией двух других каналов, совмещенных на одной антенне. Предполагается, что один канал измеряет горизонтальную составляющую, а второй вертикальную. Исходя из этого, к предыдущим, полученным и расчетным величинам, добавляется оценка мощности и коэффициента взаимной корреляции (модуль и фазу этого коэффициента). По оценкам мощности находят дифференциальную отражаемость объекта, равную отношению мощности горизонтально поляризованной волны к мощности вертикально поляризованной. Таким образом, находят так называемые поляризационные величины, позволяющие исследовать разные вопросы: дистанционное определение агрегатного состояния, водность объекта и т.д. [1]

1.2 ДМРЛ-С

Фиксация явлений локатором идет посредством доплеровского метода радиолокационных наблюдений (эффект Доплера – ЭД).

ЭД можно выделить, как «Изменение частоты колебаний или длины волн, воспринимаемых наблюдателем (приемником колебаний), вследствие движения источника волн или наблюдателя относительно друг друга».

Принципиальным условием возникновения ЭД является наличие источника воздействия, приемника, и изменение сигнала (запаздывания). Для исследования ЭД можно выбрать любую из характеристик, связанных с колебаниями (период, частота, и т.д.).

Величиной ЭД принимается отношение принятого к выпущенному сигналу относительно любой из колебательных характеристик[2].

Данные от локатора приходят кусками сечений, после которых они объединяются и поступают раз в 10 минут в 2 вариантах: «отражаемость» и «скорость». Первому режиму соответствует расширение объемного файла «lnr», второму – «lnv». Радиолокационные наблюдения с высокой частотой повторения зондирующих импульсов (PRF) обеспечивают высокое качество доплеровских р/л продуктов (радиальной скорости V , ширины спектра W) ценой сокращения интервала однозначного определения р/л дальности источников радиоэха. По этой причине радиус зоны р/л обзора в режиме «Отражаемость» - 250 км, а в режиме «Скорость» - 125 км.[3]

При каждой фиксации сечений радиолокатор последовательно проводит азимутальные круговые сканирования атмосферы под несколькими углами места антенны. Таким образом, в каждом обзоре р/л информация об облачности и осадках собирается на нескольких конических сечениях в объемном файле первичных данных. Каждому элементу р/л данных в объемном файле соответствуют координаты: дальность, азимут и угол места. Дальнейшая визуализация позволяет построить по набору первичных

радиолокационных данных трехмерную модель облачной атмосферы в зоне радиолокационного обзора: до 250 км по дальности от ДМРЛ и до 20 км по высоте от поверхности Земли. При увеличении числа сканирований по углу места (то есть чем больше будет конических сечений, см. рис.1.1), тем подробнее (и точнее) будет построенная модель, но при этом может быть затрачено дополнительное время, то есть наблюдения будут проводиться более чем за 10 минут [4].

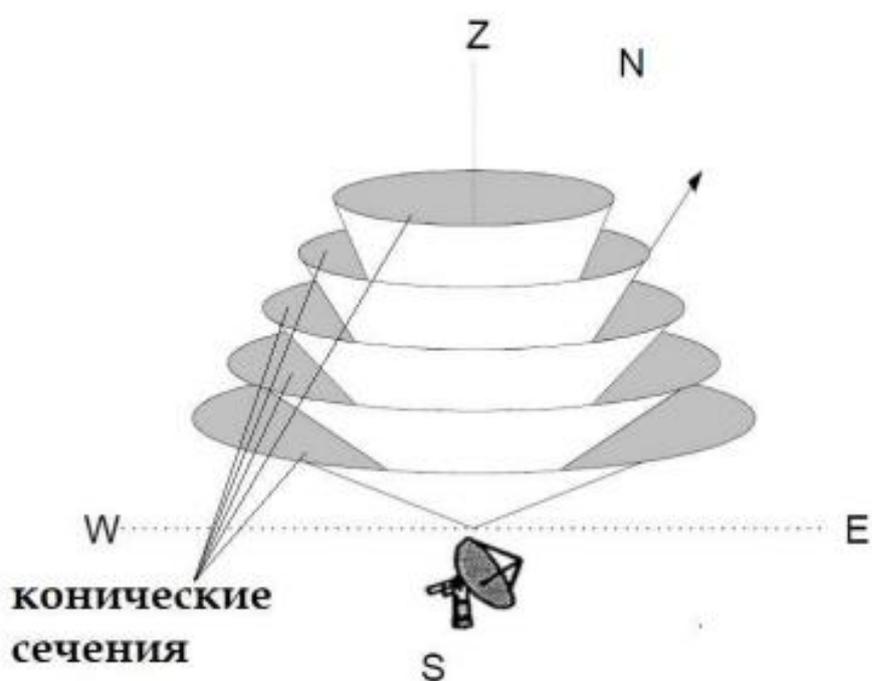


Рисунок 1.1 – Примерный вид конических сечений ДМРЛ-С

1.3 Мобильные локаторы

Если посмотреть на карту сети ДМРЛ-С (рис. 1.2), можно заметить, что наибольшее покрытие обзорами радиолокаторов расположено только в Европейской территории России. Однако подобное восприятие ошибочно ввиду кривизны земной поверхности. По мере увеличения дальности обнаружения антенный луч начинает располагаться все выше и выше над землей. Получается так, что уже на дальности 100 км диаграммы направленности антенны имеет погрешность более 1 км (у ДМРЛ-С приблизительно 1,4 км), а при максимальном радиусе обнаружения 250 км более 3,5 км.

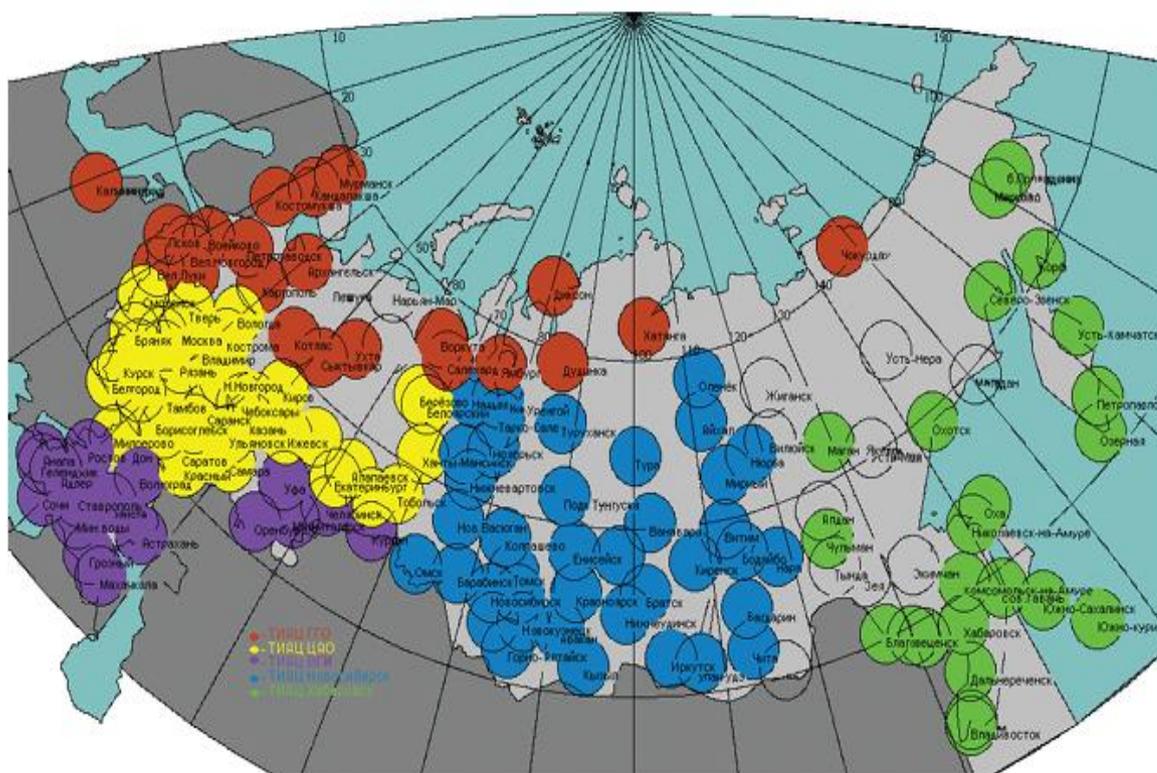


Рисунок 1.2 – Будущее размещение доплеровских МРЛ сети Росгидромета, где каждый цвет - одно из пяти территориальных информационно-аналитических центров (ТИАЦ)

Таким образом, 100 км – предельное расстояние, с помощью которого можно отследить мелкомасштабные процессы, происходящие в районе нулевой изотермы, а на краю области лишь значительные атмосферные явления.

Скорректировать получившуюся ситуацию можно некоторыми способами:

- увеличить количество ДМРЛ-С, что значительно увеличивает затраты на создание сети (при том что примерная рыночная стоимость локатора колеблется от 150 до 250 млн рублей);

- дополнением мест, расположенных между радиолокаторами ДМРЛ-С, малогабаритными радиолокаторами с меньшей дальностью работы, более широким антенным лучом, но гораздо менее дорогими.

Анализ данной ситуации привел к тому, что все ведущие в рассматриваемой нами области фирмы начали проведение изыскательных работ по внедрению своей продукции, которые имеют широкий спектр применения:

- метеорологическое обеспечение малых аэродромов, на которых установка дорогого оборудования нецелесообразна по ряду причин;

- метеорологическое обеспечение морских судов, в случае Северно-Ледовитого океана это сыграло бы в улучшении прогнозирования погоды в данном регионе ввиду нехватки информации;

- обеспечение ряда изысканий в местах, необорудованных метеорологическими радиолокаторами.

На текущий момент отечественное производство представлено двумя изделиями:

- 1) Радиолокатором «Контур МЕТЕО-01» (рис. 1.3) разработки ООО «Контур НИИРС» (г. Санкт-Петербург). Его главное достоинство – малогабаритность, но с этим же и связан его недостаток, он работает только в некогерентном формате.



Рисунок 1.3 – Радиолокатор «Контур МЕТЕО-01» в двух типах
а) без радиопрозрачного укрытия; б) в готовности к транспортировке

2) Радиолокатором «Зодиак» (рис. 1.4) разработки ОАО «Завод «Энергия» совместно с Военно-космической академией имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург).

В отличие от Контура он имеет когерентность, более узкий антенным лучом и большим метеорологический потенциалом, но при этом сильно проседает в транспортабельности.

Далее будет приведен локатор узконаправленного образца.



Рисунок 1.4 – Радиолокатора «Зодиак» [5]



Рисунок 1.5 – МРЛ-КА с ведущим специалистом ЦКБА г. Тулы Дмитрием Анатольевичем Рыбаком

На сегодняшний день это единственный в России метеородиолокатор (МРЛ) КА-диапазона(рис. 1.5) длин волн, который позволяет с высокой точностью регистрировать опасные погодные явления для обеспечения безопасности полетов воздушных судов.В метеородиолокации такой диапазон длин волн практически не используется.

Работая в районе аэродрома, локатор безошибочно регистрирует изменение атмосферных условий, причем не только осадки и грозовые явления, которые вполне успешно отслеживает и оборудование Росгидромета, но и такие наименее предсказуемые, как сдвиг ветра, шквал и зону турбулентности.

1.4 ДМРЛ-С Войеково

Радиометеорологическая станция Войеково находится в одноименном населенном пункте Войеково. Она расположена приблизительно в 15 километрах от города Санкт-Петербург, в 20 километрах от Ладожского озера и в 31 километре от аэропорта “Пулково” (рис. 1.6).

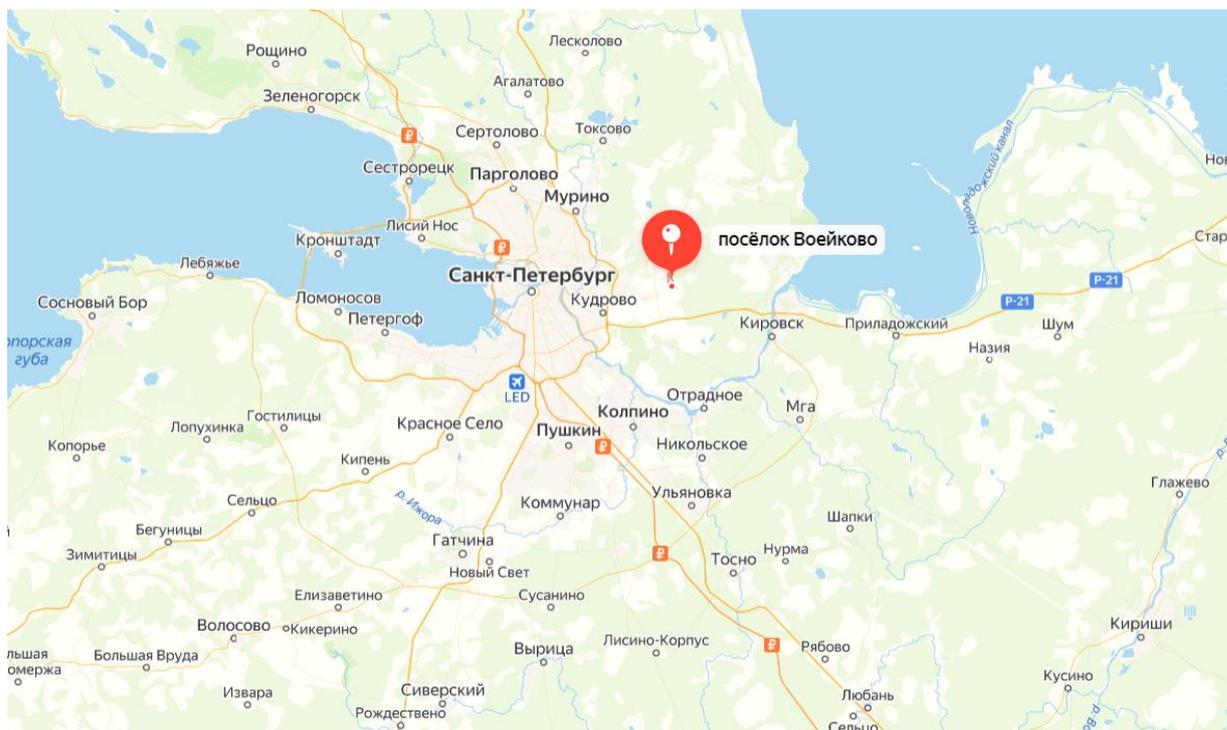


Рисунок 1.6– Местоположение радиометеорологической станции Войеково

Высота установки локатора относительно уровня моря равняется 71 метру (рис. 1.7), данное решение было связано с минимизацией влияния окружающей местности (сильные перепады высот и густая и высокая растительность).

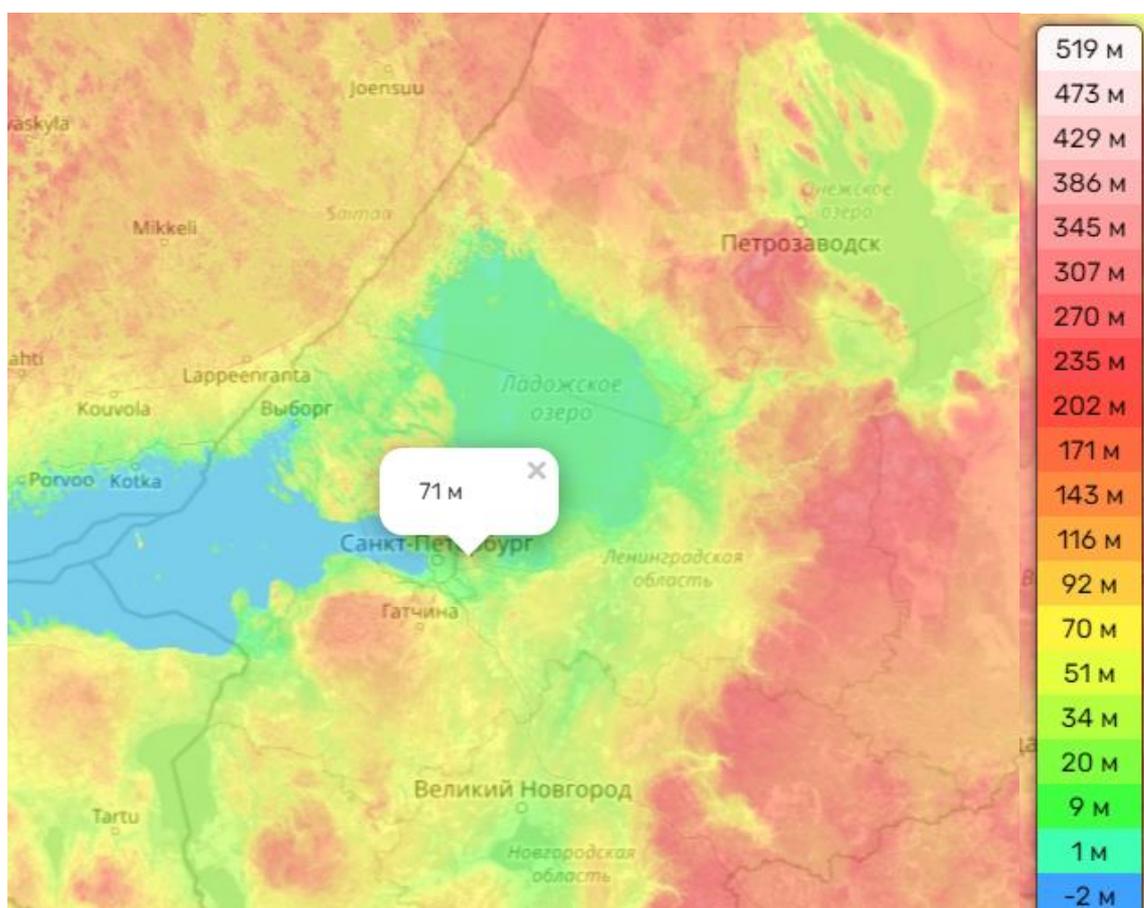


Рисунок 1.7 – Местоположение радиометеорологической станции Войеково на топографической карте

Исходя из особенностей места установки (рис. 1.6-1.7) можно понять, что большую роль в образовании динамических явлений (турбулентности и сдвига ветра), рассматриваемых в работе, будут играть крупные водные объекты (Финский залив и Ладожское озеро) и мегаполис Санкт-Петербург с мелкими поселениями и городами.

На рисунке 1.8 можно наблюдать локатор Войеково.



Рисунок 1.7– Локатор ДМРЛ-С Войеково

2. Опасные для авиации явления

Безопасность полетов воздушных судов гражданской авиации представляет собой систему, при которой рисквозникновения происшествия снижены до удовлетворительных значений и при этом контроль за ними поддерживается в течении долгого периода времени.

При решении вопросов безопасности полетов необходимо включать в снижение рисков следующие вещи: стремительный рост объемов перевозок, массовое обновление парка воздушных судов и смену поколения авиационных специалистов.

Общепризнанным является тот факт, что большинство происшествий обусловлено ошибками человека, являющегося последним звеном в цепочке факторов, которые приводят к происшествию.

МАК (международный авиационный комитет) пришел к выводу, что наиболее эффективным способом повышения безопасности полетов является внедрение системного подхода к управлению безопасностью полетов. Одним из подобных исследований является трек, связанный с опасными явлениями (ОЯ). Прогнозы ОЯ должны иметь приемлемую точность и немалую заблаговременность.

2.1 Сдвиг ветра

Под сдвигом ветра чаще всего понимают аккумулярованное и направленное движение воздушных масс, имеющих разные характеристики по сравнению друг с другом и способных оказывать значительное влияние на воздушное судно.

Диапазон силы меняется от небольших завихрений и порывов до крупного замещения одной воздушной массы другой.

По классификации ИКАО сдвиг ветра является опасным природным явлением для гражданской авиации. Оно может быть отмечено на разных

высотах, но общеизвестным фактом является то, что наибольшую опасность для полета оно представляет в приземном слое, то есть не более 600 метров.

В математическом понимании сдвиг ветра - изменение вектора ветра от одной точки пространства до другой, что также является по сути векторной разностью, которая по всем правилам тоже вектор.

При перемещении самолета, компоненты (рис. 2.1) суммарного вектора скорости и его сдвига, следует рассматривать как поперечную, продольную и вертикальную составляющую ветра (сдвига ветра) относительно объекта.

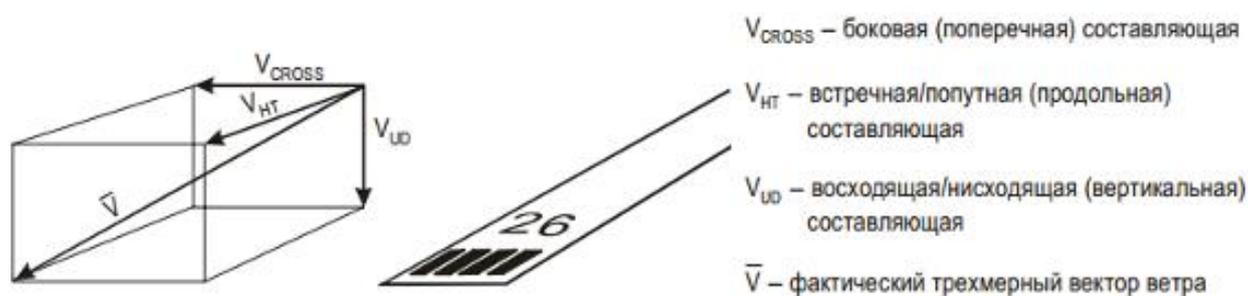


Рисунок 2.1 – Составляющие ветра

ДМРЛ-С способен измерить значения скорости ветра в соседних дискретах дальности, далее согласно используемому в ПО алгоритму [6] происходит вычисление величины сдвига ветра, дальнейшая интерпретация по величине разрешения и ее визуализация относительно рекомендованных ИКАО табличных значений (табл. 2.1).

Типология сдвигов ветра по ИКАО

Вертикальный сдвиг ветра на единицу измерения 30 м или горизонтальный сдвиг ветра на единицу измерения 600 м, м/с	Вертикальный сдвиг ветра на единицу измерения 100 м, м/с	Характеристика сдвига ветра
0 – 2	0 - 6,5	Слабый
2 – 4	6,5 – 13	Умеренный
4 – 6	13 – 20	Сильный
> 6	> 20	Очень сильный (опасный)

Важным уточнением будет, что с учетом ширины луча антенны слой усреднения для сдвига ветра может составлять от нескольких десятков метров в ближней зоне до 2 км на 100 километрах.

Интенсивность сдвига - отношение модуля разности между векторами в двух точках к расстоянию между ними.

В зависимости от взаимного местоположения двух точек в пространстве различают вертикальный и горизонтальный сдвиг ветра.

2.2 Турбулентность

Не менее важным источником опасности на протяжении полета самолета является турбулентность.

Атмосферная турбулентность является следствием образования в атмосфере вихрей различных масштабов (от долей миллиметра и более), наиболее значительна в пограничном слое атмосферы и в областях струйных течений.

Чаще всего турбулентность делится на механическую, термическую, (турбулентность, связанную с кучево-дождевой облачностью), фронтальную (в зоне атмосферных фронтов), турбулентность ясного неба и орографическую.

В ПО ДМРЛ-С турбулентность (табл.2.2) характеризуется скоростью диссипации турбулентной энергии, рассчитываемой на основе измерений Z и ширины спектра W . ДМРЛ-С может выявлять турбулентность только в облачном слое. Поэтому постараемся рассмотреть случаи возникновения турбулентности при наличии облаков.

Таблица 2.2

Классификация турбулентности

$\Xi, \text{см}^2/\text{с}^3$	Характеристика турбулентности
0÷10	Слабая
10÷100	Умеренная
100÷400	Сильная
>400	Очень сильная (опасная)

Турбулентность термического вида (рис. 2.2) является следствием развития неупорядоченных конвективных движений при неустойчивой термической стратификации атмосферы. [7]

Развитие термической турбулентности вероятно при значительной кучевообразной облачностью с мощностью до 1 км и высокими показаниями влажности, поэтому часто под ее основанием наблюдается болтанка от умеренной до сильной. При большем покрытии небосвода интенсивность термической турбулентности и вероятность болтанки уменьшается (слоистые облака препятствуют развитию турбулентности; перистых облаках при сильной неустойчивости способствуют образованию турбулентности). При полностью закрытом небе турбулентность не происходит.

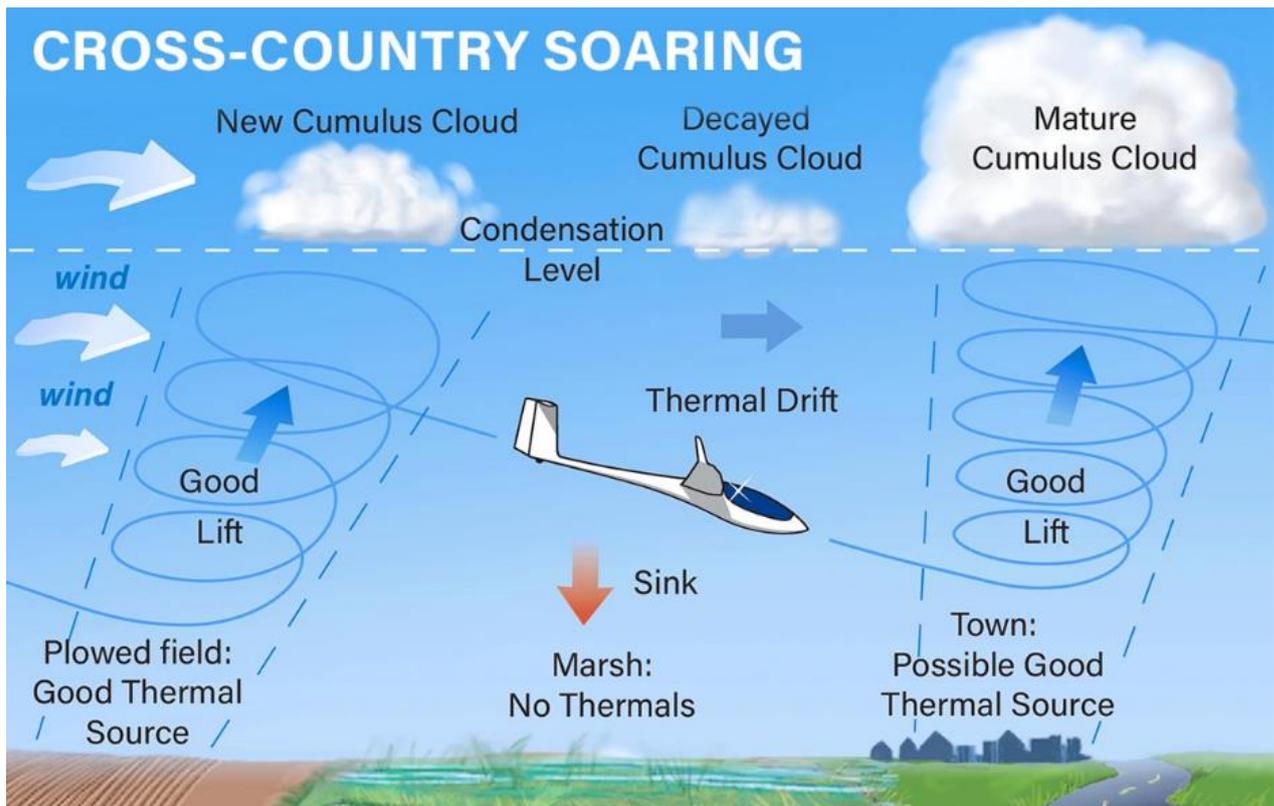


Рисунок 2.2 – Взаимодействие между землей и атмосферой

decayed cumulus clouds - слабые кучевые облака; good lift – хороший подъем; condensation level – уровень конденсации; new cumulus clouds – молодые кучевые облака; mature cumulus clouds – насыщенные влагой кучевые облака; wind – ветер; sink – понижение; thermal drift – тепловой поток; marsh: no thermals – болото: без термики; plowed field: good thermal source – вспаханное поле, хороший источник термики; town: possible good thermal source – город, вероятно хороший источник термики; cross-country soaring – маршрутный перелет

Образование турбулентности возможно не только в кучевке, но и на линии шквалов в передней части, а также при значительных конвективных движениях вблизи Сб. В зависимости от силы ветра восходящие потоки зарождаются в нижнем 500-метровом слое атмосферы за от 5-10 км до 20-40 км.

Максимально опасные для авиации случаи турбулентности происходят на границах потоков. Интенсивность вертикальных движений возрастает в нижних двух третях облака, а выше она убывает, приближаясь к нулю у верхней кромки облака (рис. 2.3). Чаще всего турбулентность усиливается до линии наковальни, далее или остается прежней или ослабевает. На границе внешней стороны наковальни явление никогда не бывает более умеренного, а в верхней части достигает сильной. Наиболее бурно развивающаяся турбулентность располагается рядом с Сб *calvus* (кучево-дождевые лысые, рис. 2.4) и внутри них. Также болтанка сохраняется в облаках, прекративших свой рост.

Средняя толщина турбулентной зоны над такими облаками составляет 500 м, но сильная болтанка может наблюдаться в слое 50-100 м над ними. В постепенно распадающихся кучево-дождевых с наковальной турбулентность ослабевает, а высотное распределение турбулизированного слоя над ними не превышает 100-200 м и ее интенсивность более умеренной.

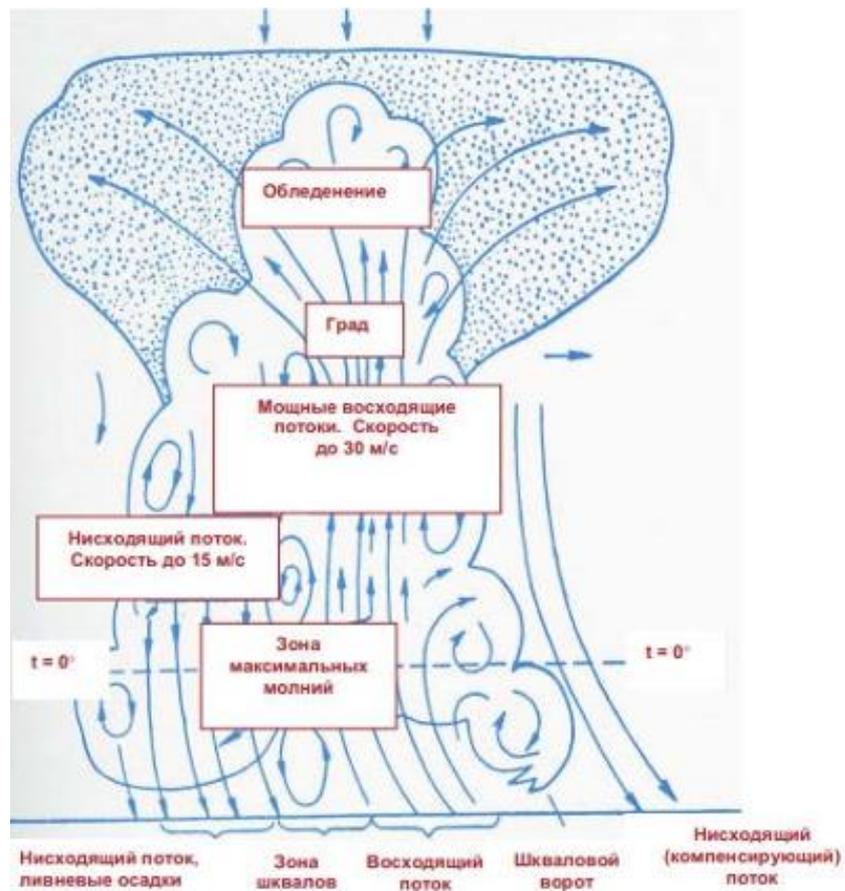


Рисунок 2.3 –Кучево-дождевое облако в стадии максимального развития



Рисунок 2.4 – Cb calvus (кучево-дождевые лысые)[8]

Турбулентные участки вокруг верхних частей кучево-дождевых и над ними неравномерны. Частота появлений и максимумы порывов имеют наибольшие значения перед наиболее удлиненной частью наковальни. Расстояние зоны повышенной турбулентности в слое 200-300 м над Сб и перед ним в 2-3 раза больше, чем за его тыловой частью и рядом с флангами. Сильная турбулентность наблюдается и на расстоянии 30-40 км от изолированных Сб вниз по потоку.

3 Верификация радиолокационной информации

3.1 Верификация

Простыми словами верификация – это проверка и подтверждение информации.

Целями верификации являются:

- 1) достижение значительных результатов, подтверждающих значимость, что объект соответствует требованиям, выдвинутыми потребителем;
- 2) удовлетворение стандартов, закрепленных законами государства.

Таким образом, даже если сперва что-то кажется ложью, то после проведения верификации это становится истиной.

3.2 Данные бортовой погоды как рабочий эталон

На протяжении всего полета с борта воздушных судов регистрируются опасные явления и обычная погода. Подобные данные передаются диспетчерам и далее от них сообщаются персоналу АМЦ/АМСГ, который в свою очередь заполняет специальный бланк "Бортовая погода" (рис. 3.1).



ЖУРНАЛ БОРТОВОЙ ПОГОДЫ

ГЛАВНАЯ АРХИВ БАМД ПОМОЩЬ НАСТРОЙКИ

Войти в личный кабинет

Логин

Пароль

Кем внесено	Дата получения	Время получения UTC	Идентификатор ВС	Наблюдаемое явление (AIREP)	Наблюдаемое явление (дополнительно)	Время наблюдения явления с борта ВС UTC
<input type="button" value="Добавить"/>						
UUYS	25.05	05:55	M18 24117		ВИД 6-7 КМ, ЛОКАЛЬНО 2-3 КМ, НГО 200М СЛ, СЗ/25КМЧ, СЛАБ БОЛТАНКА	05:55
	БПРС01 АРУС 250559 WX UUY5 250555 M18 24117 ВИД 6-7 КМ, ЛОКАЛЬНО 2-3 КМ, НГО 200М С					
ULWW	25.05	04:05	-		Бортовая погода не поступала	04:05
	БПРС01 АРВО 250405 WX ULWW 250405 - Бортовая погода не поступала OBS AT 0405Z УЛВВ=					
ULLI Батурина Батурина	25.05	02:54	B738	MOD TURB		02:53
	БПРС17 ЛГАЦ 250256 WX ULLI 250254 B738 MOD TURB OBS AT 0253Z N5959E03731 FL380=					
	UARS61 RUSP 250256 ARS B738 MOD TURB OBS AT 0253Z N5959E03731 FL380=					

Местоположение (координаты)	Местоположение (дополнительно)	Эшелон полета	Выпуск AIREP
	FIR UUY5 AREA 4	0300M	?
СЛ, СЗ/25КМЧ, СЛАБ БОЛТАНКА OBS AT 0555Z FIR UUY5 AREA 4 0300M=			
	УЛВВ		?
N5959E03731		FL380	✓

Рисунок 3.1 – Журнал бортовой погоды

Регулярные и специальные наблюдения, которые ведут экипажи ВС, выполняющих международные полеты, регистрируются по форме AIREP (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Пример записи журнала бортовой погоды для явлений обледенения

3202	ULLI Якубич	30.12.2023	17:37:00	БПРС17 ЛГАЦ 301737
WX ULLI 301737 B737 MOD ICE OBS AT 1733Z N5930E03039 FL130/FL150=				
3200	ULLI Шевелева	30.12.2023	05:00:00	БПРС17 ЛГАЦ 300501
WX ULLI 300500 B737 MOD ICE OBS AT 0500Z N5948E03010 SFC/FL100=				

Первый столбец в таблице 3.1 обозначает номер сообщения в архиве за 2023 год, в котором было порядка 5266 записей. Второй столбец зону полета (ULLI–зона полетов Санкт-Петербурга) и фамилию специалиста АМЦ/АМСГ, выпустившее сообщение. Третий и четвертый – дату и время во всемирноскоординированном времени (UTC). Пятый – код для поиска сообщений в системе ЦКС (центр коммутации сообщений). Шестой – само сообщение о погоде или об опасном явлении. Ниже приведен пример сообщения и его расшифровка (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Пример сообщения и его расшифровка

WX ULLI 310355 A319 MOD ICE OBS AT 0350Z N5947E02946 FL010/FL030=
Санкт-Петербургский центр полетной информации передал сообщение в 03:55 UTC, о том, что судном Airbus типа 319 31 числа (в данном случае декабря) в точке 59 градусов 47 минут северной широты и 29 градусов 46 минут восточной долготы между эшелонами (Fl-flyinglevel – эшелон полета) 10 и 30 (то есть между 300-900 метрами) наблюдалось умеренное обледенение.

К сожалению, на данный момент на малогабаритных локаторах и локаторах типа ДМРЛ-С не представляется возможным обнаружение обледенения на разных уровнях полета, то есть лишь от суден мы можем получить информацию об этом явлении. Подобный недочет гипотетически решаем внедрением в дополнение к локатору, установленному на поворотное устройство, пирометра или лидара, определяющего дистанционным методом температуру. Подобная модификация позволит строить сечения (профили) температуры по пространству и времени, а в совокупности с пространственновысотными профилями скорости и направления ветра можно будет определить зоны расположения обледенения с градациями в соответствии с требованиями ИКАО.

В архиве преобладают данные с нижеперечисленных самолетов (рис. 3.2-3.3).

Исходя из рисунков 3.2-3.3, можно подойти к тому, что в выборке преобладают в основном крупногабаритные самолеты, за небольшим исключением (см. рис.3.3 (Д), 3.4(Д, Е)). Данную особенность необходимо учитывать при верификации и валидации данных с ДМРЛ-С по турбулентности, так как это влияет на общую достоверность данных.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.3 – Самолеты, с которых преобладают данные в архиве

а) E190 (Embraer E-Jet 190), б) A319 (Airbus 319), в) A321 (Airbus 321), г) A330 (Airbus 330),
д) Falcon, е) SJ (Sukhoi Superjet 100)



а)



б)



в)



г)



д)



е)

Рисунок 3.4 – Самолеты, с которых преобладают данные в архиве
а) B737 (Boing 737), б) B777 (Boing 777), в) ИЛ-76, г) СУ-95,
д) SRJ-200 (SuperJet-200), е) Cesna

При рассмотрении выборки, связанной с турбулентностью, мы сталкиваемся с рядом проблем:

- 1) Турбулентность на ВС определяется по ощущениям, по мере того, как распределяются предметы на борту или по степени тряски;
- 2) На борту должен быть установлен акселерометр (рис. 3.4), который позволит фиксировать нагрузки и координаты летательного аппарата в пространстве.

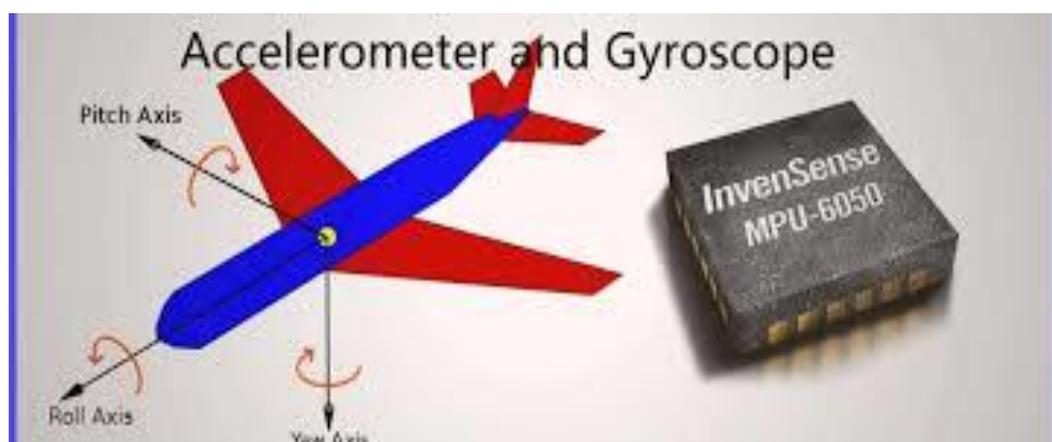


Рисунок 3.4 – Принцип совместной работы акселерометра с гироскопом; pitchaxis–ось тангажа или поперечная ось; rollaxis–ось крена или продольная ось; yawaxis–ось рыскания или вертикальная ось

Но так как в современном авиаприборостроении акселерометр это незаменимая часть летательного аппарата, то итоговое определение и фиксация явлений будут завязаны на человеческом факторе.

Соответственно, немаловажную роль в составлении подобного журнала будет начальное и конечное звено. От пилота зависит первичное определение опасного явления, а от специалиста АМСГ/АМЦ уже подтверждение и выпуск специализированного сообщения.

В итоге мы получаем, что сдвиг ветра не имеет явных технических проблем для подтверждения и сравнения в отличие от турбулентности, так как на воздушных судах установлены бортовые метеолокаторы (рис. 3.5).



а)

б)

Рисунок 3.5 – Вид визуализации данных с бортового радиолокатора
а) схематичный; б) реальный

При турбулентности есть ряд явных проблем:

- 1) Только косвенные измерения, а если быть еще точнее, то вычисления. Акселерометр по определенному методу покажет степень нагрузки на летательный аппарат, а через дальнейший пересчет можно будет определить степень турбулентности, то есть увеличится математическая ошибка;
- 2) При отсутствии технической оснащённости усиляется влияние человеческого фактора;
- 3) Не все бортовые метеолокаторы фиксируют динамические характеристики, то есть и турбулентность.

Таким образом, достоверность сдвига ветра будет приблизительно равна 100%, а вот в случае рассмотрении турбулентности требуется дополнительная проработка или внесение какой-то постоянной поправки для корректировки полученных значений, чтобы мы могли с большей уверенностью использовать получаемые данные из журнала “Бортовая погода”.

4 Верификация радиолокационной информации от ДМРЛ-С по данным бортовой погоды

Первым этапом сравнения будет избавление от данных бортовой погоды, полученных за радиусом обнаружения локатора.

Пример работы с архивом журнала бортовой погоды показан на рисунке 4.1.

АРХИВ ЖУРНАЛА БОРТОВОЙ ПОГОДЫ Экспорт в Excel Сохранить в PDF

Период с по

Только записи с выпущенными AIREP

Не брать AIREP из БАМД

Только выбранные аэропорты

№	Кем внесено	Дата	Время	Заголовок сообщения
25.05.2024				
770	ULOO Лукьянчук	25.05.2024	07:36:00	БПРС17 ЛГПС 250737
769	UUYS	25.05.2024	07:30:00	БПРС01 АРУС 250735
768	ULLI Бажанова Бажанова	25.05.2024	07:32:00	БПРС17 ЛГАЦ 250734
			→	UARS61 RU SP 250734
767	UUYS	25.05.2024	05:55:00	БПРС01 АРУС 250559

Текст сообщения

WX ULOO 250736 SU95 120/04KT PS17 SIGWX NIL OBS AT 0736Z N5746E02823 Зона аэродрома 0600M=

WX UUY5 250730 M18 24244 ВИД 5-6 КМ , В ОСАДКАХ 2000М, СПЛ НГО 300М, 300/30-01, СЛАБ ТУРБ , СЛАБ БОЛТАНКА, ОЯ НЕТ OBS AT 0730Z FIR UUY5 AREA 3 0300M=

WX ULLI 250732 B737 MOD TURB OBS AT 0732Z N6550E06247 FL400=

ARS B737 MOD TURB OBS AT 0732Z N6550E06247 FL400=

WX UUY5 250555 M18 24117 ВИД 6-7 КМ, ЛОКАЛЬНО 2-3 КМ, НГО 200М СП, С3/25КМЧ, СЛАБ БОЛТАНКА OBS AT 0555Z FIR UUY5 AREA 4

Рисунок 4.1 – Архив журнала бортовой погоды

WX ULLI 162149 B777 MOD TURB OBS AT 2149Z N6259E05104 FL330=

В данном случае восточная граница обнаружения локатора дальше на 20 градусов восточной долготы, крайняя восточная точка приблизительно 32 градуса 50 минут восточной долготы.

WX ULLI 161526 B738 MOD ICE OBS AT 1519Z N6812E03245 FL170=

В этом же случае сообщение выходит за рамки северной точки примерно на 6 градусов северной широты, крайняя северная точка обнаружения приблизительно равна 62 градусам 30 минутам северной широты.

WX ULLI 270804 E195 MOD TURB OBS AT 0804Z N5648E02904 FL340=

Здесь приведен пример, когда данные от сообщения выходят примерно на 1,5-2 градуса северной широты, крайняя южная точка равняется примерно 57 градусам 30 минутам.

WX ULLI 211144 A321 MOD TURB 275/170KMH OBS AT 1144Z N5956E02715 FL340=

В данном случае восточная граница обнаружения локатора дальше на 0,5 градуса восточной долготы, крайняя восточная точка приблизительно 27 градусов 45 минут восточной долготы.

По итогам проделанной работы, выборка сократилась с 5266 записей в бортовом журнале до приблизительно 1000 случаев, подходящих для дальнейшего рассмотрения.

Далее была проведена расшифровка всех полученных записей и выделены наиболее приемлемые темы для исследования, то есть сдвиг ветра (горизонтальный) и турбулентность и обледенение. Обледенение же, как уже было упомянуто ранее, не реализуется в системе обнаружения локатора ДМРЛ-С и общая выборка без этого явления равна примерно 550 случаям. По итогам этого было выявлено две реализуемые выборки 196 и 87 соответственно.

Архив расшифрованных сообщений состоит из 4 частей:

1) Текст сообщения;

№	Индекс ИКАО	Дата	Время	Заголовок сообщения	Текст сообщения
---	-------------	------	-------	---------------------	-----------------

2) Данные из сообщения о бортовой погоде

облачность	скрость и направление	видимость	НГО, м	температура С	высота наблюдений, м	ВНГО, явления м
------------	-----------------------	-----------	--------	---------------	----------------------	-----------------

3) Данные, вытщенные из архива локатора

облачность	скрость и направление	видимость	НГО, м	температура С	высота наблюдений, м	ВНГО, явления м
------------	-----------------------	-----------	--------	---------------	----------------------	-----------------

4) Совпадение или нет:

ЛОЖЬ
ИСТИНА

Далее будут приведены примеры расшифровок ряда типовых сообщений и дальнейшего сравнения:

WXULLI 281233 B737 MODTURBOBSAT 1233ZN5948E03015

Зонааэродрома 0900/1200M=

1233Z – 12:33 (UTC), для улучшения точности фиксации мы будем смотреть обзор за 12:30 и 12:40.

Диспетчерской зоной аэродрома является воздушное пространство в пределах района полетной информации с радиусом не менее 10 км от контрольной точки аэродрома.

Рассмотрим результаты работы локатора в различных режимах (отражаемость и скорость) на примере карт за 28 декабря (рис. 4.2-4.5). Срок локатора Войеково 12:30 и 12:40 UTC.

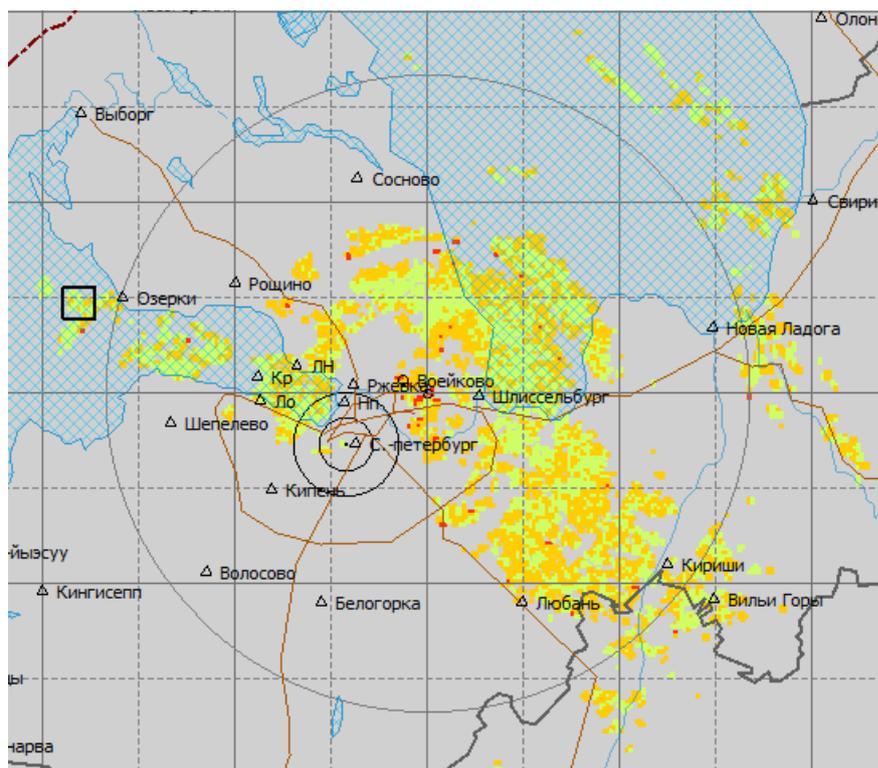


Рисунок 4.2– Срок локатора Войеково за 28 декабря 12:30 UTC в режиме отражаемость

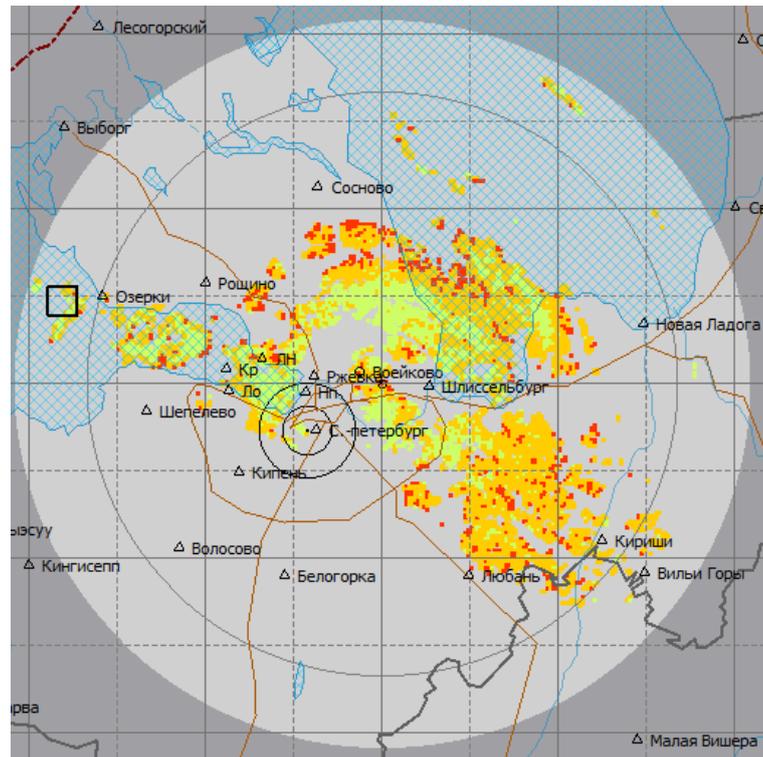


Рисунок 4.3– Срок локатора Войеково за 28 декабря 12:30 UTC в режиме скорость

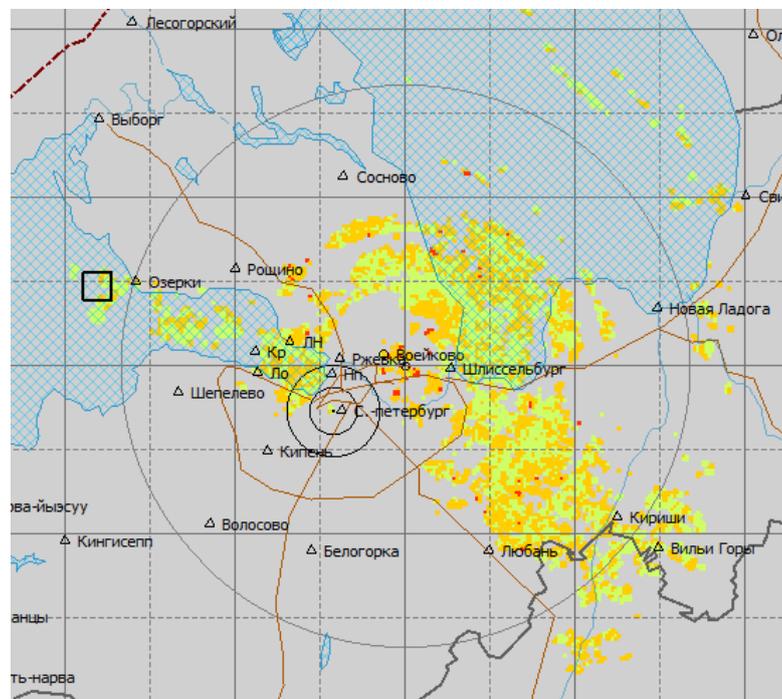


Рисунок 4.4– Срок локатора Войеково за 28 декабря 12:40 UTC в режиме отражаемость

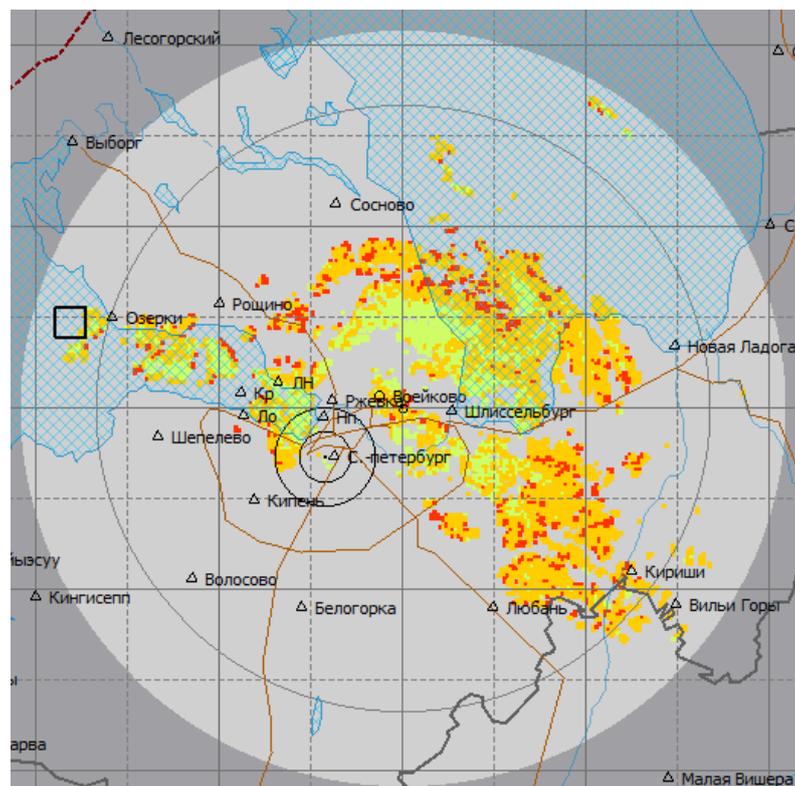


Рисунок 4.5– Срок локатора Войеково за 28 декабря 12:40 UTC в режиме скорости

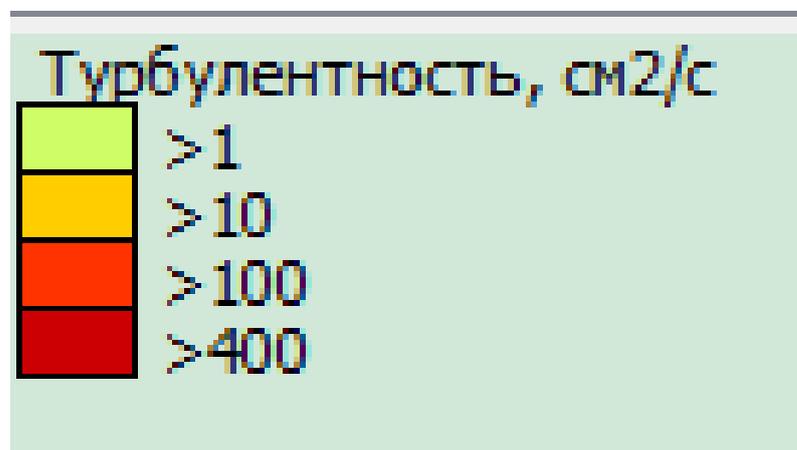


Рисунок 4.6– Градация турбулентности через скорость диссипации ее же

В сообщении выше указано MODTURB или умеренная турбулентность, а согласно табл. 2.2и на рис. 4.2-4.5 мы видим вкрапления со значениями более 100 (рис. 4.6) в зоне аэродрома. Таким образом, данное

явление было увидено локатором безошибочно, в архиве оно будет записано с вставкой “ИСТИНА”.

WX ULLI 192223 B738 MOD WS OBS AT 2223Z N5948E03015 Зона аэродрома FL010=

2223Z– 22:23 (UTC), нужны обзоры за 22:20 и 22:30.

Чаще всего сдвиг ветра дают до высоты 600м или FL020, в данном случае же FL010 – 300м высоты.

Рассмотрим результаты работы локатора в различных режимах (отражаемость и скорость) на примере карт за 19 декабря (рис. 4.7-4.10). Срок локатора Войеково 12:20 и 12:30 UTC.

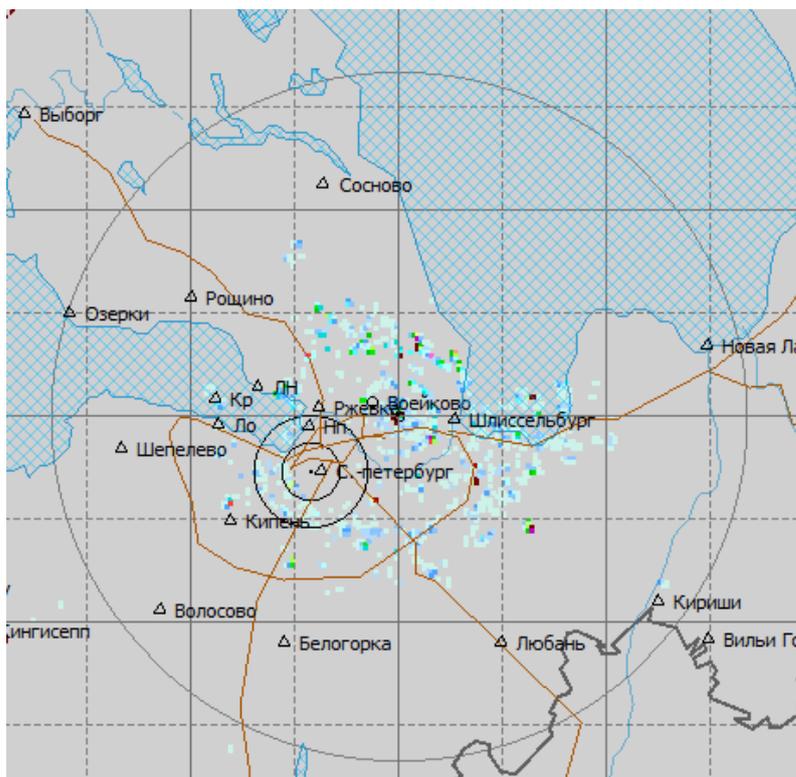


Рисунок 4.7– Срок локатора Войеково за 19 декабря 12:20 UTC в режиме отражаемость

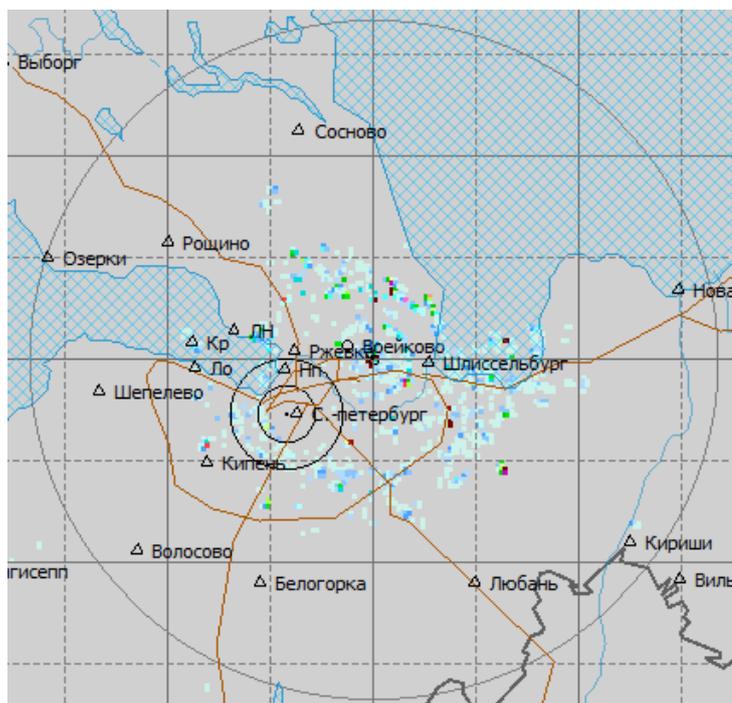


Рисунок 4.8– Сроқ локатора Воеиково за 19 декабря 12:20 UTC в режиме
 скорость

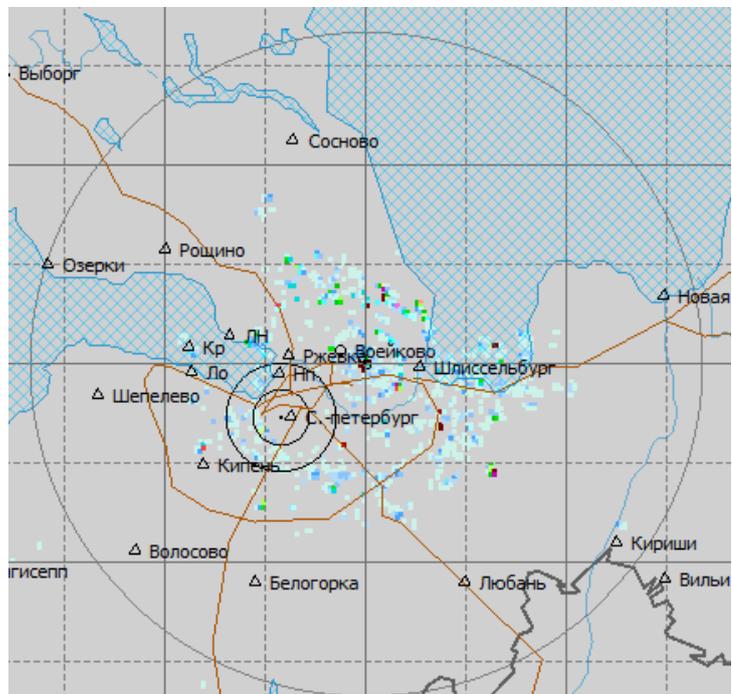


Рисунок 4.9– Сроқ локатора Воеиково за 19 декабря 12:30 UTC в режиме
 отражаемость

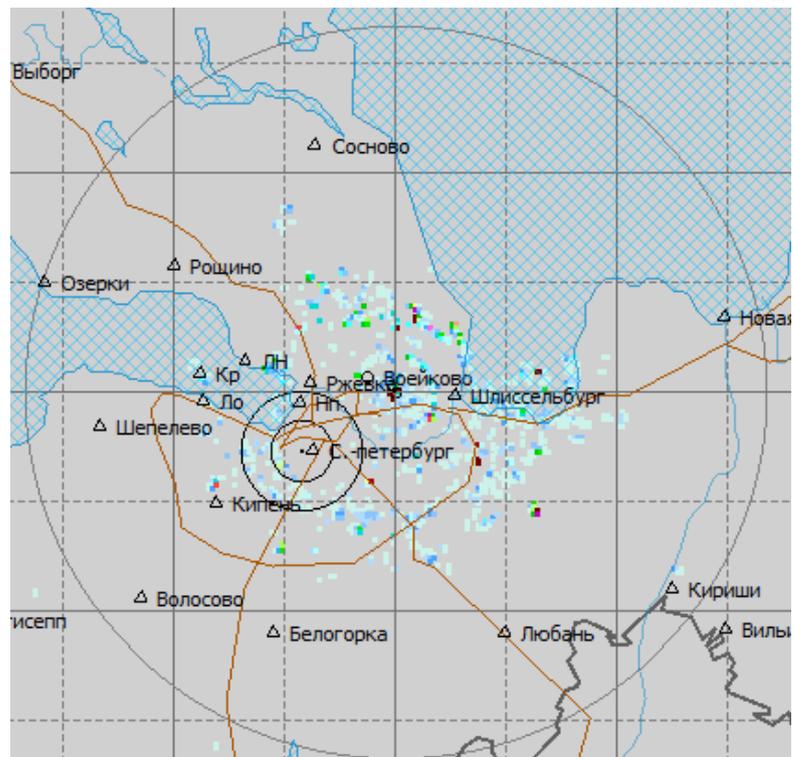


Рисунок 4.10– Срог локатора Войеково за 19 декабря 12:30 UTC в режиме скорость



Рисунок 4.11– Градации сдвига ветра

В сообщении выше указано MOD WS или умеренный сдвиг ветра, или в соответствии с табл.2.1 это от 2 до 4 метров в секунду на 600 метров. На локаторе (рис.4.7-4.10) в зоне аэродрома присутствуют сдвиги от 1,5 метров в секунду до 5,5 метров в секунду (рис. 4.11), что включает в себя диапазон, то есть мы получим истину.

WX ULLI 150553 B738 MOD WS= OBS AT 0553Z N5948E03015 Зона аэродрома 0150/0900M=

0553Z – 05:53 (UTC), нужны обзоры за 05:50 и 06:00.

Особенностями данного сообщения является, что они переданы не на высоте менее 600 метров, то есть от 150 метров до 900 метров.

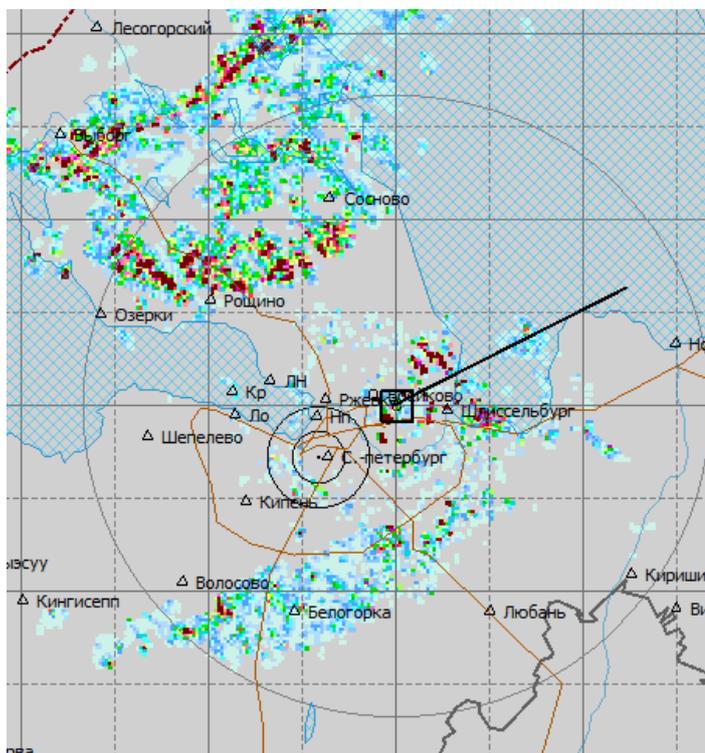


Рисунок 4.12– Срок локатора Войеково за 15 октября 05:50 UTC в режиме отражаемость

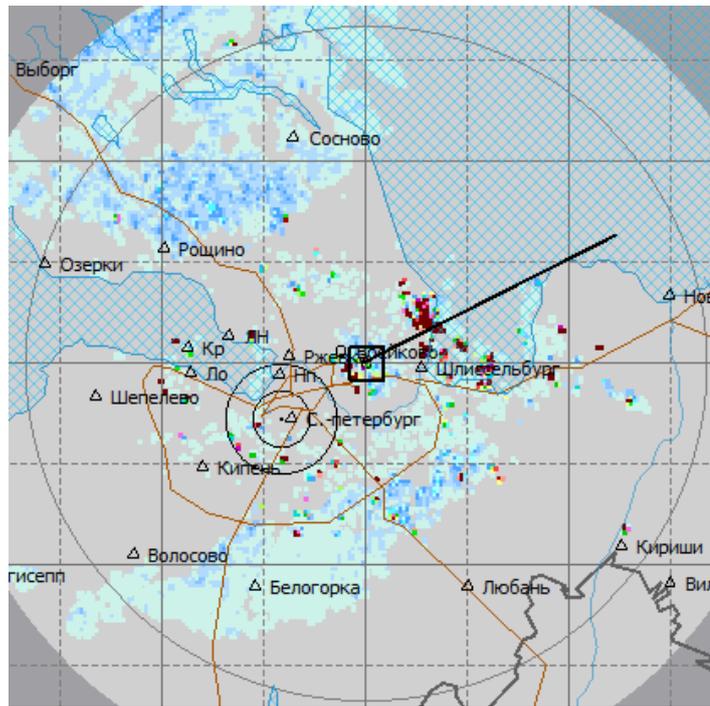


Рисунок 4.13 Срок локатора Войеково за 15 октября 05:50 UTC в режиме скорость

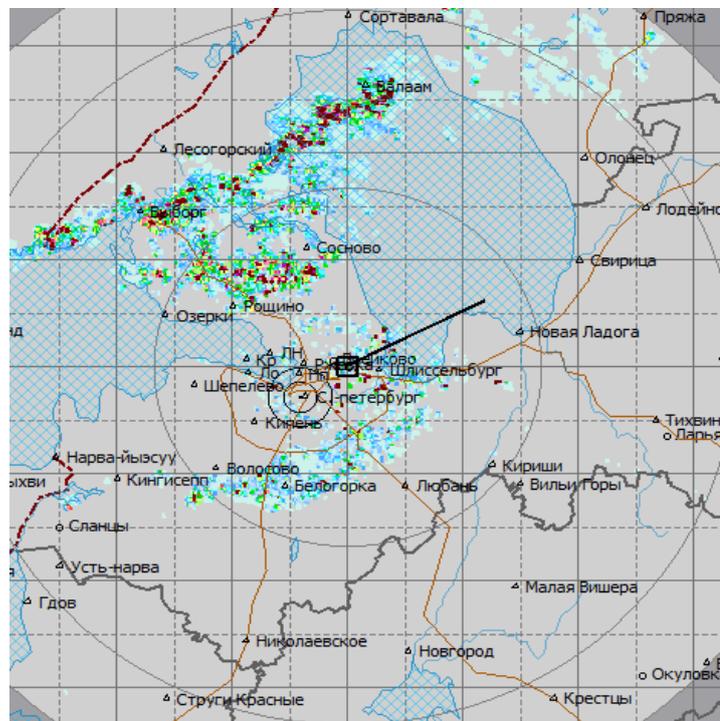


Рисунок 4.14 Срок локатора Войеково за 15 октября 06:00 UTC в режиме отражаемость

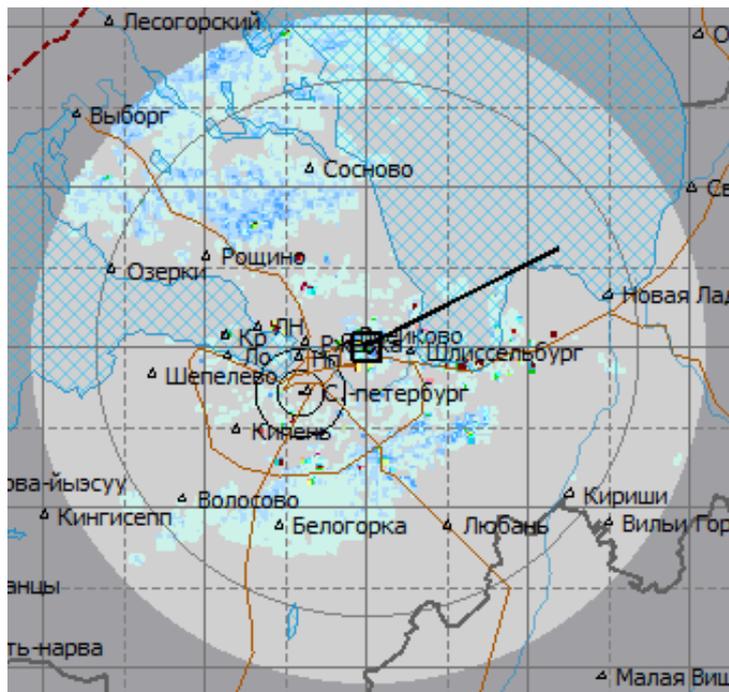


Рисунок 4.15– Срок локатора Войеково за 15 октября 06:00 UTC в режиме скорость

В сообщении выше указано MOD WS или умеренный сдвиг ветра. На локаторе (рис. 4.12-4.15) в зоне аэродрома присутствуют сдвиги от 1,5 метров в секунду до 5,5 метров в секунду (рис. 4.11), что включает в себя диапазон, то есть показания оправдались.

WX ULLI 170856 MI-8 25346 280/050KMН VIS 10KM 8SC BASE
0500M PS01 FBL TURB OBS AT 0856Z N6143E03040 0300M=

17.12 0856Z – 08:56 (UTC), нужны обзоры за 08:50 и 09:00.

280/050KMН- направление 280 градусов и скорость 50 километров в час (13,9 метров в секунду).

VIS 10KM – видимость горизонтальная более 10 километров.

8SCBASE 0500M–слоисто-кучевая облачность на 8 октантов с
основанием на высоте 500 метров.

PS01 – температура +1 градус по Цельсию.

FBLTURB – слабая турбулентность.

OBSAT 0856ZN6143E03040 0300M–наблюдалось в 08:56 (UTC) в точке
61 градус 43 минуты северной широты 30 градусов 40 минут восточной
долготы (примерно в районе Сортавалы) на высоте 300м.

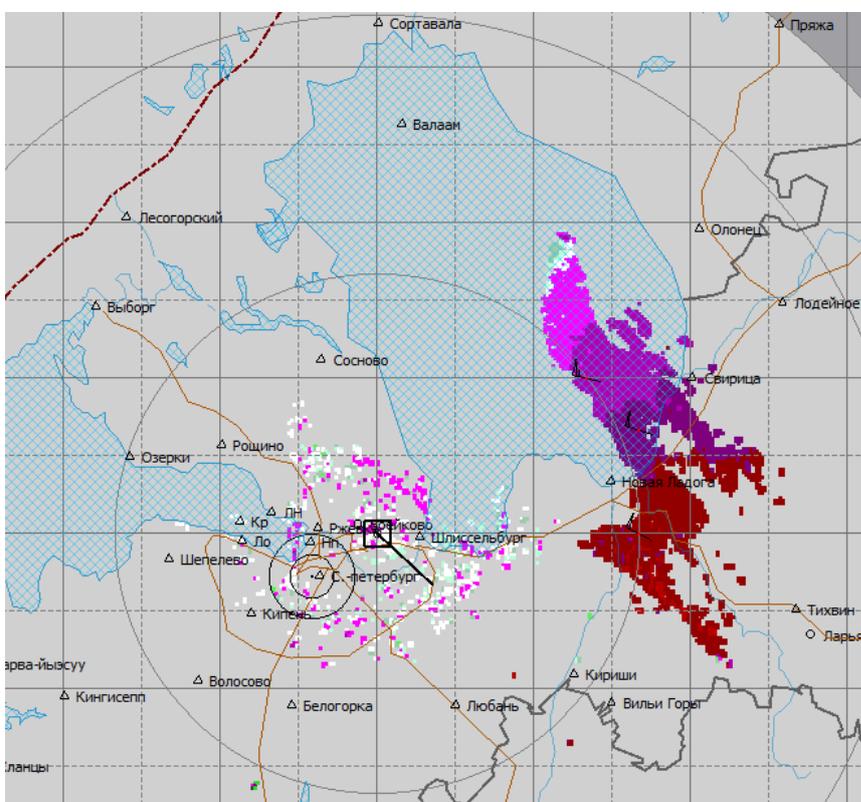


Рисунок 4.16– Радиальная скорость в 8:50 UTC 17.12 в режиме отражаемость

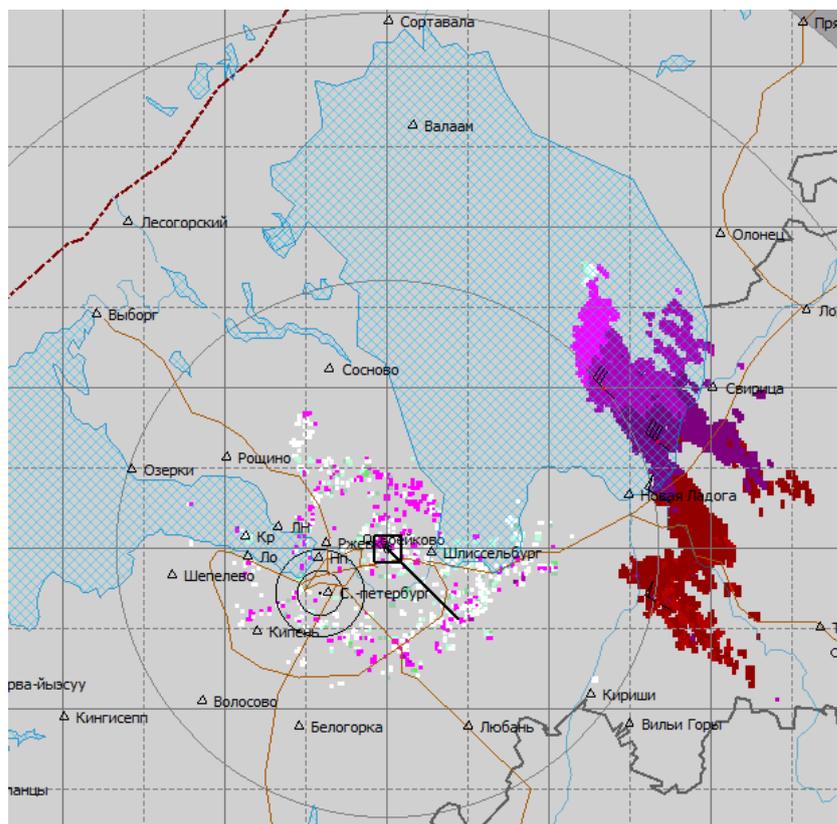


Рисунок 4.17– Радиальная скорость в 9:00 UTC 17.12 в режиме скорости

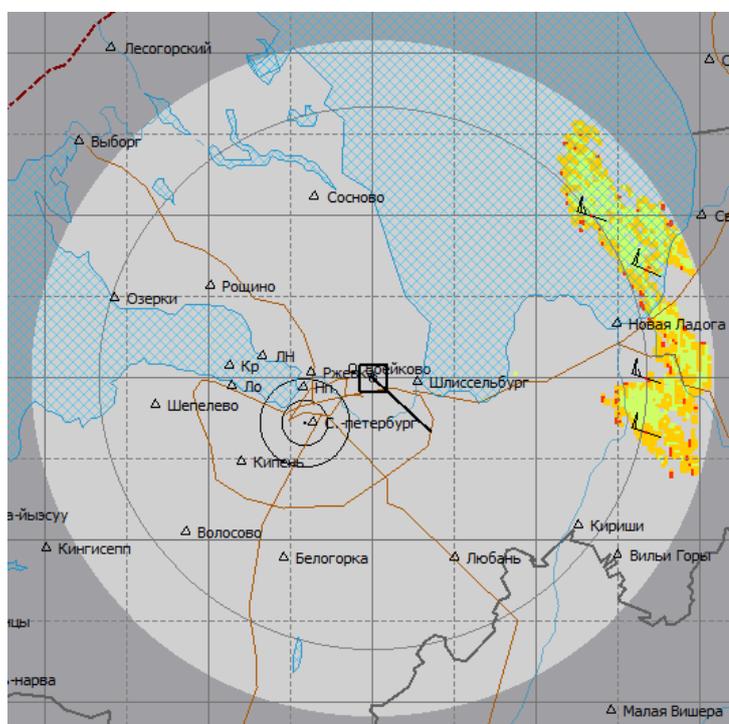


Рисунок 4.18– Турбулентность в 8:50 UTC 17.12 в режиме отражаемость

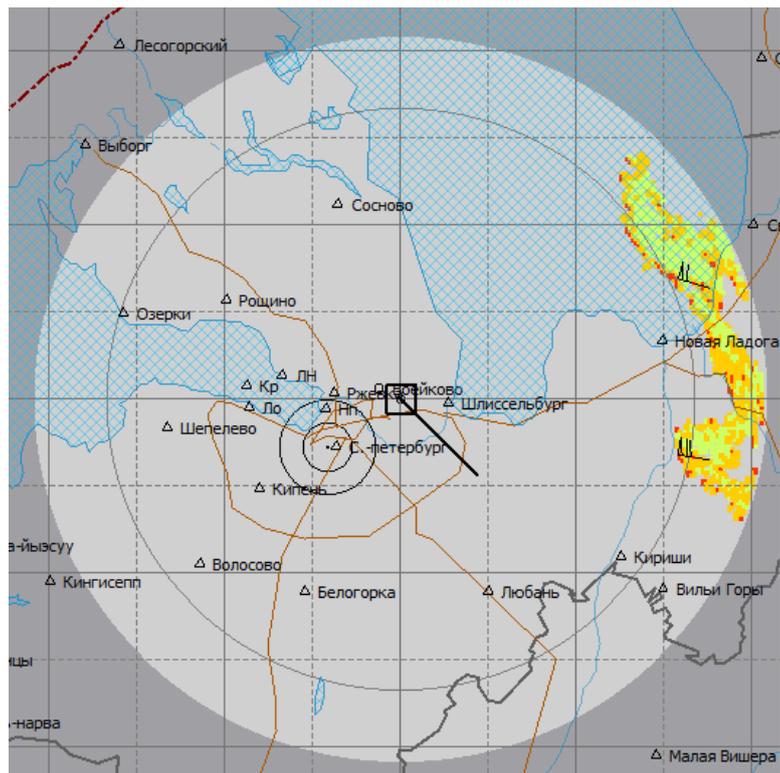


Рисунок 4.19– Турбулентность в 9:00 UTC 17.12 в режиме скорость

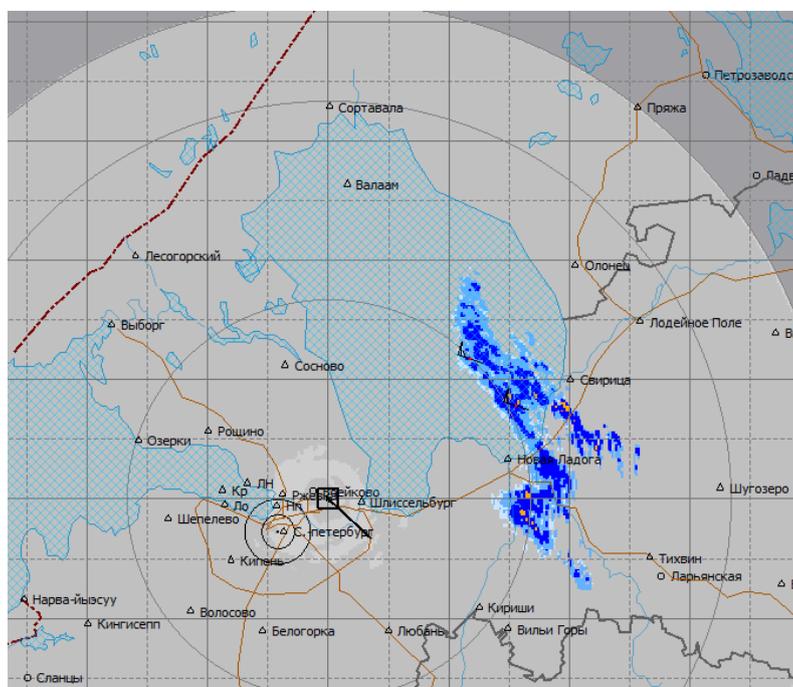


Рисунок 4.20– Видимость в 8:50 UTC 17.12 в режиме отражаемость

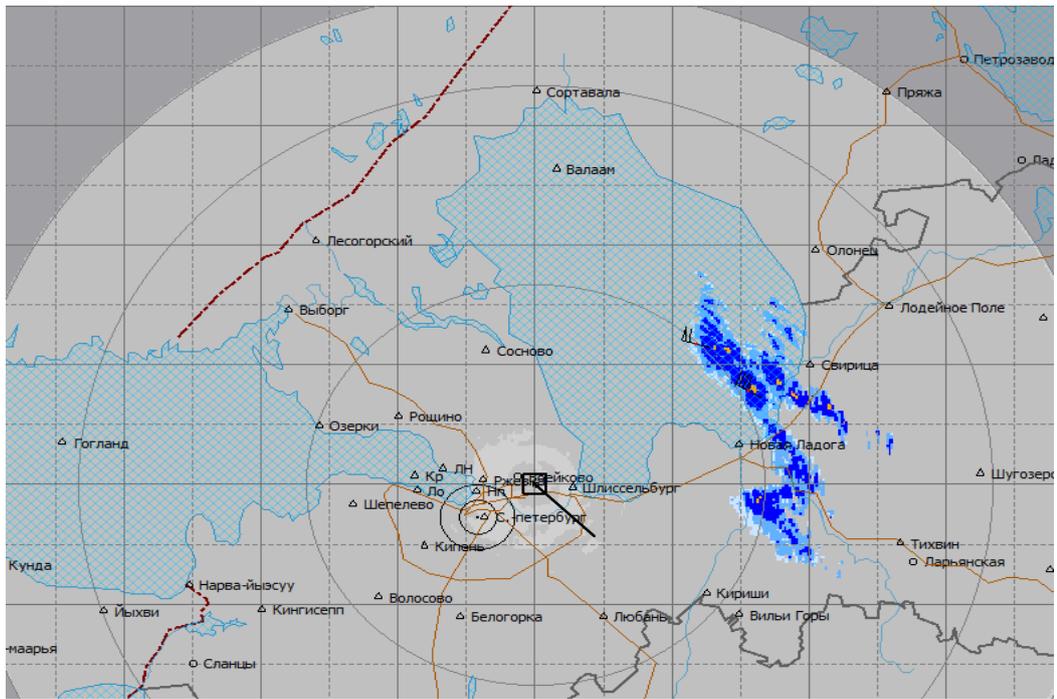


Рисунок 4.21– Видимость в 9:00 UTC 17.12 в режиме скорость



Рисунок 4.22– Высота НГО в 8:50 UTC 17.12 в режиме отражаемость



Рисунок 4.23– Высота НГО в 9:00 UTC 17.12 в режиме скорости

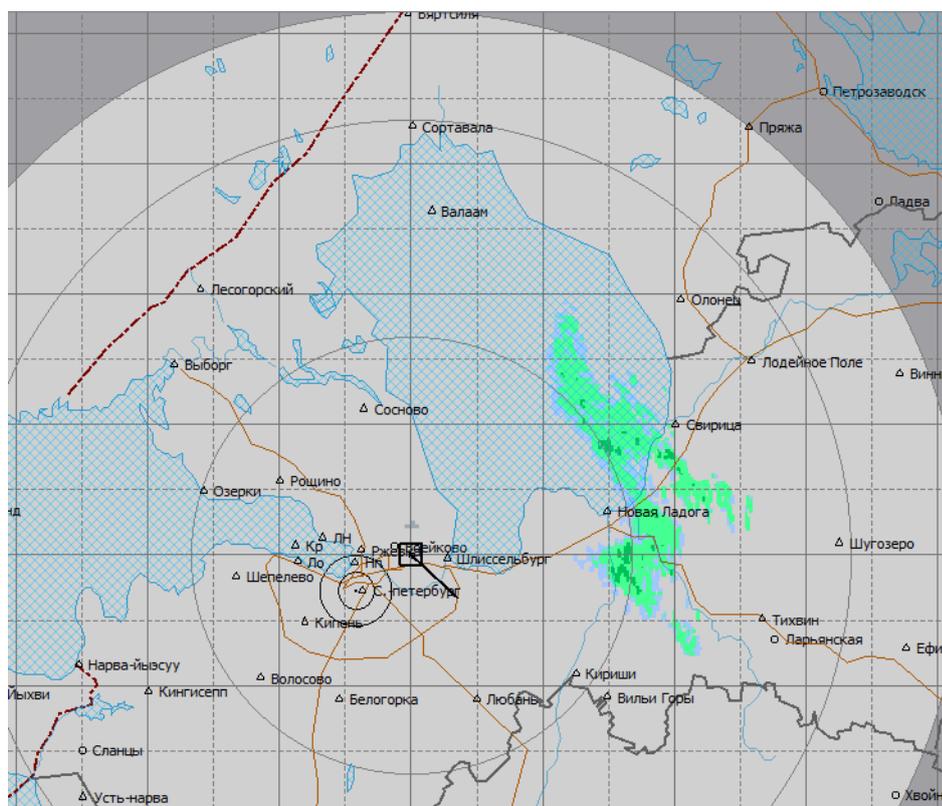


Рисунок 4.24– Метеоявления и общие параметры в 8:50 UTC 17.12 в режиме отражаемость

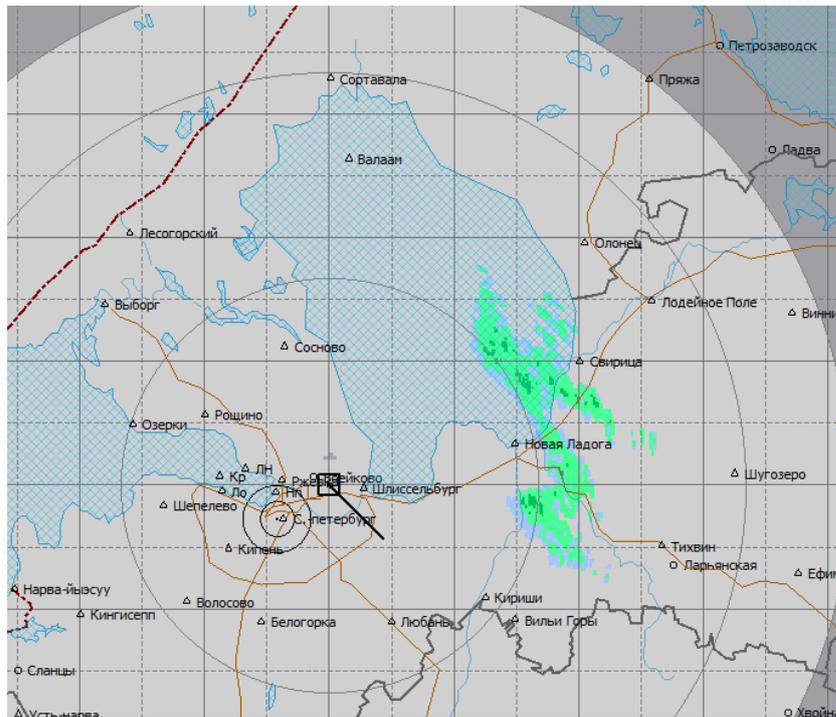


Рисунок 4.25 Метеоявления и общие параметры в 9:00 UTC 17.12 в режиме скорость

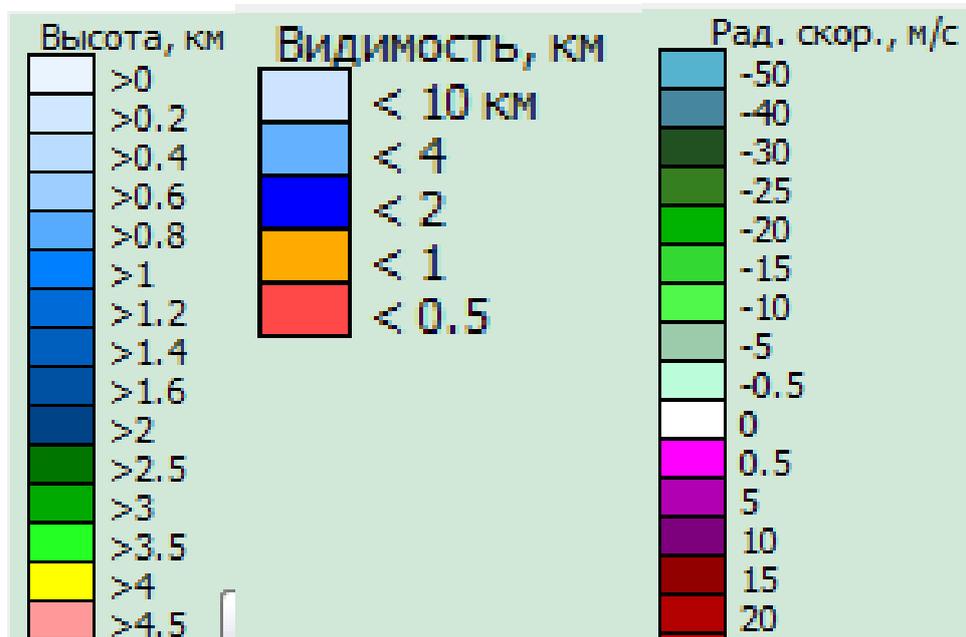


Рисунок 4.26 Градации для высоты НГО (рис.4.22-4.23), видимости (рис.4.20-4.21) и радиальной скорости (рис.4.16-4.17)

Итоги сравнения:

- 1) Параметры ветра не были зафиксированы в целом как в облачной системе (рис. 4.24-4.25), так и невозможна оценка через радиальную скорость (рис. 4.16-4.17);
- 2) В случае видимости или оправдалось или не смогло зафиксировать, так как находится на границе радиусом 200 километров;
- 3) Облачность и турбулентность не смогла быть зафиксирована по той же причине, что и в пункте 2;
- 4) Температура никоим образом не может быть зафиксирована на локаторах типа ДМРЛ-С.

WX ULLI 170549 B738 MOD TURB OBS AT 0547Z N5948E03015 Зона аэродрома SFC/FL020=

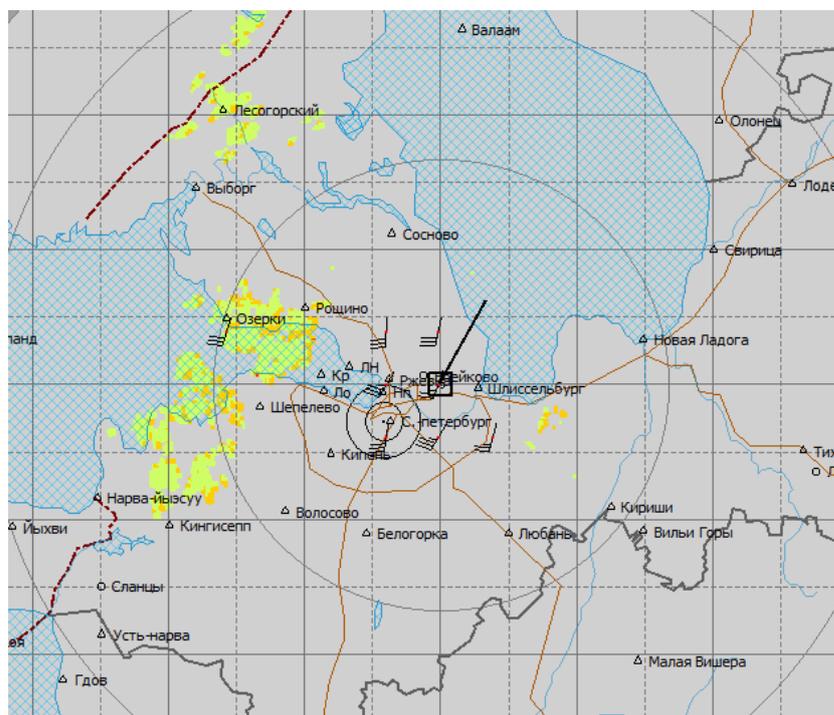


Рисунок 4.27– Турбулентность в 5:40 UTC 17.05 в режиме отражаемость

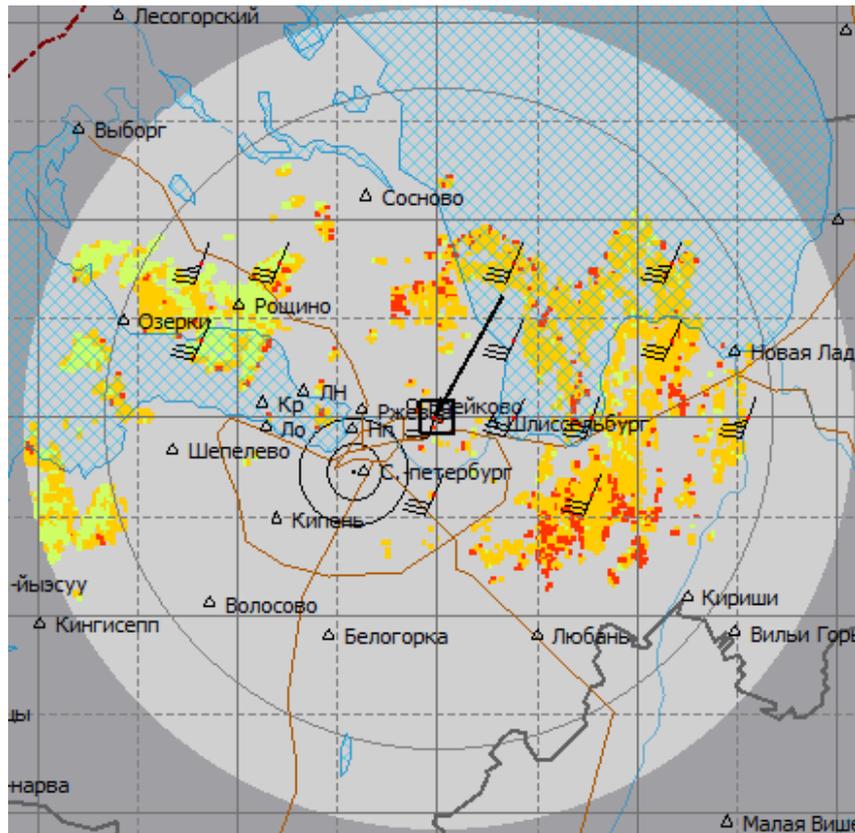


Рисунок 4.30– Турбулентность в 5:50 UTC 17.05 в режиме скорость

В данном случае в зоне аэродрома мы не видим совпадения между данными “Бортового журнала” и данных метеолокатора.

5 Валидация и верификация

5.1 Методика валидации и верификации

Данная методика позволила бы использовать такие вторичные продукты локатора ДМРЛ-С, как турбулентность и сдвиг ветра. Впоследствии это позволило бы создать рабочий эталон для данных величин, которое подтвердило или опровергло бы качество радиолокационных наблюдений.

Таким образом, предполагается, что книга “Методика валидации наблюдений доплеровских метеорологических радиолокаторов, установленных на наземной наблюдательной сети” будет обновлена при подтверждении полученных результатов.

Объектом валидации являются данные измерений на ДМРЛ разрешением не хуже 4x4 км, представленные в электронном виде и снабженные точными географическими координатами каждого элемента карты, то есть карты турбулентности и горизонтального сдвига ветра.

Код пикселя или квадрат 2x2 или 4x4 километра определяет наиболее вероятное опасное явление (табл. 5.1) в данном участке, идентифицированное по ДМРЛ в данных рамках через определенные перерасчеты в определенный промежуток времени.

Валидация проводится в оптимальном радиусе сопоставления относительно места установки ДМРЛ путем соотношения результатов идентификации ОЯ на ДМРЛ и по эталону в пределах контрольных кругов.

Размеры и размещение контрольного круга в пределах радиуса сопоставления зависят от конкретного исследуемого ОЯ, рассчитываемого показателя и выбранного эталона.

Опасные явления, которые могут быть обнаружены на локаторе ДМРЛ-С и использованы на синоптической практике

Код	Метеоявление	Обозначение	Код	Метеоявление	Обозначение
0	Отсутствует р/эхо		10	Гроза с вероятностью 30-70%	(R)
1	Облачность верх. и средн. ярус	Ac	11	Гроза с вероятностью 71-90%	(R)
2	Слоист. облачность	St	12	Гроза с вероятностью > 90%	R
3	Осадки слабые	:	13	Гроза + град слабый	(G)
4	Осадки умеренные	*	14	Гроза + град умеренный	(G)
5	Осадки сильные	**	15	Гроза + град сильный	G
6	Кучевая облачность	Cu	16	Гроза + шквал слабый	(S)
7	Ливень слабый	(V)	17	Гроза+ шквал умеренный	(S)
8	Ливень умеренный	V)	18	Гроза+ шквал сильный	S
9	Ливень сильный	V	19	Торнадо (смерч)	T

В качестве эталона при валидации турбулентности и сдвига ветра будут использованы специализированные наблюдения на метеорологической станции (АМЦ Пулково), журнал “Журнал бортовой погоды”. При исследовании данных величин на другом локаторе могут быть использованы иные подразделения.

При валидации чаще всего оценка согласованности результатов идентификации опасных явлений на ДМРЛ и по рабочему эталону заключается в расчете следующих статистических показателей: [9]

- 1) оправдываемость P_o идентификации ОЯ на ДМРЛ, %;
- 2) достоверность P_d идентификации ОЯ на ДМРЛ, % (рис. 5.1).

Валидацией будет считаться идентификация относительно таблицы 5.1 на ДМРЛ в любом пикселе карты метеорологических явлений в пределах контрольного круга в течение одного цикла наблюдений. Чаще всего периодичность автоматизированных радиолокационных наблюдений на сети

Росгидромета составляет 10 минут в соответствии с законодательной базой.[10]

$P_O = K_{11}/K_{01} \cdot 100\%,$	$P_D = K_{11}/K_{10} \cdot 100\%,$
------------------------------------	------------------------------------

Рисунок 5.1 –Формулы для достоверности и оправдываемости

Принципом валидации радиолокационных наблюдений ОЯ является составление матрицы сопряженности (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Примерный вид матрицы сопряженности валидации вторичных продуктов

		Данные эталона		
		Есть ОЯ	Нет ОЯ	Сумма
Данные ДМРЛ	Есть ОЯ	K11	K12	K10
	Нет ОЯ	K21	K22	K20
	Сумма	K01	K02	-

В таблице 5.2 использованы следующие обозначения:

- 1) K11 – количество случаев ОЯ, верно идентифицированных на ДМРЛ из отмеченных эталоном («попадания»);
- 2) K12 – количество случаев ОЯ, идентифицированных на ДМРЛ, но не подтвержденных эталоном («ложные тревоги»);
- 3) K10 – общее количество случаев ОЯ, идентифицированных на ДМРЛ;

- 4) K21 – количество случаев ОЯ, не идентифицированных на ДМРЛ, но отмеченных эталоном («промахи»);
- 5) K01 – общее количество случаев ОЯ, отмеченных по данным эталона;
- 6) K22 – количество случаев ОЯ, не идентифицированных на ДМРЛ и не отмеченных эталоном;
- 7) K02 – общее количество случаев ОЯ, не отмеченных по данным эталона;
- 8) K20 – общее количество случаев ОЯ, не идентифицированных на ДМРЛ.

На протяжении долгого времени по сети Росгидромета для характеристики надежности идентификации опасных явлений по данным ДМРЛ принято использовать показатель “Достоверность” (P_o), в отличие от показателя “Доля ложных тревог” (P_d), используемого для оценки успешности прогнозов и штормовых предупреждений.

На практике принято считать приемлемыми данные пороги для величин достоверности и оправдываемости (табл. 5.3):

Таблица 5.3

Пороги достоверности (P_o) и оправдываемости (P_d)

Достоверность (P_o)	Оправдываемость (P_d)
$\geq 70\%$ – удовлетворительно	$\geq 60\%$ – удовлетворительно
$\geq 80\%$ – хорошо	$\geq 70\%$ – хорошо
$\geq 90\%$ – отлично	$\geq 80\%$ – отлично

Выводы о согласованности результатов идентификации опасных явлений по ДМРЛ и эталону делается только в том случае, если по

достоверности и оправдываемости достигнуты удовлетворительные результаты.

5.2 Валидация динамических величин: сдвиг ветра и турбулентность

Исходя из таблиц 5.4 и 5.5, можно сделать ряд выводов о сдвиге ветра:

- 1) Общее количество случаев равно 85, это немного недостаточно, соответственно для улучшения и углубления значимости полученного результата требуется увеличить выборку (минимальный объем статистически важной выборки от 100 единиц);

Таблица 5.4

Матрица сопряженности сдвига ветра

		Данные эталона		
		Есть сдвиг ветра	Нет сдвига ветра	Сумма сдвигов ветра
Данные ДМРЛ	Есть сдвиг ветра	77	0	77
	Нет сдвига ветра	8	0	8
	Сумма сдвигов ветра	85	0	85

Результаты валидации сдвига ветра

Оправдываемость	$\frac{77}{85} * 100\% \approx 91\%$
Достоверность	$\frac{77}{77} * 100\% = 100\%$

- 2) Предварительная оправдываемость около 91%, что является отличным результатом для данных ДМРЛ-С. При увеличении выборки интересным вариантом также будет рассмотреть сезонную оправдываемость, то есть увидеть зависимость от сезонных явлений, например: от конвекция с открытых водоемов, температурную значимость и так далее;
- 3) В данном случае достоверность равняется 100%, потому что мы считаем данные, полученные с бортов летательных аппаратов безусловно правдивыми, то есть всегда верными. В данном ключе можно будет провести отдельное исследование о точности измерительных приборов на самолетах.

Исходя из таблиц 5.6 и 5.7, можно сделать ряд выводов о сдвиге ветра:

- 1) Общее количество равно 193, что для исследования годовых результатов является достаточно приемлемым результатом, но при рассмотрении сезонных значений (осень, зима, весна, лето) этого все еще недостаточно;
- 2) Оправдываемость равняется 41%. Это значит, что виды турбулентности, передаваемые в “Журнал бортовой погоды” чаще всего не связаны с облачными системами или фронтами, то есть это могут быть термические подвиды, турбулентность ясного неба и так далее;

Матрица сопряженности турбулентности

		Данные эталона		
		Есть турбулентность	Нет турбулентности	Сумма турбулентности
Данные ДМРЛ	Есть турбулентность	79	0	79
	Нет турбулентности	114	0	114
	Сумма турбулентности	193	0	193

Таблица 5.7

Результаты валидации турбулентности

Оправдываемость	$\frac{79}{193} * 100\% \approx 41\%$
Достоверность	$\frac{79}{79} * 100\% = 100\%$

3) В общем целом причина высокой достоверности (100%) у турбулентности аналогична сдвигу ветра, но требует более глубокого дополнительного исследования.

Таким образом, на данный момент времени данные с летательных аппаратов нельзя использовать, как рабочий эталон, для валидации случаев, связанных с турбулентностью. Можно лишь дать рекомендации по повышению оправдываемости. Далее будут приведены сезонные матрицы сопряженности (табл. 5.8-5.15).

Приведем матрицу сопряженности за зимний сезон (табл. 5.8).

Таблица 5.8

Матрица сопряженности турбулентности зимой

		Данные эталона		
		Есть турбулентность	Нет турбулентности	Сумма турбулентности
Данные ДМРЛ	Есть турбулентность	24	0	24
	Нет турбулентности	33	0	33
	Сумма турбулентности	57	0	57

Зимняя оправдываемость в 42% может быть связана с многочисленными случаями инверсии на протяжении всего сезона (табл. 5.9).

Приведем матрицу сопряженности за осень (табл. 5.10).

Таблица 5.9

Результаты валидации турбулентности зимой

Оправдываемость	$\frac{24}{57} * 100\% \approx 42\%$
Достоверность	$\frac{24}{24} * 100\% = 100\%$

Таблица 5.10

Матрица сопряженности турбулентности осенью

		Данные эталона		
		Есть турбулентность	Нет турбулентности	Сумма турбулентности
Данные ДМРЛ	Есть турбулентность	24	0	24
	Нет турбулентности	22	0	22
	Сумма турбулентности	46	0	46

Наилучшая оправдываемость в осенний период времени, согласно расчетам составила 52% (табл. 5.11), что на 10% выше зимнего периода. Это может быть связано с тем, что нет сильной температуры как у поверхности земли, так и у воды, то есть осенью чаще всего происходит облачный или фронтальный подвид исследуемого явления.

Таблица 5.11

Результаты валидации турбулентности осенью

Оправдываемость	$\frac{24}{46} * 100\% \approx 52\%$
Достоверность	$\frac{24}{24} * 100\% = 100\%$

Исходя из таблиц 5.12-5.15, можно сделать предварительный вывод, что самые малые значения оправдываемости весной и летом, 33% и 35% соответственно.

Таким образом, в теплое время года, когда крупные водные объекты, такие как Финский залив и Ладожское озеро, аккумулирует в себе большое количество энергии, происходит увеличение термической активности, то есть в большем объеме происходит термическая турбулентность.

Матрица сопряженности турбулентности весной

		Данные эталона		
		Есть турбулентность	Нет турбулентности	Сумма турбулентности
Данные ДМРЛ	Есть турбулентность	15	0	15
	Нет турбулентности	30	0	30
	Сумма турбулентности	45	0	45

Таблица 5.13

Результаты валидации турбулентности весной

Оправдываемость	$\frac{15}{45} * 100\% \approx 33\%$
Достоверность	$\frac{15}{15} * 100\% = 100\%$

Матрица сопряженности турбулентности летом

		Данные эталона		
		Есть турбулентность	Нет турбулентности	Сумма турбулентности
Данные ДМРЛ	Есть турбулентность	16	0	16
	Нет турбулентности	30	0	30
	Сумма турбулентности	46	0	46

Таблица 5.15

Результаты валидации турбулентности летом

Оправдываемость	$\frac{16}{46} * 100\% \approx 35\%$
Достоверность	$\frac{16}{16} * 100\% = 100\%$

Турбулентность ясного неба связана с попаданием в поток, скорость которого существенно отличается от основного. Подобный поток может быть небольшим в пространственно-высотном распределении, а при условии, что локатор ДМРЛ-С создает сечения с высотным шагом 1 км, может быть пропущен или просто осреднен, поэтому данный вид на метеолокаторах трудноразличим.

Таким образом, одним из вариантов повышения общей оправдываемости является включение устройства, дополняющего показания ДМРЛ-С, например: как уже было упомянуто ранее, пирометр или лидар на поворотном устройстве для определения температуры или иное техническое устройство для определения влажности объекта или же его влажности.

Заключение

По итогу проделанной работы было сделано:

- формирование базы данных бортовой погоды за 2023 год зоны ULLL (зона полета Санкт-Петербургского центра);
- формирование базы данных бортовой погоды за 2023 год зоны ULLL. Также из нее были убраны данные, выходящие за зону обнаружения локатора Войеково (радиус 200-250 километров);
- расшифровка полученной базы данных, представленной в закодированном виде, за 2023 год зоны ULLL в зоне обнаружения локатора;
- формирование базы данных локатора Войеково;
- совместный анализ данных локатора Войеково и данных бортовой погоды: совпадение или не совпадение случая;
- совместный анализ данных локатора Войеково и данных бортовой погоды в случае рассмотрения сдвига ветра: рассчитать оправдываемость и достоверность;
- совместный анализ данных локатора Войеково и данных бортовой погоды в случае рассмотрения годичной изменчивости турбулентности: рассчитать оправдываемость и достоверность;
- совместный анализ данных локатора Войеково и данных бортовой погоды в случае рассмотрения турбулентности по сезонам: рассчитать оправдываемость и достоверность;
- приведены окончательные выводы относительно работоспособности бортовой погоды в качестве эталона и даны рекомендации как решить возможные проблемы;

Архив “Журнал бортовой погоды” может быть использован в дальнейшем в качестве рабочего эталона для подтверждения оправдываемости и достоверности сдвига ветра на ДМРЛ-С после небольшой доработки, связанной с объемом выборки осмотром сезонной зависимости. Соответственно, будут перерасчитаны показатели “Достоверности” и “Оправдываемости”.

В случае же использования архива данных с летательных аппаратов для валидации ДМРЛ-С по турбулентности на данный момент подобное не представляется возможным. Проблемой при фиксации турбулентности может служить потолок обнаружения у метеолокаторов (чаще всего не более 8 километров) и обнаружение подобного явления на значимой дальности (более 100 километров).

Требуются значительные улучшения для обнаружения иных видов турбулентности, так например:

- 1) В теплое время года, когда крупные водные объекты, такие как Финский залив и Ладожское озеро, аккумулирует в себе большое количество энергии, происходит увеличение термической активности, то есть в большем объеме происходит термическая турбулентность;
- 2) Турбулентность ясного неба связана с попаданием в поток, скорость которого существенно отличается от основного. Подобный поток может быть небольшим в пространственно-высотном распределении, а при условии, что локатор ДМРЛ-С создает сечения с высотным шагом 1 км, может быть пропущен или просто осреднен, поэтому данный вид на метеолокаторах трудноразличим.

Для повышения общей оправдываемости можно рекомендовать включение устройства, дополняющего показания ДМРЛ-С, например: как уже было упомянуто ранее, пирометр или лидар на поворотном устройстве

для определения температуры или иное техническое устройство для определения водности объекта или же его влажности.

Таким образом, данные, получаемые с воздушных судов, могут сильно облегчить валидацию и настройку локаторов типа ДМРЛ-С.

Список использованных источников

- 1) Ю. Жуков, Г. Г. Шукин “Применение методов метеорологической многопараметрической радиолокации для распознавания опасных явлений погоды”.2020. с.1-2;
- 2) Большая Советская Энциклопедия. – М. : Советская энциклопедия 1969-1978.
- 3) “Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике” [Электронный ресурс].- Режим доступа:<https://method.meteorf.ru/norma/document/temp.pdf>
- 4) “Методические указания по производству метеорологических радиолокационных наблюдений на ДМРЛ-С на сети Росгидромета”[Электронный ресурс]. - Режим доступа:chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/http://voeikovmgo.ru/download/publikacii/2014/guidelines_2014_final.pdf
- 5) Жуков В.Ю., Кузнецов А.Д., Сероухова О.С. Интерпретация данных доплеровских метеорологических радиолокаторов. Учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2018. – 119 с.;
- 6) Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (шифр «Гимет 2010»). Описание программы. 2011
- 7) С.Д. Винников, А.А. Зорина “Ученые записки №39.К анализу дифференциальных уравнений, описывающих движение вязкой жидкости по поверхности с заданным для неё уклоном” – СПб.: РГГМУ, 2015 – 5с.;
- 8) “Международный атлас облаков”[Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://cloudatlas.wmo.int/ru/species-cumulonimbus-calvus-cb-cal.html>
- 9) А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова “Ученые записки №39.Валидация измерений характеристик ветра в свободной атмосфере, полученных с помощью доплеровской мрл” – СПб.: РГГМУ, 2015 – 7с.;

10) Методика валидации наблюдений доплеровских метеорологических радиолокаторов, установленных на наземной наблюдательной сети” [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://meteorad.ru/normative>