

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ  
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ  
(Росгидромет)**

Введены в действие Приказом №52 от 14.02.2014 г.

**Временные методические указания  
по использованию информации  
доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С  
в синоптической практике**

Москва,

2014 г.

## **АННОТАЦИЯ**

Настоящие временные методические указания разработаны ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория» при участии специалистов ФГБУ «Гидрометцентр России», ФГБУ «ГГО», ФГБУ «ВГИ» и ОАО «НПО «ЛЭМЗ» для регламентации использования в синоптической практике метеорологической информации, получаемой на радиолокаторах ДМРЛ-С, устанавливаемых в рамках выполнения Федеральных целевых программ «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008-2015 годы» и «Модернизация Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации (2009-2020 годы)» на сети Росгидромета.

При подготовке настоящего документа использован проект «Методических указаний по эксплуатации ДМРЛ-С на сети Росгидромета», разработанный ФГБУ «ГГО», а также замечания и предложения, сделанные специалистами НИУ, ЦГМС Росгидромета и профильных организаций других ведомств.

**Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике**

1 РАЗРАБОТАНЫ	Авторским коллективом сотрудников ФГБУ «ЦАО» с участием сотрудников ФГБУ «Гидрометцентр России», ФГБУ «ГГО», ФГБУ «ВГИ», ОАО НПО «ЛЭМЗ».
2 РАЗРАБОТЧИКИ	Ю.Б. Павлюков, начальник НТЦР ДМРЛ ЦАО; Н.И. Серебрянник, к.г.н., снс НТЦР ДМРЛ ЦАО; С.Г. Беликов, зам.начальника НТЦР ДМРЛ ЦАО; Н.А. Безрукова, к.г.н, уч. секретарь ЦАО; Е.Л. Савёлов, зав. отделом НТЦР ДМРЛ ЦАО; В.А. Охрименко, инженер НТЦР ДМРЛ ЦАО; А.В.Травов, вед.программист НТЦР ДМРЛ ЦАО; А.А. Шумилин, вед.программист НТЦР ДМРЛ ЦАО; Т.А. Белякова, вед.программист НТЦР ДМРЛ ЦАО; Т.А. Ратникова, вед.программист НТЦР ДМРЛ ЦАО; В.П. Пылаев, вед.инженер. НТЦР ДМРЛ ЦАО; А.Е. Ларин, вед.инженер. НТЦР ДМРЛ ЦАО;
3 ВНЕСЕНЫ	ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория»
4 УТВЕРЖДЕНЫ	Руководителем Росгидромета А.В.Фроловым
5 ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ	Приказом Росгидромета №52 от 14.02.2014 г.
6 ОДОБРЕНЫ	Центральной методической комиссией Росгидромета по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 30 мая 2014 г.
7 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ	

Авторы выражают благодарность за полезные замечания, высказанные при рецензировании документа, заведующему лабораторией ФГБУ «ЦАО», к.т.н.А.В.Кочину, а также заведующей лабораторией ФГБУ «Гидрометцентр России», д.ф.-м.н. А.Р. Ивановой, заместителю директора ФГБУ «ВГИ», профессору, д.ф.-м.н. М.Т. Абшаеву заведующему отделом ФГБУ «ГГО», к.ф.-м.н. И.А. Тарабукину главному конструктору ДМРЛ-С «НПО «ЛЭМЗ», к.ф.-м.н. И.С. Вылегжанину за конструктивные замечания, способствовавшие улучшению документа.

<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>		Стр.
1.	<b>Область применения</b> .....	<b>6</b>
2.	<b>Список сокращений и определений</b> .....	<b>7</b>
3.	<b>Общие сведения о метеорологических радиолокаторах</b> .....	<b>9</b>
4.	<b>Доплеровский поляризационный радиолокатор ДМРЛ-С</b> .....	<b>14</b>
4.1	Назначение радиолокатора ДМРЛ-С .....	<b>14</b>
4.2	Технические характеристики радиолокатора ДМРЛ-С .....	<b>15</b>
4.3	Состав радиолокатора ДМРЛ-С .....	<b>19</b>
4.4	Функционирование радиолокатора ДМРЛ-С в составе наблюдательной сети Росгидромета .....	<b>21</b>
4.5	Режим радиолокационных наблюдений ДМРЛ-С .....	<b>23</b>
4.6	Программное обеспечение вторичной обработки информации ДМРЛ-С «ГИМЕТ-2010» .....	<b>26</b>
4.7	Вторичные радиолокационные продукты ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» .....	<b>29</b>
5.	<b>Использование информации ДМРЛ-С в синоптической практике</b> .....	<b>47</b>
5.1	Принципы идентификации метеоявлений на ДМРЛ-С Радиолокационные критерии метеоявлений .....	<b>48</b>
5.2	Особенности идентификации метеоявлений в разных физико-географических районах.....	<b>49</b>
5.3	Грозовая облачность на картах отражаемости. Внутримассовая и фронтальная грозовая облачность. Примеры на картах ВГО, R, S, Q. ....	<b>50</b>
5.4	Слоистообразная и кучевообразная облачность при разных синоптических процессах и связанные с ней осадки и ОЯ по данным ДМРЛ-С. Вертикальные разрезы полей р/л отражаемости...	<b>59</b>
5.5	Измерение осадков радиолокационным методом .....	<b>66</b>
5.6	Обнаружение шквалов и смерчей .....	<b>70</b>
5.7	Вектор перемещения и карты горизонтального ветра ДМРЛ-С .....	<b>73</b>
5.8	Сверхкраткосрочный прогноз МЯ на основе использования вектора перемещения зон облачности и осадков .....	<b>76</b>

---

5.9	Использование карты вертикального профиля ветра VW. Сравнение VW с данными аэрологического зондирования. ....	79
5.10	Использование доплеровской и поляризационной информации ДМРЛ-С для идентификации метеоявлений .....	80
5.11	Ввод метеопараметров в ДМРЛ-С. ....	82
5.12	Принцип осреднения метео данных при изменении пространственного разрешения в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010». ....	83
6.	<b>Ограничения радиолокационного метода наблюдений .....</b>	<b>85</b>
7.	<b>Регламент производства радиолокационных наблюдений ДМРЛ-С ....</b>	<b>99</b>
8.	<b>Оценка качества р/л наблюдений ДМРЛ-С .....</b>	<b>102</b>
8.1	Методика оценки успешности идентификации ОЯ по данным ДМРЛ-С .....	102
9.	<b>Литература. ....</b>	<b>109</b>

## **1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

Временные методические указания по использованию в синоптической практике информации доплеровских метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С с поляризационной обработкой сигналов, установленных на наблюдательной сети Росгидромета, предназначены для специалистов-метеорологов, занятых обработкой и интерпретацией радиолокационной информации радиолокаторов ДМРЛ-С.

## 2. СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ

АВ	– активные воздействия
АКСОПРИ	– автоматизированный комплекс сбора, обработки и передачи р/л информации, разработанный в ЦАО;
АМРК	– автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс;
АМСГ	– авиационная метеостанция (гражданская);
АМТК	– ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета»;
АП	– Абонентский пункт ДМРЛ-С;
АСКУ	– Автоматическая Система Контроля и Управления;
АСПД	– Автоматизированная Система Передачи Данных;
АЭ	– Аэрологическая станция сети Росгидромета;
ВГИ	– ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»;
ВГО	– высота верхней границы облачности;
ВОИ, АВОИ	– Вторичная обработка информации (автоматизированная);
ВСВ	– Всемирное скоординированное время (UTC, GMT);
ВСС	– ведомственная сеть связи Росгидромета;
ГГО	– ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова»;
ГМЦ РФ	– ФГБУ «Гидрометцентр РФ»;
ДМРЛ-С	– Доплеровский метеорологический радиолокатор 5,3 см диапазона;
ДН, ДНА	– диаграмма направленности антенны;
ЕТР	– Европейская территория России;
ЗИП	– запасное имущество и принадлежности;
ЗКТ	– здание контейнерного типа;
ЛЭМЗ	– ОАО «НПО «Лианозовский электромеханический завод»;
МАК	– Межгосударственный Авиационный Комитет;
МРЛ	– Метеорологический радиолокатор;
МОНО	– Режим импульсной модуляции;
НТЦР ДМРЛ	– Научно-технический центр по созданию и развитию сети ДМРЛ ЦАО;

---

НЧМ	– Режим нелинейной частотной модуляции;
МС	– Метеостанция наблюдательной сети Росгидромета;
МЯ	– Метеорологические явления;
ОЯ	– Опасные метеорологические явления;
ПО	– Программное обеспечение;
ПОИ, АПОИ	– Первичная обработка информации (автоматизированная);
р/л	– радиолокационный;
РПУ	– радиопрозрачное укрытие;
РЭ	– руководство по эксплуатации;
СПДМУ	– система передачи данных, мониторинга и управления ДМРЛ-С;
УВД	– Управление воздушным движением;
УУВК	– Удаленный Управляющий Вычислительный Комплекс ДМРЛ-С;
ЦАО	– ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория»;
ЦГМС	– Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды;
ЦУВК	– Центральный Управляющий Вычислительный Комплекс ДМРЛ-С;
САРПИ	– <i>constant altitude plan position indicator</i> - вторичный р/л продукт-горизонтальное сечение на постоянной высоте;
DSD	– <i>drop size distribution</i> – распределение частиц по размерам;
PRF	– <i>pulse repetition frequency</i> – частота следования импульсов (ЧСИ);
рСАРПИ	– pseudo САРПИ – отличается от САРПИ применением экстраполяции вниз для формирования значений отражаемости в дальней зоне;
VAD	– алгоритм обработки доплеровской информации, строящий зависимость радиальной скорости ветра от азимута ( <i>Velocity Azimuth Display</i> );
VWP	– “ <i>VAD Wind Profile</i> ” – вторичный р/л продукт, дающий график зависимости скорости горизонтального ветра, обработанного по алгоритму VAD, от высоты (ось Y) и времени (ось X);
VCP	– “ <i>Volume Coverage Pattern</i> ” – стратегия радиолокационного сканирования атмосферы;
VIL	– “ <i>Vertically-Integrated Liquid water</i> ” – вертикально интегрированная водность;
HW	– “ <i>Horizontal Wind</i> ” – горизонтальный ветер;

### 3. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАТОРАХ

Метеорологические радиолокаторы (МРЛ) сегодня являются уникальным средством метеорологических наблюдений, которое может обеспечить в режиме реального времени точную информацию о местоположении и характере перемещения зон интенсивных осадков, гроз, града на больших территориях. Современные МРЛ имеют радиус обзора 250-300 км и позволяют осуществлять циклические наблюдения с периодичностью от 3 до 15 минут в круглосуточном автоматизированном режиме, предоставляя данные с высоким пространственным разрешением (0,5-1 км) на площади до 200 тыс.км<sup>2</sup>.

Радиолокационная информация хорошо дополняет данные метеорологических спутников, которые используют для зондирования атмосферы пассивные методы (радиометры), дающие существенно иную выходную метеорологическую информацию. Радиолокационные средства космического зондирования в настоящее время проходят этап научных исследований и пока далеки от внедрения в метеорологическую практику.

Первые метеорологические наблюдения с помощью радиолокаторов были проведены в годы Второй мировой войны. В послевоенный период были заложены теоретические основы метеорологических наблюдений, связавшие измерения параметров радиоэха с характеристиками гидрометеоров. Первые МРЛ, предназначенные для оперативных наблюдений на сети, были однопараметрическими и проводили измерения только одного параметра облаков и осадков – радиолокационной отражаемости  $Z$ . Но даже это дало в руки специалистам-метеорологам мощный инструмент для наблюдений: появилась возможность оценивать местоположение и внутреннюю структуру зон мощной облачности и осадков, их высоту, тенденцию развития, на его основе был развит р/л метод измерения осадков. В СССР большое развитие получил метод идентификации гроз на основе анализа вертикальной структуры поля р/л отражаемости. Были разработаны р/л методы идентификации и предотвращения града. В этот период в МРЛ использовались аналоговые приемные устройства, наблюдения проводились ручным способом, а для отображения информации использовались индикаторы кругового обзора на основе электроннолучевых трубок. К данному поколению радиолокаторов относились советские метеорологические радиолокаторы МРЛ-1, МРЛ-2. Необходимо отметить, что первый из них был первым двухволновым радиолокатором, хотя миллиметровый канал имел низкую эффективность вследствие сильного ослабления радиоволн 0,86 см диапазона в облаках, осадках и газах атмосферы.

Следующий шаг в технике радиолокации был сделан в направлении использования доплеровских методов радиолокационных метеонаблюдений. К измерениям р/л отражаемости  $Z$  добавились – радиальная доплеровская скорость  $V$  и ширина доплеровского спектра. На основе

использования этих трех измеряемых на ДМРЛ параметров в США большое развитие получили методы идентификации таких опасных явлений погоды, связанных с ветром, как смерчи и торнадо. К сожалению, в СССР в этом направлении проводились только исследовательские работы, серийный оперативный доплеровский радиолокатор разработан не был. В результате внедрения в практику радиометеорологических наблюдений доплеровской обработки были разработаны методы:

- идентификации смерчей и торнадо («сигнатуры торнадо» на картах радиальной скорости) и разработаны методы прогноза их перемещения,
- доплеровской фильтрации отражений от местных предметов,
- идентификации опасных сдвигов ветра и турбулентности в тропосфере,

В 70-е годы в нашей стране был разработан двухволновый радиолокатор МРЛ-5 (с длинами волн 3 и 10 см), который до последних лет широко использовался для штормооповещения, обнаружения града двухволновым методом, радиолокационного обеспечения противорабовых работ.

В конце 70-х годов прошлого века для управления радиолокатором и обработки полученной информации стали использоваться ЭВМ, р/л наблюдения стали автоматизированными. К Олимпиаде-80 в московском регионе была запущена первая отечественная радиолокационная сеть из трех радиолокаторов МРЛ-5 (Долгопрудный, Калуга, Рязань) под управлением ЭВМ семейства СМ. Объединение информации трех МРЛ производилось на печатающем устройстве, а информация передавалась в Гидрометцентр СССР. В 1985 г. в Москве были проведены испытания первого комплекса АКСОПРИ, на основе которого была создана радиолокационная сеть «Московское кольцо», до настоящего времени обеспечивающая оперативные наблюдения в московском регионе. Потребителями метеорологической радиолокационной информации, в первую очередь - карт метеоявлений, ВГО, интенсивности и накопленных осадков, являются оперативные службы Росгидромета, авиационные метеорологи и службы УВД, коммунального и транспортного управления и др. Позже были разработаны другие отечественные автоматизированные системы радиолокационных метеонаблюдений – «Метеоячейка», «АСУ-МРЛ», «Мерком», «Антиград».

После внедрения автоматизации радиолокационных метеорологических наблюдений и перехода на использование в конструкции ДМРЛ твердотельных модуляторов, цифровых приемников и когерентной обработки сигналов следующим значительным шагом стало внедрение поляризационных методов.

Первые отечественные исследования на поляризационных МРЛ были проведены в 60-х годах прошлого века, однако только через 50 лет эта технология была внедрена за рубежом в

оперативную практику метеонаблюдений. На начальном этапе работ проводились эксперименты с разными видами поляризации радиоизлучения и типом обработки принимаемой информации (череспериодной одноканальной обработкой). В современных поляризационных МРЛ одновременно излучается два радиосигнала – на вертикальной и горизонтальной поляризациях. Для приема отраженного радиоэха используются два приемных устройства для каждой поляризации. Это, в отличие от неполяризационных МРЛ, обеспечивает непосредственное измерение трех дополнительных радиолокационных параметров облаков и осадков – дифференциальной отражаемости  $Z_{dr}$ , дифференциальной фазы  $F_{dp}$  и коэффициента кросскорреляции  $\rho_{HV}$ . Их обработка в совокупности с остальными тремя параметрами  $Z$ ,  $V$ ,  $W$  обеспечивает решение следующих практических задач:

- повышение точности радиолокационного измерения осадков за счет уменьшения случайных ошибок, обусловленных вариациями распределения капель осадков по размерам и систематической ошибки абсолютной калибровки канала отражаемости,
- коррекция ослабления зондирующего радиоизлучения в осадках,
- идентификация типа гидрометеоров и фазы осадков,
- поляризационная фильтрация сигналов от неметеорологических целей (насекомых, пыльцы и семян, пыли в тропосфере, отражений от «местников» и т.д.).

Объединение метеорологических радиолокаторов в сеть позволяет во многих случаях компенсировать ограничения радиолокационного метода метеонаблюдений: ослабление радиоизлучения в осадках, блокировка радиоизлучения естественными (рельеф, растительность) и искусственными (здания и сооружения) препятствиями в отдельных секторах, азимутальные направления с помехами, снижение разрешающей способности радиолокатора за счет расширения луча и увеличение высоты луча за счет кривизны Земли на больших дальностях (см. раздел 8).

Сегодня метеорологические радиолокационные сети созданы во всех развитых странах: в США сеть NEXRAD объединяет 156 доплеровских поляризационных радиолокаторов S-диапазона WSR-88D, в Европе в рамках международного проекта OPERA объединяются около 180 радиолокаторов различных производителей, работающих по разным программам наблюдений. Часть из них является доплеровскими и поляризационными. В Китае, Японии, Австралии радиолокаторы также объединены в национальные сети. Как правило, для объединения радиолокационной информации используются первичные данные наблюдений.

Основной выходной информацией радиолокационных метеорологических наблюдений является информация о местоположении, внутренней структуре, метеорологических характеристиках (тип метеоявления, интенсивность и фаза выпадающих осадков, ВГО,

доплеровской скорости) полей облачности и осадков, а также наблюдения их перемещений и эволюции, дающая возможность сверхкраткосрочного (до 1-3 часов) прогноза погоды.

Современные МРЛ решают следующие актуальные практически важные задачи:

- проведение идентификации метеоявлений, связанных с облачностью и осадками, информационное обеспечение сверхкраткосрочного прогноза погоды,
- измерение характеристик осадков радиолокационным способом и использование этих данных в гидрологических расчетах и прогнозах,
- обеспечение р/л информацией численных моделей прогноза погоды для их инициализации и верификации.

Традиционно, в радиометеорологии используются три частотных диапазона длин волн: X (3,2 см), С (5,3 см) и S (10 см). Диапазон S используется в условиях интенсивных осадков, т.к. он наименее подвержен ослаблению в осадках, однако, для обеспечения ширины луча  $1^\circ$  приходится использовать антенны диаметром до 9 м. Диапазон X почти не используется для оперативных наблюдений, так как радиоизлучение в этом диапазоне испытывает сильное (примерно в 100 раз по сравнению с S-диапазоном) затухание в осадках. Достоинством диапазона X является возможность использования относительно малых антенн (~2 м) для формирования луча шириной  $1^\circ$ . В нашей стране диапазон X традиционно широко использовался в метеорологических радиолокаторах серии МРЛ: МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. Зеркало антенны МРЛ-5 диаметром 4,5 м в X диапазоне обеспечивает ширину луча  $0,5^\circ$ , что особенно эффективно при наблюдении низкой облачности в зимних условиях. Частотный диапазон С является разумным компромиссом в радиометеорологии между размерами антенны и ослаблением в осадках. В радиолокаторе ДМРЛ-С антенна диаметром 4,3 м обеспечивает формирование луча шириной  $0,95^\circ$ .

Дальность радиолокационных наблюдений сегодня определяется не столько возможностями техники (метеопотенциалы однопольных радиолокаторов различных производителей примерно равны), сколько решаемыми задачами и естественными ограничениями р/л метода наблюдений. Радиолокационный луч, выпущенный под нулевым углом места, из-за кривизны Земли на дальностях свыше 100 км поднимается над поверхностью Земли на более чем 600 м. На рабочих дальностях более 250 км МРЛ обеспечивает обнаружение вершечек мощных конвективных облаков, что важно для раннего штормоповещения.

Обзорные метеолокаторы (например, сеть NEXRAD в США) имеют луч шириной  $1^\circ$ , и проводят наблюдения на большой территории (до 460 км по дальности) в цикле наблюдений длительностью от 4,5 до 10 минут в зависимости от выбранного режима, который выбирает дежурный специалист NWS Regional Office (аналог российского ЦГМС) исходя из текущей обстановки. Обзорные метеорологические радиолокаторы в США, Индии, странах Юго-

Восточной Азии проводят р/л наблюдения на океанском побережье с целью раннего обнаружения тропических циклонов.

Специализированные доплеровские радиолокаторы TDWR С-диапазона (США, Гонконг, Китай) устанавливаются в аэропортах для обнаружения опасных микропорывов и сдвигов ветра на малых высотах и имеют более узкий луч (ширина луча по уровню половинной мощности  $0.5^\circ$ ) и радиальное разрешение  $\sim 150$  м. Высокое пространственное разрешение (по углу) обеспечивается только до удаления  $\sim 90$  км от позиции МРЛ из-за естественного уширения и подъема луча над поверхностью земли с расстоянием. Кроме того, радиоизлучение на длине волны 5 см (С-диапазон) испытывает заметное ослабление в осадках по сравнению с 10-см диапазоном у радиолокаторов NEXRAD. В отличие от обзорных, радиолокаторы TDWR используют более сложную модель сканирования: непрерывное круговое под низким углом места антенны, а в случае обнаружения радиоэха выше порога – быстрое секторное сканирование под 1-2 углами места для обнаружения зон порывов и сдвигов [ссылка 4 к таблице на стр.18].

В передвижных метеорологических радиолокаторах, где ограничены размеры антенны (авиационных бортовых, автомобильных), для зондирования используют длину волны 3,2 см.

Таким образом, используемые в разных странах метеорологические радиолокаторы различаются не только используемой длиной волны. МРЛ производят наблюдения в разных режимах с разной длительностью циклов. Для метеорологической обработки данных наблюдений используется различное программное обеспечение, отличающееся выходными продуктами. Также отличаются выбор углов и программы сканирования облачной атмосферы.

## 4. ДОПЛЕРОВСКИЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ РАДИОЛОКАТОР ДМРЛ-С

### 4.1 Назначение радиолокатора ДМРЛ-С.

Доплеровский поляризационный метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С предназначен для обеспечения метеорологической информацией об облачности, осадках и связанных с ними явлениях погоды прогностических органов Росгидромета, АМЦ, АМСГ и Центров УВД гражданской авиации, а также других потребителей радиолокационной метеорологической информации [1].

Радиолокатор ДМРЛ-С разработан по техническому заданию Росгидромета в ОАО «Научно-производственное объединение «Лианозовский электромеханический завод» (ОАО «НПО «ЛЭМЗ»). Специально для ДМРЛ-С специалистами Росгидромета было разработано программное обеспечение вторичной обработки радиолокационной информации (ПО ВОИ) «ГИМЕТ-2010», обеспечивающее получение метеорологических радиолокационных продуктов. В 2010 г. первый (пилотный) образец радиолокатора ДМРЛ-С был установлен на позиции «Валдай» и успешно выдержал Государственные испытания. В 2011 г. на позиции «Валдай» была проведена опытная эксплуатация ДМРЛ-С, и начато его серийное производство. В 2013 г. на метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С и ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» был получен сертификат типа Межгосударственного авиационного комитета [14,15], который удостоверяет, что ДМРЛ-С соответствует требованиям МАК, а оборудование данного типа может использоваться для нужд метеообеспечения авиации.

Серийные образцы ДМРЛ-С устанавливаются Росгидрометом на территории РФ в рамках выполнения двух государственных программ с целью создания единой системы радиолокационных метеорологических наблюдений Росгидромета. Всего до 2020 г. запланирована установка около 140 радиолокаторов ДМРЛ-С.

Радиолокаторы ДМРЛ-С предназначены для проведения круглосуточных наблюдений в составе единой радиолокационной сети Росгидромета по единому регламенту и с использованием единого программного обеспечения. Для сбора данных наблюдений, контроля и управления все радиолокаторы ДМРЛ-С подключаются к скоростной сети передачи данных Росгидромета.

## 4.2 Технические характеристики радиолокатора ДМРЛ-С.

Технические характеристики радиолокатора ДМРЛ-С приведены в [1, кн.1, табл.1]

и табл.4.2.1:

Таблица 4.2.1

Наименование параметра		Значение параметра
1	Рабочий диапазон частот, МГц	от 5600 до 5650
2	Зона обзора	
	Инструментальная дальность обнаружения, км, не менее	250
	Максимальная высота обнаружения, км, не менее	20
	Угол места, град	от минус 2 до + 91
3	Антенна	
	Тип	зеркальная параболическая
	Ширина ДН в двух плоскостях по уровню 3 дБ на каждой поляризации, град	1,0
	Коэффициент усиления, дБ, не менее	45
	Боковые лепестки, дБ, не более	минус 29
	Поляризация	линейная; гориз.+вертик.
4	Передатчик	
	Тип	Клистронный
	Импульсная мощность, кВт, не менее	15
	Импульсная мощность после сжатия 60:1, кВт, не менее	900
	Длительность импульса, мкс	1,0; 25, 60 мкс
	Частота повторения импульсов, Гц	300-1500
	Тип модуляции	МОНО/НЧМ
5	Приемник	
	Коэффициент шума, ед, не более	2,2
	Промежуточная частота, МГц	60
	Стабильность зондирующего сигнала, дБ, не менее	50
	Линейный динамический диапазон, дБ, не менее	100
6	Наличие АСКУ	Имеется
7	Надежность	
	Наработка на отказ, ч, не менее	3000
	Среднее время восстановления, ч, не более	0,5
8	Обработка	
	АЦП, бит	16
	Опорная частота, МГц	80
	Наличие АПОИ и АВОИ	АПОИ+АВОИ
9	Энергопитание	
	Напряжение, В	380 <sup>+10%</sup> <sub>-15%</sub> , 3 фазы
	Частота, Гц	50±2%
	Мощность, потребляемая аппаратурой с учетом СОТР, кВт, не более	10

Метеорологический поляризационный доплеровский радиолокатор ДМРЛ-С – первый в мире метеорологический радиолокатор со «сложным» (*нелинейно частотно-модулированным*) (НЧМ) сигналом, предназначенный для проведения оперативных сетевых наблюдений [1, 16]. Использование для зондирования «сложного широкого» НЧМ-импульса позволило сократить импульсную мощность до 15 кВт и за счет этого исключить систему наддува тракта и высоковольтные блоки с напряжениями выше 12 кВ, что повысило эксплуатационные характеристики радиолокатора. Высокое пространственное разрешение обеспечивается в ДМРЛ-С за счет эффективного сжатия на этапе цифровой обработки принятых эхо-сигналов.

Характеристики современных метеорологических радиолокаторов можно сопоставить с помощью табл.4.2.2 на стр.17-18, в которой приведены для сравнения как характеристики отечественных радиолокаторов ДМРЛ-С и семейства МРЛ, так и зарубежных аналогов в С-диапазоне: WRM200 фирмы Vaisala (Финляндия), Meteor 500С фирмы Gematronik (Германия), DWSR 2501С фирмы EEC (США). Для сопоставления в таблицу добавлены характеристики радиолокатора WSR-88D, являющегося основой радарной сети США.

К особенностям ДМРЛ-С следует также отнести наличие двух приемных каналов для каждой из линейных поляризаций, в каждом из которых используется по два приемных устройства (ПУ) для расширения динамического диапазона. Использование для зондирования НЧМ-сигналов обусловило еще одно усложнение конструкции ДМРЛ-С: для получения информации в ближней зоне от ДМРЛ-С используется «МОНО» сигнал с длительностью импульса 1 мкс (протяженность «ближней» зоны – 12 км – в режиме «Отражаемость», 6 км – в режиме «Скорость»), в «дальней» зоне для зондирования используется НЧМ сигнал с длительностью импульса 60 мкс (режим «Отражаемость»), и 25 мкс (режим «Скорость»). Сшивка метеорологических характеристик радиоза проводится в ПОИ ДМРЛ-С.

В отличие от размещения МРЛ предыдущих поколений, приемо-передающая антенна ДМРЛ-С и аппаратный контейнер устанавливаются, как правило, на специальной башне высотой 30 м, обеспечивающей хороший радиолокационный обзор за счет преобладания высоты башни над объектами (деревья, строения), расположенными в ближней зоне.

Наименование параметра	МРЛ-2, [1,2]	МРЛ-5, [1,2,3]		ДМРЛ-С	NEXRAD WSR-88D (США), [4,5]	Vaisala WRM200 (Финляндия) [6,7]	Genatronik Meteor 500C (Германия) [8]	EEC DWSR 2501C (США), [9]
		1 канал	2 канал					
1 Рабочий диапазон частот, МГц	9595	9595	2950	5600-5650	2700-3000	5500-5700	5500-5700	5200-5700
2 <b>Антенна</b> зеркальная параболич.								
Угол места, град	от минус 1 до + 98	от минус 1 до + 98	от минус 1 до + 98	от минус 2 до + 91	от минус 1 до + 60	от минус 2 до + 108	от минус 2 до + 182	от минус 2 до + 90
Диаметр, м	3,0	1,4/4,5	4,5	4,5	8,54	4,5	4,2	4,2
Ширина ДН в двух плоскостях по уровню 3 дБ на каждой поляризации, град	0,74	1,5/0,5	1,5	1,0	0,95	0,95	1,0	0,95
Коэффициент усиления, дБ, не менее	46	40/49	40	45	45,5	45	45	45
Боковые лепестки, минус дБ, не более	?	23	25	29	27	28	28	?
Скорость вращения, град/сек	36	0-36	0-36	40	30	40	1,2-36	60
Точность установки, град	0,5 <sup>азимут</sup> /0,25 <sup>угл.мест</sup>	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	0,1	0,05
Поляризация линейная: Н - горизонтальная, V - вертикальная.	V	Н	V	Н+V	Н+V	Н+V	Н+V	Н+V
3 <b>Передачик</b>								
Тип (М-Магнетрон, К-клистрон)	М	М	М	К	К	М	М	М
Импульсная мощность/ (эффективная), кВт	210	250	800	15/900	750	250	250	250
Длительность импульса, мкс	1; 2	1; 2	1; 2	1; 25, 60	1,6; 4,5-5,0	0,5; 0,8; 1; 2	0,5; 0,8; 1; 2	0,2-2,0
Частота повторения импульсов, Гц	300; 600	250; 500	250; 500	300-2000	300-1300	200-2400	200-2400	200-2400
Тип модуляции	МОНО	МОНО	МОНО	МОНО+ НЧМ	МОНО	МОНО	МОНО	МОНО

4	Наименование параметра	МРЛ-2, [1,2]	МРЛ-5, [1,2,3]		ДМРЛ-С	NEXRAD WSR-88D (США), [4,5]	Vaisala WRM200 (Финляндия) [6,7]	Genatronik Meteor 500C (Германия) [8]	EEC DWSR 2501C (США), [9]
			1 канал	2 канал					
	<b>Приемник</b>								
	Чувствительность приемника, минус дБ/Вт, не менее	132	134	135	142	143	?	142	143
	Коэффициент шума, дБ, не более	не нормирован	6,9	6,0	2,5	4,6	2	<2	<3
	Промежуточная частота, МГц	60	30	30	60	57,6	442/60	40	30
	Ширина полосы, МГц	1,5	1	1	20	0,63			0,75
	Лин.динамический диапазон, дБ	70	70	70	>100	90	>99	>99	105
	Подавление местников, минус дБ	-	-	-	>55	56	55	45	>46
5	<b>Обработка</b>	ручная			ГИМЕТ-2010	ORDA	IRIS	RAINBOW	EDGE
	АЦП, бит	-	-	-	16		16	16	16
	Опорная частота, МГц	-	-	-	80		100	100	100
	Однозначно определяемая доллеровская скорость в режиме «скорость», м/с, не менее	-	-	-	±62,5	±42	?	±63,8	±128

Ссылки в таблице 4.2.2:

1. РД 52.04.320-91.
2. Техническое описание МРЛ-2 (ЕУ 230 014 ТО).
3. Формуляр МРЛ-5 (1 230 032 ФО).
4. <http://www.roc.noaa.gov/WSR88D/Engineering/NEXRADTechInfo.aspx>
5. <http://www.radartutorial.eu/19.kartei/karte711.en.html>
6. <http://www.vaisala.com/Vaisala Documents/Brochures and Datasheets/WEA-MET-WRM200-Datasheet-B210698EN-E-LOW.pdf>
7. Installation manual Vaisala Weather Radar WRM200 (M210864EN-B).
8. <http://www.inmh.ro/uploads/meteor.pdf>
9. <http://www.eecradar.com/pdf/EEC-C-Band-Specs.pdf>

### 4.3 Состав радиолокатора ДМРЛ-С.

В состав радиолокатора ДМРЛ-С входят [1]:

- антенная система;
- высокочастотный приемо-передающий тракт;
- клистронный передатчик;
- приемная система;
- центральный управляющий вычислительный комплекс (ЦУВК).

Перечисленная аппаратура устанавливается на башне и в аппаратном контейнере ДМРЛ-С. На позиции размещается также оборудование систем электроснабжения, охранной и пожарной сигнализации. На отдельных позициях предусмотрен дизель-генератор аварийного электроснабжения.

К достоинствам выбранной схемы размещения оборудования следует отнести относительно короткий волноводный тракт ДМРЛ-С, обеспечивающий минимальные потери. Снизу к контейнеру подводятся кабели электропитания и связи.

Метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С предназначен для производства наблюдений в автоматическом режиме и не требует постоянного присутствия на ДМРЛ-С квалифицированного обслуживающего персонала.

Контроль аппаратуры ДМРЛ-С, управление радиолокатором и вторичная обработка р/л информации проводится на удаленном управляющем вычислительном комплексе (УУВК), который может размещаться на значительном удалении от башни ДМРЛ. В настоящее время используется две схемы размещения УУВК: в ЗКТ на радиолокационной позиции у подножия башни и на значительном удалении (до нескольких десятков км) в рабочем помещении дежурных служб. Предполагается, что контроль за проведением радиолокационных наблюдений с помощью УУВК проводят специалисты оперативных дежурных служб Росгидромета – АМСГ, АЭ, ЦГМС.

На УУВК, представляющем собой персональный компьютер, установлено следующее программное обеспечение:

- система контроля и управления АСКУ ДМРЛ-С;
- ПО ВОИ ДМРЛ-С «ГИМЕТ-2010», осуществляющее метеорологическую обработку данных наблюдений, расчет и отображение вторичных продуктов и передачу

информации по каналам связи в центр сбора в НТЦР ДМРЛ в ФГБУ «ЦАО» и потребителям на АП и в сеть АСПД.

На УУВК в программе UVK1, входящей в состав ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», организованы отображение полного набора радиолокационных продуктов ДМРЛ-С, включая архив наблюдений за 30 дней.

Для обеспечения передачи данных с УУВК ДМРЛ-С используются различные комплекты связного оборудования, в состав которых входит сетевое и связное оборудование (маршрутизатор, коммутатор, терминал VSat) и аппаратно-программный комплекс «Модуль АСПД» на базе ПО UniMAS.

Для локальных потребителей информации ДМРЛ-С предусмотрена передача вторичных р/л продуктов на выносные Абонентские Пункты (АП) по локальной сети. АП представляют собой персональный компьютер под управлением ОС MS Windows с установленным ПО UVKAbon из состава «ГИМЕТ-2010». На АП отображается сокращенный набор р/л продуктов в одном из пространственных разрешений 1x1, 2x2 или 4x4 км. Горизонтальное разрешение продуктов на АП выбирается исходя из характеристик каналов связи между УУВК и АП. На каждом УУВК предусмотрена выдача информации на 9 АП, по три АП с разрешениями 1, 2 и 4 км.

#### 4.4 Функционирование радиолокатора ДМРЛ-С в составе наблюдательной сети РОСГИДРОМЕТА.

Радиолокаторы ДМРЛ-С устанавливаются в составе единой радиолокационной сети, являющейся составной частью наземного сегмента Государственной наблюдательной сети Росгидромета.

До 2020 г. по планам развертывания ДМРЛ-С должно быть установлено около 140 радиолокационных позиций в рамках выполнения двух программ –

- ФЦП «Модернизация Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации (2009-2020 годы)» – запланирована установка 100 радиолокаторов ДМРЛ-С,
- Программа «Геофизика» – запланирована установка 40 радиолокаторов ДМРЛ-С.

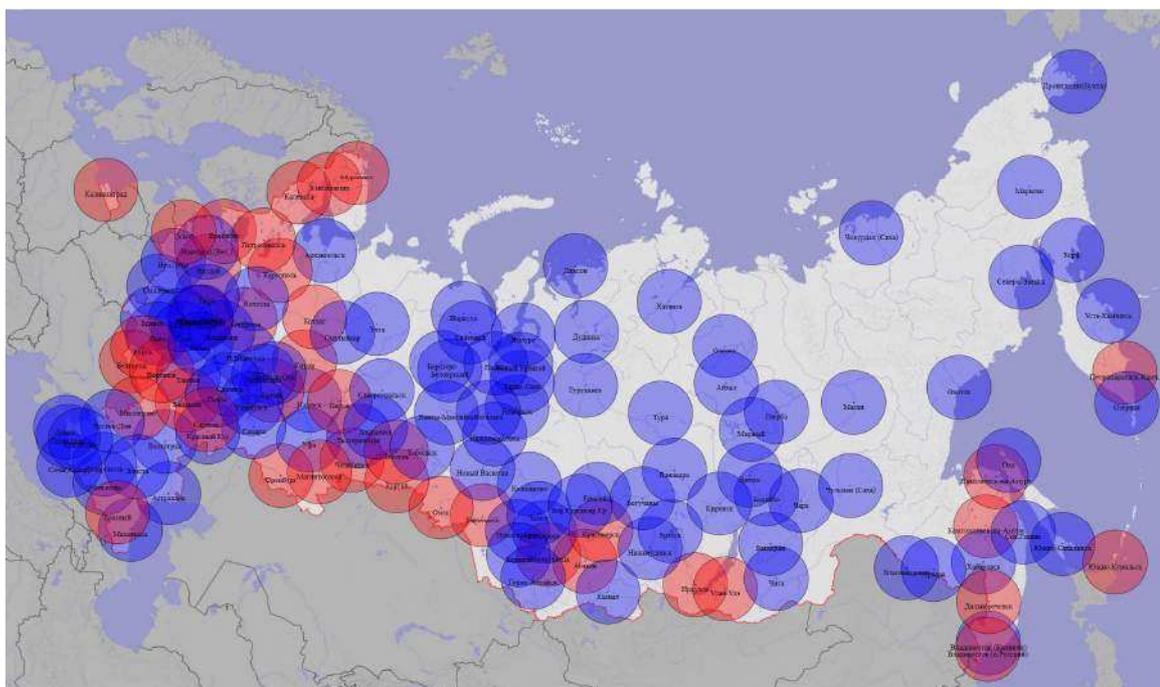


Рисунок 4.4.1. Запланированный состав сети ДМРЛ-С Росгидромета на конец 2020 г. (по состоянию на 01.06.2013 г.) Красным цветом обозначены позиции по программе «Геофизика», синим – по ФЦП «ОрВД». Радиус зоны обзора – 250 км.

Выбор мест установки ДМРЛ-С на территории РФ определяется комплексом критериев:

- создание непрерывного радиолокационного метеорологического поля,
- размещение ДМРЛ-С на удалении до 50 км от крупных аэропортов и аэродромов,
- размещение ДМРЛ-С на территориях с наибольшей плотностью населения.

Порядок выбора мест для позиций ДМРЛ-С определяется Приказом Росгидромета № 257 [20].

В состав сети ДМРЛ кроме 140 радиолокаторов входит система передачи данных, мониторинга и управления ДМРЛ-С (СПДМУ) и Научно-технический центр по созданию и развитию сети ДМРЛ (НТЦР ДМРЛ) в ФГБУ «ЦАО».

В обязанности инженера ДМРЛ-С на позиции входит:

- регулярный контроль работоспособности оборудования ДМРЛ-С,
- ликвидация возникающих аварий технических средств ДМРЛ-С, при невозможности собственными силами – подготовка оперативных сообщений в НТЦР ДМРЛ и в службу технической поддержки завода–изготовителя ДМРЛ-С,
- контроль технических параметров и проведение регулярного технического обслуживания оборудования ДМРЛ-С в соответствии с РЭ [1].

В функции НТЦР ДМРЛ входит:

- научно-методическое руководство сетью ДМРЛ-С, взаимодействие со специалистами на позициях,
- сбор и обработка первичной информации (объемных файлов) со всех ДМРЛ, подготовка и выдача потребителям р/л продуктов, в том числе – объединенных карт,
- архивация собранной информации сети ДМРЛ-С,
- управление сетью ДМРЛ-С, установка параметров р/л наблюдений, подготовка обновлений ПО и установка их на сети ДМРЛ-С,
- удаленный мониторинг технического состояния ДМРЛ-С, взаимодействие с инженерами ДМРЛ-С на позициях и производителем ДМРЛ-С в рамках гарантийного и пост-гарантийного обслуживания,
- контроль качества р/л наблюдений, взаимодействие с метеорологами на позициях ДМРЛ-С.

За обеспечение непрерывной работоспособности каналов связи СПДМУ (включая контроль и управление каналами, сетевым и связным оборудованием), предназначенных для передачи с позиций ДМРЛ-С первичных данных (объемных файлов) в НТЦР ДМРЛ,

вторичных р/л продуктов в коде BUFR по сети АСПД, а также - для обеспечения удаленного доступа из НТЦР ДМРЛ на позиции ДМРЛ-С (для мониторинга аппаратно-программных средств, управления радиолокатором ДМРЛ-С и передачи специализированной метеоинформации на УУВК) – отвечает ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета».

Для успешной идентификации опасных метеоявлений, включая грозы, шквалы и пр., необходимо передавать на ДМРЛ-С специализированную метеоинформацию: приземную температуру, высоты изотерм 0°C и -22°C, высоту тропопаузы. Первоначально в составе ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» требовалось проводить ввод этой информации вручную по данным ближайшего пункта аэрологического зондирования. В настоящее время ввод указанной информации производится каждый час удаленно из НТЦР ДМРЛ в автоматическом режиме по данным аэрологического зондирования, поступающим из ГМЦ РФ.

Контроль качества радиолокационных наблюдений на ДМРЛ-С осуществляется централизованно в НТЦР ДМРЛ путем сопоставления радиолокационной информации с данными метеостанций, аэрологического зондирования, систем грозопеленгаторов.

#### **4.5 Режим радиолокационных наблюдений ДМРЛ-С.**

Радиолокационные наблюдения на сети ДМРЛ-С проводятся синхронно по единому регламенту на всех радиолокаторах сети ДМРЛ-С Росгидромета (см. разд.7). В каждом цикле р/л наблюдений длительностью 10 минут на радиолокаторе ДМРЛ-С проводится два обзора, различающихся режимами наблюдений – «Отражаемость» и «Скорость», каждый из которых обеспечивает получение первичного набора данных наблюдений – объемного файла. Первому режиму соответствует расширение объемного файла “Inr”, второму – “Inv”.

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.

В каждом обзоре радиолокатор последовательно проводит азимутальные круговые сканирования атмосферы под несколькими углами места антенны. В результате, в каждом обзоре радиолокационная 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 (конич.сечение).

Дальнейшая компьютерная обработка позволяет построить по набору первичных радиолокационных данных трехмерную модель облачной атмосферы в зоне

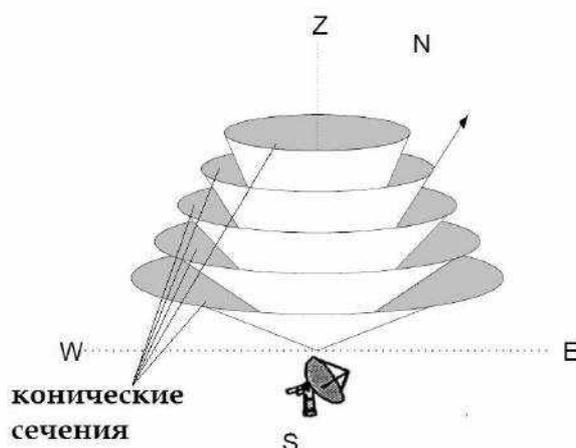


Рисунок 4.5.1 Схема сканирования ДМРЛ-С.

радиолокационного обзора: до 250 км по дальности от ДМРЛ и до 20 км по высоте от поверхности Земли. Чем чаще по углу места будет проведено сканирование (чем больше конических сечений), тем подробнее (и точнее) будет построенная модель.

В ДМРЛ-С в настоящее время используется комбинированная стратегия сканирования (CVP) в диапазоне углов места антенны от  $0,1$  до  $86^\circ$ : сначала, на низких углах места, наблюдения проводятся с низкой частотой повторения PRF на дальности до 250 км, после чего частота импульсов повышается и дальнейшее сканирование до  $86^\circ$  проводится с высокой PRF. Затем, для получения доплеровских продуктов с высокой частотой повторения (и высоким качеством доплеровских продуктов), проводится повторный проход нижних углов места. Рассмотрим процедуру сканирования ДМРЛ-С подробнее.

Сканирование пространства начинается с нижнего угла места (скорость вращения

антенны 36-38 градусов в секунду). В этом режиме основным измеряемым параметром является р/л отражаемость  $Z$ . Для предварительной оценки скорости  $V$  и ширины спектра  $W$  в этом режиме используются периоды повторения 2,6 и 3,0 миллисекунды. Это позволяет получить однозначные скорости в диапазоне  $v_{\max} = \pm \frac{\lambda}{4 \cdot |T_{\text{повт}_1} - T_{\text{повт}_2}|} = \pm 33 \text{ м/с}$  [2, стр.169].

На выходе первичной обработки формируются продукты от 0,5 до 250 км по дальности с дискретностью 500 м только для файлов с расширением «Inrg». Дискретность данных по азимуту во всех режимах составляет 1 градус.

Углы места, которые последовательно проходит антенна в данном режиме: 0,1 ; 0,3 ; 0,7 ; 1,1 ; 1,5 ; 1,9 ; 2,3 ; 2,8 ; 3,4 ; 4,0 ; 5,0 ; 6,0 ; 7,5 градусов.

Далее с 14-го угла места изменяются периоды повторения (вместо 2,6 и 3,0 мс устанавливаются периоды 1,0 и 1,2 мс), а также замедляется скорость вращения до 24-26 градусов в секунду.

Периоды 1,0 и 1,2 мс позволяют более точно оценить скорости и ширину спектра метеообъектов, а также обеспечить восстановление радиальных доплеровских скоростей в диапазоне от минус 66 до плюс 66 м/с.

При этом на выходе формируются два объемных файла: с расширением «Inrg» - для режима «Отражаемость» и «Inrv» - для режима «Скорость» (от 0,5 до 125 км по дальности с дискретностью 250 м).

Углы места, которые последовательно проходит антенна в данном режиме: 9,0 ; 11,2 ; 14,0 ; 17,5 градусов.

Далее, с 18-го угла места (22 градуса), однозначная дальность (для высот ниже 20 км) составляет уже менее 60 км, что позволяет уменьшить периоды повторения до 0,56 и 0,76 мс, а также увеличить скорость вращения по азимуту до 38-40 градусов в секунду. Данные наблюдений в этом интервале углов используются в обоих режимах.

Углы места, которые последовательно проходит антенна в данном режиме: 22,0 ; 28,0 ; 35,5 ; 45,5 ; 58,0 ; 72,0 ; 86,0 градусов.

После этого для завершения формирования данных для файлов \*.Inrv последовательно сканируются углы места 7,5 ; 6,0 ; 4,8 ; 3,8 ; 2,9 ; 2,2 ; 1,6 ; 1,1 ; 0,7 ; 0,3 ; 0,1 градусов с характеристиками второго режима (24-26 градусов для скорости вращения и 1,0 и 1,2 мс для периодов повторения). Прохождение углов места «сверху вниз» в данном режиме

позволяет уменьшить временное расхождение формируемых первичных данных между углами места 9,0 и 7,5 градусов.

В результате комбинированного сканирования на выходе ПОИ ДМРЛ-С формируются два объемных файла: с расширением «Inr» для режима «Отражаемость», и с расширением «Inv» для режима «Скорость».

Таким образом, при стандартной настройке режимов сканирования, в объемных файлах типа "Отражаемость" (расширение файлов «Inr») содержатся данные с 24 углов места (СVP 24) в диапазоне дальностей 0,5÷250 км и радиальным дискретом 500 м, а в объемных файлах типа «Скорость» (расширение файлов «Inv») содержатся данные с 22 углов места (СVP 22) в диапазоне дальностей 0,5÷125 км и радиальным дискретом 250 м.

#### **4.6 Программное обеспечение вторичной обработки информации ДМРЛ-С «ГИМЕТ-2010».**

Программное обеспечение вторичной обработки информации «ГИМЕТ-2010» специально разработано для метеорологической обработки данных радиолокатора ДМРЛ-С по техническому заданию Росгидромета.

В 2010 г. ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» прошло Государственные Приемочные Испытания в составе опытного образца ДМРЛ-С на позиции «Валдай».

В 2011 г. программное обеспечение ВОИ «ГИМЕТ-2010» в составе радиолокатора ДМРЛ-С прошло опытную эксплуатацию на позиции «Валдай», по результатам которой ПО ВОИ было доработано и было утверждено создание версии 01.

В 2013 г. Межгосударственный авиационный комитет (МАК) выдал ОАО «НПО «ЛЭМЗ» сертификат типа №576 от 19.02.2013г. [15] на доплеровский метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С ЦИВР.462414.002 и программное обеспечение «ГИМЕТ-2010» 623.02572456.01001-01, который удостоверяет, что метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С с ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» соответствует сертификационным требованиям [14], предъявляемым к метеорологическим доплеровским радиолокаторам, утвержденным МАК в 2010 г., и может использоваться для метеорологического обслуживания авиации.

Передача метеорологической информации ДМРЛ-С потребителям осуществляется по протоколу FTP WMO через сеть АСПД или другим цифровым каналам связи в коде FM-94

BUFR в соответствии с Приказом Росгидромета №95 от 2004 г. Использование сети АСПД для передачи радиолокационной метеорологической информации для обеспечения метеорологического обслуживания авиации предусмотрено сертификационными требованиями МАК к метеорологическим радиолокаторам.

ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» представляет собой комплекс программ, устанавливаемых на удаленном управляющем вычислительном комплексе (УУВК) и на абонентских пунктах (АП) радиолокатора ДМРЛ-С.

В состав ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» входят следующие программы:

- *UVKClient*,
- *UVK1*,
- *UVK\_Generator*,
- *UVKAbon*,
- *MetFtpClient*,
- *FCopy*.

Программное обеспечение вторичной обработки устанавливается на удаленный управляющий вычислительный комплекс – УУВК и абонентский пункт – АП радиолокатора ДМРЛ-С. Программы, предназначенные для отображения р/л информации устанавливаются –

UVK1 – на УУВК,

UVKAbon – на АП.

Программа *UVK\_Generator* предназначена для обработки радиолокационных данных и построения полного набора вторичных продуктов в выходных форматах ГИМЕТ и BUFR.

Остальные программы предназначены для передачи данных между ЦУВК и УУВК, а также с УУВК на АП, в сеть АСПД и ВСС.

УУВК ДМРЛ-С предназначен для контроля, управления радиолокатором ДМРЛ-С, а также для проведения вторичной обработки радиолокационных данных, включая построение вторичных радиолокационных продуктов, архивирование первичных данных наблюдений, отображение полного набора радиолокационных продуктов на операторском терминале,

передачу радиолокационной информации локальным потребителям на абонентские пункты ДМРЛ-С (АП) и в сеть АСПД Росгидромета. УУВК представляет собой IBM PC-совместимый компьютер на платформе x86-64 под управлением операционной системы Linux семейства Ubuntu/Kubuntu. Он устанавливается либо на радиолокационной позиции, либо удаленно, и связывается с ЦУВК– центральным управляющим вычислительным комплексом, устанавливаемым в аппаратном контейнере ДМРЛ-С, скоростным каналом связи, обеспечивающим передачу данных по протоколу Ethernet на скорости не ниже 512 Кбит/с.

Каждый цикл наблюдений УУВК осуществляет передачу первичных данных (объемных файлов) по скоростному каналу в НТЦР ДМРЛ-С – методический центр сети ДМРЛ-С Росгидромета, расположенный в ФГБУ «ЦАО». Кроме того, через УУВК по сети ВСС осуществляется удаленный мониторинг технического состояния и управление режимами работы радиолокатора из НТЦР ДМРЛ-С .

Абонентский пункт (АП) ДМРЛ-С представляет собой выносное рабочее место на базе IBM PC-совместимого компьютера под управлением операционной системы MS Windows (версий XP или 7), предназначенное для отображения вторичных радиолокационных продуктов радиолокатора ДМРЛ-С, передаваемых с УУВК по локальной сети или цифровым каналам связи (сеть АСПД) на скорости не ниже 128 Кбит/с.

Программное обеспечение «ГИМЕТ-2010» написано с использованием кроссплатформенного инструментария Qt, предназначенного для разработки ПО на языке программирования C++ (произносится «кьют»).

Назначение программ, описание алгоритмов обработки данных, интерфейс программ, начальное конфигурирование подробно изложены в руководствах [2-7].

Далее рассматривается состав вторичных (метеорологических) продуктов, получаемых с помощью ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010». Для отображения продуктов используются программы UVK1 (установлена на УУВК) и UVKAbon (установлена на АП).

#### 4.7 Вторичные радиолокационные продукты ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010».

Состав вторичных (метеорологических) радиолокационных продуктов метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С полностью соответствует техническому заданию на радиолокатор, а также требованиям сертификационного базиса МАК на радиолокатор, предназначенный для метеорологического обеспечения авиации.

Радиолокатор ДМРЛ-С в течение каждого 10-мин цикла наблюдений обеспечивает получение информации в двух режимах: «Отражаемость» - объемный файл первичных данных с расширением Inr и «Скорость» - объемный файл с расширением Inv.

Каждое р/л наблюдение представляет собой круговое сканирование атмосферы под несколькими фиксированными углами места антенны, начиная от  $\sim 0,1^\circ$  до  $\sim 85^\circ$ . В результате каждого наблюдения получается набор 24-22 конических сечений, содержащих набор данных из 360 азимутальных направлений, каждое из которых содержит информацию по дальности до 250 км с разрешением 500 м для режима «Отражаемость» и до 125 км и разрешением по радиусу 250 м – для режима «Скорость».

Радиолокатор ДМРЛ-С обеспечивает одновременное измерение в каждом дискрете дальности следующих радиолокационных характеристик облачности и осадков –

- 1) радиолокационная отражаемость на горизонтальной поляризации  $Z_H$ ;
- 2) радиолокационная отражаемость на вертикальной поляризации  $Z_V$ ;
- 3) радиальная скорость  $V$ ;
- 4) ширина доплеровского спектра радиальных скоростей  $W$ ;
- 5) дифференциальная фаза  $F_{dp}$ ;
- 6) коэффициент взаимной корреляции  $\rho_{HV}$ ;

Радиолокационная отражаемость, измеренная в канале вертикальной поляризации  $Z_V$  используется только для расчета  $Z_{dr}$ , во всех остальных случаях под отражаемостью  $Z$  понимается  $Z_H$ .

Все перечисленные выше р/л характеристики могут отображаться в виде горизонтальных сечений (rCAPPI), наклонных сечений (PPI) или вертикальных сечений по любому азимуту в зоне обзора. Карты ПО ВОИ "ГИМЕТ-2010" горизонтальных сечений в декартовых координатах имеют разрешение 1x1, 2x2 или 4x4 км.

В автоматическом режиме строятся р/л карты на высотах от 1 до 15 км над уровнем моря через 1 км, однако можно построить сечение перечисленных параметров на любой высоте до 20 км. Кроме того, в автоматическом режиме строятся карты на трех специальных высотных уровнях:

- 1- высоте измерения осадков (600 м над ДМРЛ-С),
- 2- высоте нулевой изотермы,
- 3- высоте изотермы  $-22^{\circ}\text{C}$ .

Самостоятельного метеорологического значения ширина доплеровского спектра  $W$ , дифференциальная отражаемость  $Zdr$ ; коэффициент кросскорреляции  $\rho_{HV}$ , дифференциальная фаза  $Fdr$  не имеют. В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» они используются при расчете метеорологических характеристик (карты метеоявлений, карты распределения фазы гидрометеоров), для уточнения интенсивности осадков. Также эти параметры используются в готовящемся в настоящее время новом радиолокационном продукте «фаза гидрометеоров».

На основе содержащихся в объемных файлах первичных данных в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» строится трехмерная модель параметров облачности, математическая обработка которой обеспечивает построение следующих радиолокационных карт и метеорологических характеристик:

- 7) максимальной отражаемости в слое выше 1 км,
- 8)  $H_{VGO}$ -высоты верхней границы облачности;
- 9) метеорологических явлений;
- 10) опасных метеорологических явлений;
- 11) интенсивности осадков;
- 12) накопленных сумм осадков;
- 13) интегральной водности облаков,  $VIL$ ;
- 14)  $H_{NGO}$  – высоты нижней границы облачности;
- 15) вертикального и горизонтального сдвигов ветра;
- 16) турбулентности;
- 17) видимости в осадках;
- 18) контуров опасных явлений;
- 19) направления и скорости перемещения облачных образований;
- 20) вертикального профиля ветра  $VW$ ;
- 21) наноски векторов горизонтального ветра  $HW$  на любую р/л карту.

Описание расчетных алгоритмов для продуктов пп. 7-21 приведено в руководстве «Описание программы» [3]. Далее приведены комментарии по отдельным вторичным продуктам.

### Радиолокационная отражаемость ( $Z$ )

Радиолокатор не является прямым измерительным прибором, измеряющим метеорологические характеристики облачных полей – высоту верхней границы облачности, интенсивность выпадающих осадков и пр. Получение всех характеристик основано на способности облачных частиц и осадков отражать радиоволны сантиметрового диапазона, излученные радиолокатором. Уравнение радиолокации метеоцелей связывает измеренную мощность  $P_r$  отраженного сигнала с метеорологической характеристикой облачности и осадков – радиолокационной отражаемостью  $Z$ :

$$P_r = C \frac{Z}{r^2},$$

Здесь  $C$  – радиолокационная постоянная, зависящая от характеристик ДМРЛ-С,  $r$  – расстояние от радиолокатора до облака.

Радиолокационной отражаемостью  $Z$  называют величину, характеризующую отражающие свойства единичного объема гидromеторов [8,9]:

$$Z = \sum_i d_i^6 \cdot \left| \frac{m_i^2 - 1}{m_i^2 + 2} \right|^2 \quad (\text{мм}^6/\text{м}^3),$$

где  $d_i$  – диаметры отражающих частиц;  $\left| \frac{m_i^2 - 1}{m_i^2 + 2} \right|^2$  – комплексный показатель преломления

частиц: для воды в ~5 раз выше, чем для льда. Суммирование ведется по всем частицам, находящимся в так называемом «импульсном объеме» – области пространства, облучаемой радиолокационным лучом и формирующей ответное радиоэхо. Распределение отражающих частиц по размерам (DSD) в импульсном объеме определяет отражающие свойства этого объема. Из определения следует, что  $Z$  пропорциональна размерам капель в 6-й степени, т.е. процессы укрупнения частиц в облаках и осадках приводят к быстрому росту  $Z$ .

В Государственном реестре открытий СССР зарегистрировано открытие явления аномального рассеяния радиоволн атмосферными облаками № 165, сделанное сотрудниками ЦАО А.М.Боровиковым, И.П.Мазиным, В.В.Костаревым, А.Н.Невзоровым, А.А.Черниковым с приоритетом от декабря 1960 г., суть которого заключается в том, что метеорологический радиолокатор при наблюдении облаков «видит» каркас из немногочисленных «сверхкрупных» частиц в облаке с размерами от 100 микрон и более, которые и формируют регистрируемый

приемником радиолокатора сигнал радиоэха от облака. В то время как в оптическом диапазоне отраженный сигнал формируется частицами с микронными размерами. Облака, содержащие частицы только микронных размеров и не содержащие «сверхкрупных» частиц [28], (например, волнистые - Ас, Сс) на экране метеорологического радиолокатора не видны.

В связи с тем, что диапазон отражаемостей  $Z$  в реальных облаках и осадках очень велик, в практике радиолокационных наблюдений используют логарифмическую измерительную шкалу, в которой  $Z$  выражается в децилогарифмах  $10 \lg Z$ , а единица измерений называется dBZ. Отметим, что ранее в [9] использовалось другое определение р/л отражаемости –  $(\lg Z_a)$ , без умножения на 10 и определяемое через радиусы частиц  $a$ , а не через диаметры.

Для перевода р/л отражаемости  $Z$  из «старых» единиц в принятые сегодня (и используемые в «ГИМЕТ-2010») необходимо использовать следующее соотношение –  $\text{dBZ}_d \equiv 10 (\lg Z_d) = 10 (\lg Z_a) + 18$ , в котором  $Z_a$  – это отражаемость, выраженная через радиус частиц,  $Z_d$  – отражаемость, выраженная через диаметры частиц.

Для построения вторичных продуктов - горизонтальных сечений радиолокационных характеристик по данным наблюдений, измеренных на конических сечениях, используется алгоритм CAPPI в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010». Идея алгоритма CAPPI изложена в [8,9].

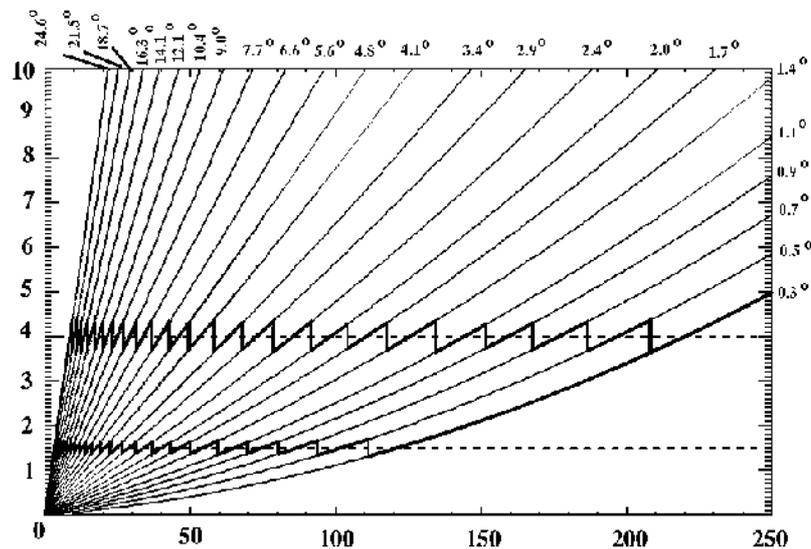


Рисунок 4.7.0. Принцип алгоритма CAPPI. По горизонтали – расстояние от ДМРЛ, по вертикали – высота над ДМРЛ. Для формирования горизонт. сечений вторичных продуктов на высотах 1,5 и 4 км используется информация со всех лучей (жирная линия). Источник: [http://en.wikipedia.org/wiki/Constant\\_altitude\\_plan\\_position\\_indicator](http://en.wikipedia.org/wiki/Constant_altitude_plan_position_indicator).

Для формирования горизонтального сечения в дальней зоне – на дальностях более 120 км от ДМРЛ для сечения на высоте 1,5 км, и 210 км – для сечения на 4 км используется экстраполяция с нижнего луча.

Радиолокационная отражаемость  $Z$  – один из основных вторичных продуктов ДМРЛ-С, использующихся при расчете других вторичных продуктов: карты метеоявлений, высот верхней и нижней границ радиоэхо, интенсивности осадков  $R$ , сумм осадков  $Q$  и т.д.

Точность  $p/l$  измерений  $Z$  на ДМРЛ-С контролируется путем сравнения рассчитанных сумм осадков по ДМРЛ с данными измерений осадков на МС. Это косвенный метод контроля точности абсолютной калибровки радиолокатора, однако более точных методов сегодня не существует [36].

Во время сертификационных испытаний ДМРЛ-С на позиции «Валдай» в 2011-12 гг., а также при проведении метеорологической адаптации каждого ДМРЛ-С при вводе его в эксплуатацию обязательно оценивается правильность измерения  $Z$  путем сопоставления со значениями  $Z$ , измеренными в одних и тех же точках ДМРЛ-С и другими АМРК.

Для ДМРЛ-С «Валдай» оценка проводилась по картам  $p$ САРПИ отражаемости на высотах от 1 до 6 км в области перекрытий зон обзора (рис. 4.7.1) и на приблизительно равных удалениях от сравниваемой пары АМРК: ДМРЛ-С и «Метеор-Метеоячейка» (С.-Петербург, а/п «Пулково»), ДМРЛ-С и АКСОПРИ «Тверь»; при этом равноудаленность обеспечивалась тем, что выбирались ячейки, разность расстояний от которых до сравниваемой пары ДМРЛ-С - АМРК не превышала 50 км;

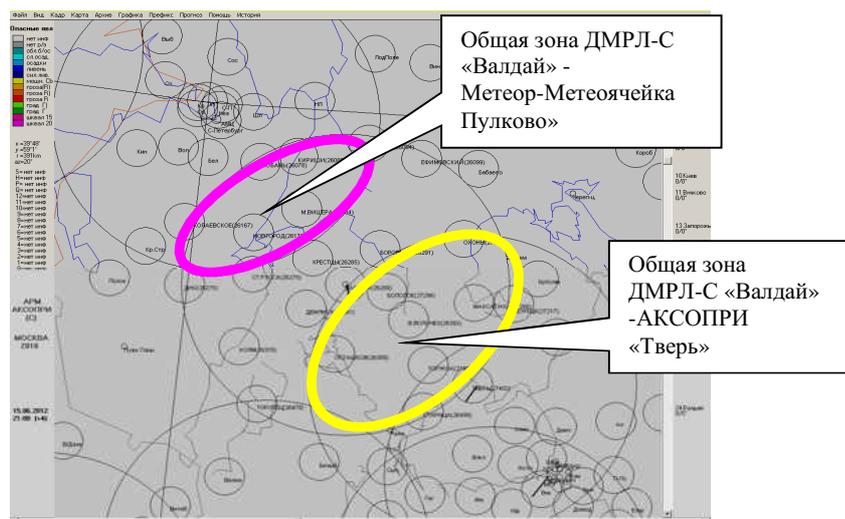


Рисунок 4.7.1. Карта расположения МС и областей перекрытий зон обзора ДМРЛ-С «Валдай», АКСОПРИ «Тверь», АМРК «Метеор-Метеоячейка» (а/п «Пулково»)

В областях перекрытий зон обзоров двух радиолокаторов с помощью специальной программы OTR на картах rCARPI за одинаковые сроки наблюдений для высот от 1 до 6 км выбирались отражаемости Z, превышающие задаваемый порог (10, 20 ДБZ), для ячеек попарно: по ДМРЛ-С «Валдай» и другим АМРК: «Метеор-Метеоячейка» и АКСОПРИ «Тверь».

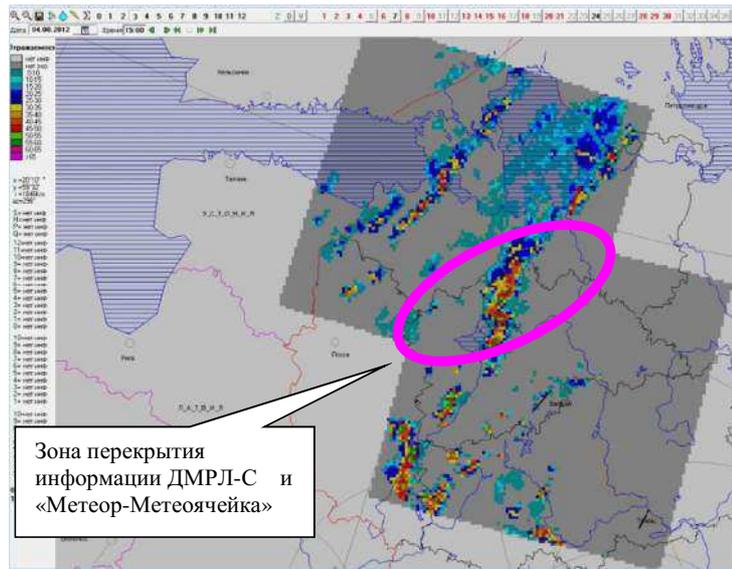


Рисунок 4.7.2. Отражаемость Z на 3 км в срок 15:00 мск, 04.08.12 г. по ДМРЛ-С «Валдай» и «Метеор-Метеоячейка».

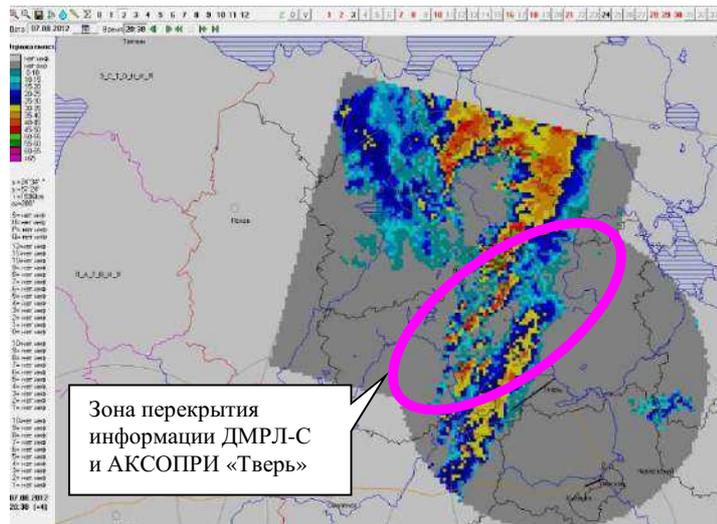


Рисунок 4.7.3 Отражаемость Z на 2 км в срок 20.30 мск, 07.08.12 г. по ДМРЛ-С «Валдай» и АКСОПРИ «Тверь».

На рис 4.7.2 и 4.7.3 представлены карты радиолокационной отражаемости для двух сроков, соответственно, при прохождении холодного фронта (04.08.12 г.) и холодного фронта с волнами (07.08.12 г.). На рис. 4.7.2 показана карта Z на 3 км за срок 15:00 мск 04.08.12, на рис.4.7.3 Z на 2 км за срок 20:30 мск 07.08.12.

Среднее значение разности  $\Delta Z = Z_{\text{ДМРЛ-С}} - Z_{\text{АМРК}}$  по 2331 случаю для измерений в 2012 г. на ДМРЛ-С «Валдай» составило 1.42 дБ.

### **Максимальная отражаемость в слое выше 1 км ( $Z_{\text{max}}$ )**

Карта максимальной отражаемости, полученная по значениям максимальной отражаемости в вертикальном столбе выше 1 км для каждой ячейки карты.

### **Высота верхней границы облачности (ВГО).**

Высота верхней границы облачности Нвго – важная характеристика облачности, информация о которой позволяет судить о характере облачности (Нвго слоистообразных облаков ниже и однороднее, чем кучевообразных) и степени опасности конвективной облачности (особенно это касается обеспечения полетов авиации).

За верхнюю границу облачности в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» принимается высотный уровень с отражаемостью минус 5 dBZ.

Радиолокационная высота верхней границы, как правило, хорошо (в пределах нескольких сотен метров) согласуется с визуально фиксируемой пилотами с борта самолетов высотой облаков.

Оценка точности измерений высоты верхней границы радиоэха облачности проводится во время сертификационных испытаний МАК, а также при проведении метеорологической адаптации каждого ДМРЛ-С при вводе его в эксплуатацию. При этом оценивается правильность измерения Нвго путем сопоставления измеренных на ДМРЛ-С высот облачности с данными, полученными на действующих АМРК, информация которых используется в оперативной практике, в том числе и для обеспечения полетов авиации.

Значения  $H_{\text{вго}}$  оценивались при различных синоптических ситуациях для метеообъектов, находящихся в зонах перекрытий зон обзора в равноудаленных точках от ДМРЛ-С и других АМРК. Для ДМРЛ-С «Валдай» - в качестве эталона для сравнения АМРК были выбраны:

АКСОПРИ «Валдай»,  
АКСОПРИ «Тверь»,  
АМРК Метеор-Метеоячейка «Пулково».

С помощью специальной программы по большим массивам данных были рассчитаны разности  $\Delta H_{\text{вго}}$  и их средние значения для нескольких дат 2012 г. Значения разностей  $\Delta H_{\text{вго}}$  по ДМРЛ-С и АМРК по модулю не превышали 0.5 км, а среднее значение  $\Delta H_{\text{вго}}$  по 1506 измерениям составило 0.05 км.

#### **Высота нижней границы облачности (НГО).**

Высота нижней границы радиоэха по радиолокационным данным – существенно менее информативная характеристика по сравнению с высотой верхней границы.

Необходимо иметь в виду, что в осадках радиолокатор измеряет в подоблачном пространстве отраженный сигнал на всех углах сканирования, формируемый падающими до земли частицами осадков (с характерными размерами более ~100мкм), что обуславливает значение нижней границы облачности  $H_{\text{НГО}}=0$ . В оптическом диапазоне нижняя граница облачности может определяться на высоте нескольких сотен метров по изменению оптических свойств среды, формируемых облачными частицами микронных размеров.

Таким образом, радиолокационная нижняя граница  $H_{\text{НГО}}$  облачности может не совпадать с границей, измеренной оптическими приборами, а в осадках – всегда  $H_{\text{НГО}}=0$ .

В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» за нижнюю границу радиоэха, по аналогии с  $H_{\text{вго}}$ , принимается высота границы радиоэха по уровню отражаемости минус 5 dBZ.

#### **Метеоявления.**

Особенности идентификации явлений (в т.ч., опасных) погоды по радиолокационным данным ДМРЛ-С в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» изложены в разделе 5.1.

Перечень метеоявлений, отображаемых на картах метеоявлений ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», приведен ниже в табл. 4.7.1

Таблица 4.7.1

Метеорологические явления (и их коды), реализованные в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010»

Код	Явление
0	Отсутствие радиоэхо
1	Облачность верхнего и среднего яруса
2	Слоистообразная облачность
3	Осадки слабые
4	Осадки умеренные
5	Осадки сильные
6	Кучевая облачность
7	Ливень слабый
8	Ливень умеренный
9	Ливень сильный
10	Гроза с вероятностью 30-70%
11	Гроза с вероятностью 71-90%
12	Гроза с вероятностью > 90%
13	Град слабый
14	Град умеренный
15	Град сильный
16	Шквал слабый
17	Шквал умеренный
18	Шквал сильный
19	Торнадо (смерч)
31	Отсутствующее значение

Кроме карты метеоявлений, в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» строятся также карты опасных метеоявлений, на которых отображаются явления с кодом 5 и более («сильные осадки»).

Радиолокационная информация о времени и месте ОЯ по данным ДМРЛ-С сопоставляется с данными наблюдений на МС (см.раздел 8).

#### **Сигнализация о наличии опасных явлений погоды в зоне обзора ДМРЛ-С**

Согласно п.2.33 «Сертификационных требований (базиса) к доплеровскому метеорологическому радиолокатору ДМРЛ-С», утвержденных комиссией по сертификации аэродромов и оборудования межгосударственного авиационного комитета (МАК), в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» реализовано наличие сигнализации об опасных явлениях погоды в зоне обзора ДМРЛ-С. В случае наличия в зоне обзора хотя бы одной ячейки с явлением не ниже «Гроза с вероятностью 30-70%» в правом верхнем углу любой карты ДМРЛ-С загорается мигающий красный транспарант: **«опасные явления»** (рис. 4.7.4).

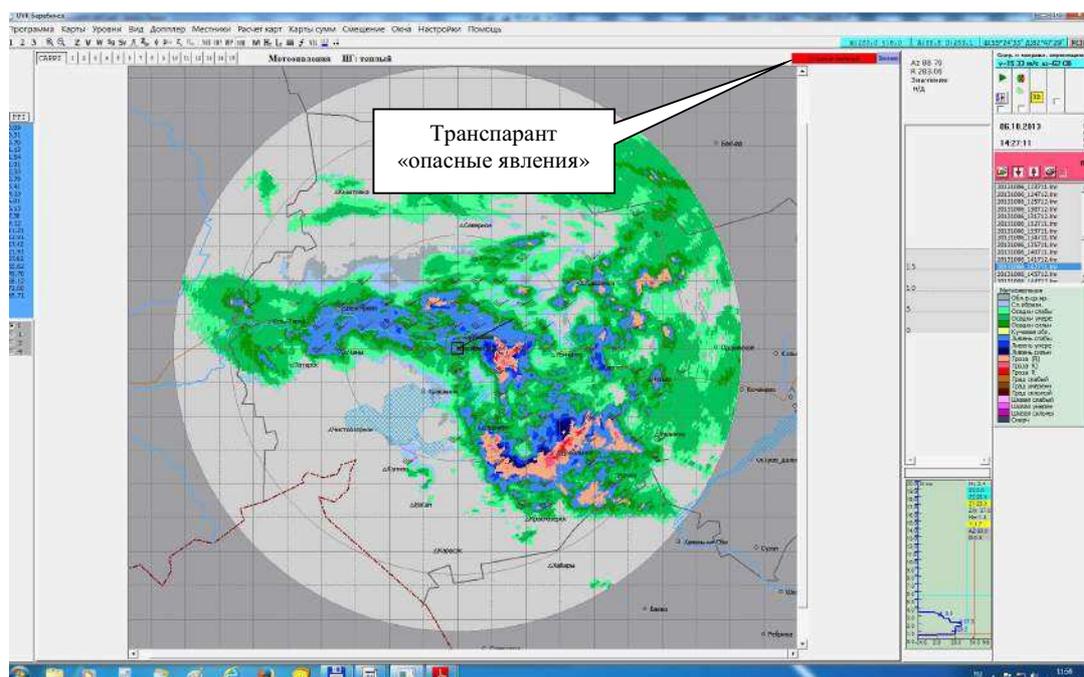


Рисунок 4.7.4 Карта метеоявлений с мигающим транспарантом в правом верхнем углу.

### Характеристики осадков.

Алгоритмы расчета радиолокационным способом интенсивности ( $R$ , мм/ч) и накопленных сумм выпавших осадков ( $Q$ , мм), реализованные в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», изложены в разделе 5.5.

Необходимо отметить, что в действующую версию ПО ВОИ не включены некоторые алгоритмы, обеспечивающие повышение точности алгоритма расчета характеристик осадков, которые будут дорабатываться в дальнейшем.

Накопленные суммы осадков за 12-часовые интервалы, измеренные ДМРЛ-С, являются одним из основных радиолокационных параметров, которые доступны для сопоставления с независимыми эталонами (измерениями на МС).

### Доплеровские измерения характеристик облачности и осадков.

В отличие от метеорологических радиолокаторов семейства МРЛ-1,2,5, радиолокатор ДМРЛ-С является доплеровским. Это означает, что клистронный передатчик ДМРЛ-С обеспечивает излучение зондирующего импульса со строго фиксированной фазой, а цифровой приемник ДМРЛ-С позволяет точно измерять фазовый сдвиг  $\phi_T$  принятого сигнала

на длине волны  $\lambda$ , связанный с доплеровским сдвигом частоты  $F_D$ , обусловленным движениями источника радиоэха со скоростью  $v_r$  в направлении на радиолокатор [1, кн.3]:

$$\varphi_T = 2\pi \cdot F_D \cdot T, \quad F_D = -2v_r/\lambda,$$

где  $v_r$  – радиальная составляющая скорости источника радиоэха,  $\lambda$ -длина волны радиоизлучения,  $T=1/PRF$  – период зондирования. Множитель 2 в формуле появляется оттого, что увеличение частоты происходит в два этапа [8]: сначала на  $v_r/\lambda$  возрастает частота электрических колебаний в метеоцели, а затем на эту же величину возрастает частота поля отраженного назад сигнала.

Доплеровский метеорологический радиолокатор позволяет измерять радиальную компоненту скорости перемещения гидрометеоров, скорости движения в перпендикулярной по отношению к направлению на радиолокатор плоскости измерены быть не могут.

Радиолокатор, излучающий импульсы с одной частотой PRF, может однозначно измерить скорость, определяемую т.н. «частотой Найквиста» -

$$v_{rMAX} = PRF \cdot \lambda/4,$$

Для PRF=1 кГц на  $\lambda=5,3$  см «скорость Найквиста» ~ 13,3 м/с, расширение диапазона измеряемых скоростей возможно при использовании нескольких (двух) частот PRF, что используется в ДМРЛ-С [1].

Измеренная величина скорости  $v_r$  характеризует, как и в случае отражаемости Z, среднее значение для всего импульсного объема, определяющего характеристики отраженного сигнала. Импульсный объем ограничен эффективной длительностью зондирующего импульса и шириной ДНА. То есть, если в импульсном объеме есть частицы, движущиеся с разными скоростями, измеренная скорость будет соответствовать среднему значению в импульсном объеме. Кроме скорости V, доплеровский радиолокатор позволяет измерить и ширину доплеровского спектра W отраженного сигнала, характеризующего величину разброса скоростей в импульсном объеме. Ширина спектра позволяет оценить величину турбулентных пульсаций в импульсном объеме, однако нужно иметь в виду, что по мере удаления импульсный объем растет, что может приводить к увеличению W не только за счет влияния турбулентности.

По доплеровским характеристикам V и W в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» рассчитываются следующие вторичные продукты – горизонтальный ветер (HW), вертикальный профиль ветра (VW), временная диаграмма изменения вертикального профиля ветра VWP, турбулентность, вертикальный и горизонтальный сдвиги ветра.

**Следует заметить, что все доплеровские продукты, в т. ч. и сдвиги ветра, необходимо смотреть на картах ДМРЛ-С в режиме «Скорость» Inu.**

#### Вертикальный и горизонтальный сдвиги ветра.

Сдвиги ветра рассчитываются при наличии карты радиальных доплеровских скоростей и ширины спектра в горизонтальных сечениях, которые являются исходными для дальнейших расчетов.

Дистанционный метод оценки сдвига ветра основан на измерении ДМРЛ-С значений скорости ветра в соседних дискретах дальности, вычислении величины сдвига ветра согласно используемому в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» алгоритму, дальнейшем усреднении полученной величины по всей толщине слоя и приведении полученной величины к рекомендованным ИКАО значениям (табл. 4.7.2).

Необходимо иметь в виду, что с учетом ширины луча антенны слой усреднения для сдвига ветра может составлять от нескольких десятков метров (на расстоянии  $1 \div 10$  км от ДМРЛ-С) до  $1,5 \div 2$  км (на расстоянии  $\sim 100$  км).

Интенсивность сдвига рассчитывается путем деления величины модуля разности между векторами в двух точках на расстояние между ними с использованием одних и тех же единиц измерения. В зависимости от расположения двух точек в пространстве, между которыми определяется сдвиг ветра, различают *вертикальный сдвиг ветра*, описывающий изменение ветра по вертикали, и *горизонтальный сдвиг ветра* – описывающий изменение ветра по горизонтали.

Единицей измерения сдвига ветра является м/с на 30 м – по вертикали (вертикальный сдвиг) и на 600 м – по горизонтали (горизонтальный сдвиг). По интенсивности сдвиги ветра подразделяются на слабые, умеренные, сильные и очень сильные [3, 32]:

#### Градации сдвига ветра

Таблица 4.7.2

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

На рис.4.7.5-4.7.6 приведены примеры карт горизонтального и вертикального сдвигов ветра на уровне 3 км.

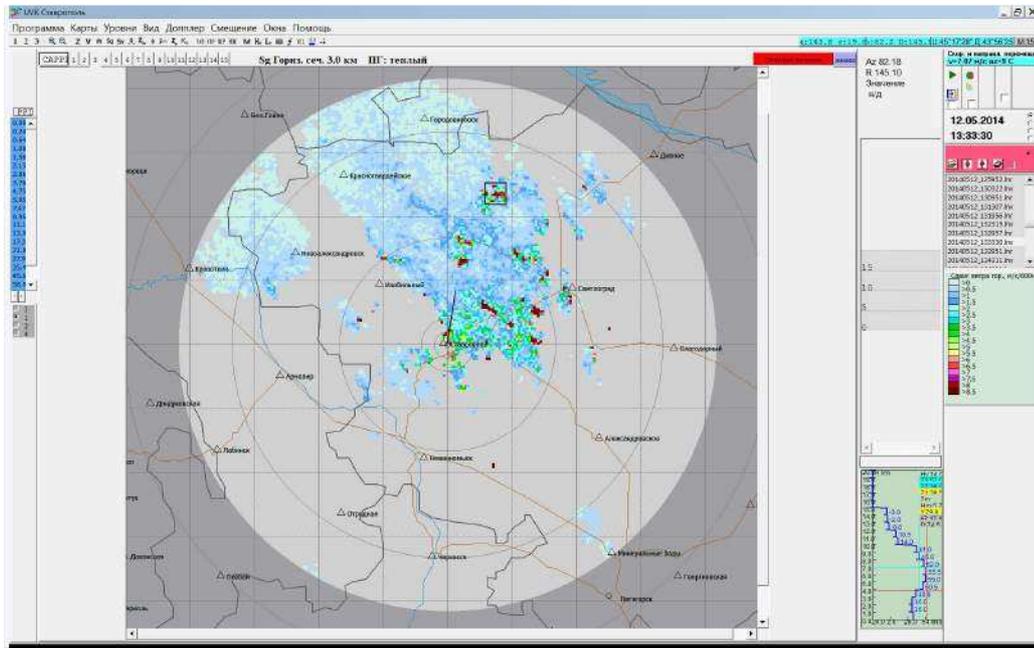


Рисунок 4.7.5 Пример карты горизонтального сдвига ветра на высоте 3 км по данным ДМРЛ-С «Ставрополь» 12.05.2014 13:30 ВСВ.

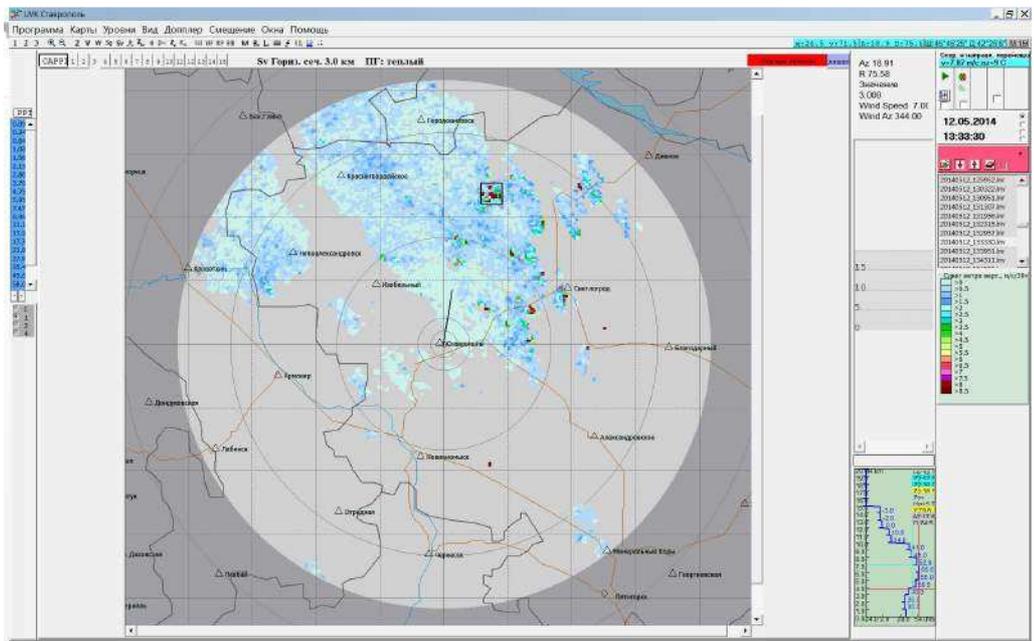


Рисунок 4.7.6 Пример карты вертикального сдвига ветра на высоте 3 км по данным ДМРЛ-С «Ставрополь» 12.05.2014 13:30 ВСВ.

**Турбулентность.**

В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» турбулентность характеризуется скоростью диссипации турбулентной энергии, рассчитываемой на основе измерений  $Z$  и ширины спектра  $W$ .

**Характерные значения скорости диссипации турбулентной энергии [3].** Таблица 4.7.3.

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

Данный вторичный радиолокационный продукт не прошел экспериментальную апробацию и в настоящее время не может быть рекомендован к использованию в синоптической практике.

**Видимость в осадках.**

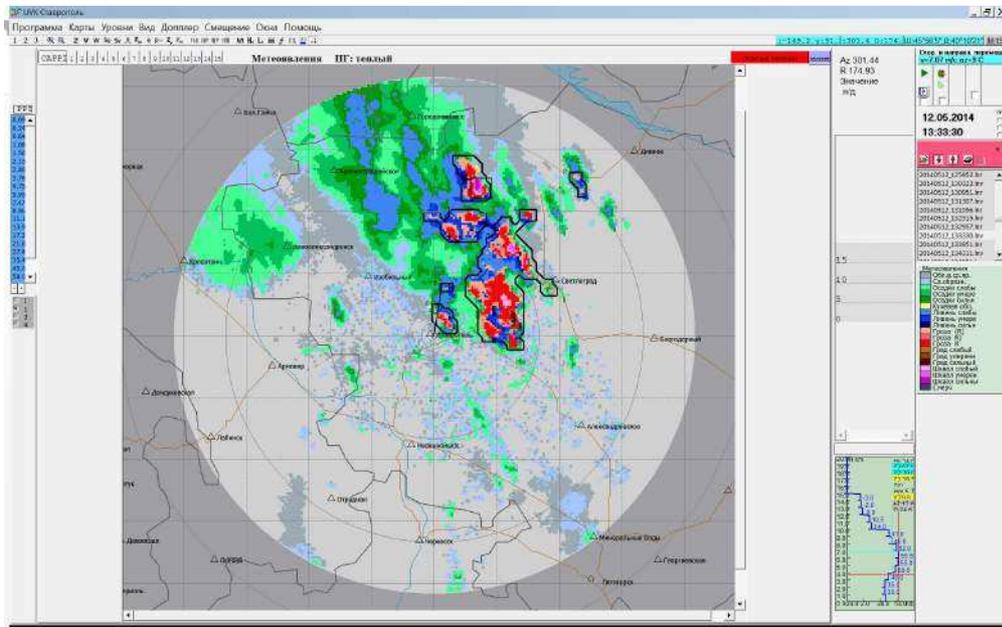
Данный вторичный радиолокационный продукт рассчитывается по измерениям  $Z$ , однако он не прошел экспериментальную апробацию и в настоящее время не может быть рекомендован к использованию в синоптической практике.

**Контурные опасные явления погоды**

В настоящее время в программе UVK1 ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» построение контуров опасных явлений погоды реализовано следующим образом.

- Расчет контуров опасных явлений (ОЯ) проводится по карте метеоявлений с разрешением 4x4 км и радиусом наблюдений 250 км,
- Оконтуривание очагов ОЯ производится по границе с отступом 2 км (половина линейного размера ячейки),
- Оконтуривание очагов ОЯ производится по настраиваемому порогу. По умолчанию – по ячейкам «Гроза с вероятностью 30-70%»,
- Максимальное количество точек во всех контурах является настраиваемой величиной. Если суммарное количество точек во всех контурах превышает максимальное значение, производится сглаживание контуров.
- Общее количество контуров ОЯ на одной карте является настраиваемой величиной.
- Отдельные контуры ОЯ объединяются в общий контур, если они удалены друг от друга на расстояние менее чем размер двух ячеек (8 км).

На рис. 4.7.7. приведена карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Ставрополь», с контурами, построенными по порогу (R).



**Рисунок 4.7.7** Пример карты метеоявлений с контурами явлений по данным ДМРЛ-С «Ставрополь» 12.05.2014 13:30 ВСВ.

### **Направление и скорость перемещения облачных образований (вектор перемещения)**

Информация о данном радиолокационном продукте приводится в разд. 5.7.

### **Вертикальный профиль ветра VW.**

Информация о данном радиолокационном продукте приводится в разд. 5.9.

### **Наноска векторов горизонтального ветра на любую р/л карту HW.**

Информация о наноске векторов горизонтального ветра приводится в разд. 5.7.

### **Вертикально проинтегрированная водность (VIL).**

Вертикально проинтегрированная водность (VIL) оценивает массу жидкой воды на единицу площади в столбе по всей вертикальной протяженности Сб по данным о фактическом изменении отражаемости. VIL выражается в  $\text{кг}/\text{м}^2$ . В ПО «ГИМЕТ-2010» для расчета VIL используется алгоритм из состава ПО ВОИ WSR-88D [33]:

$$VIL = 3,44 * 10^{-6} \sum [(Z_i + Z_{i+1})/2]^{4.7} * \Delta h ,$$

где  $Z_i$  – отражаемость на  $i$ -том уровне облака;  $\Delta h$  – разность высот между уровнями  $i$  и  $(i+1)$ . Суммирование проводится от 1 до уровня ВГО. По зарубежному опыту поляризационных р/л наблюдений параметр VIL является одним из лучших индикаторов сильных гроз. На рис. 4.7.8 приведена карта VIL.

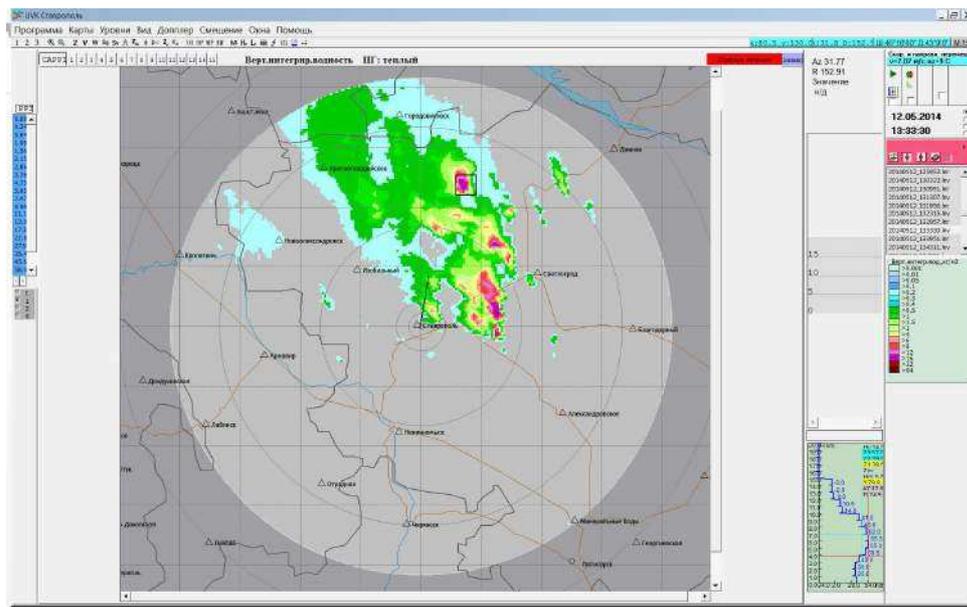


Рисунок 4.7.8 Пример карты VIL по данным ДМРЛ-С «Ставрополь» 12.05.2014 13:30 ВСВ.

**Поляризационные характеристики облачности.**

Форма падающих капель дождя зависит от их размера. В процессе падения большие капли сплющиваются в потоке воздуха, в то время как малые ( $d < 2$  мм) остаются сферическими. Типичные дождевые капли имеют  $d=1-2$  мм, наибольший  $d=6-7$  мм, максимальные измеренные капли имели  $d=8$  мм.

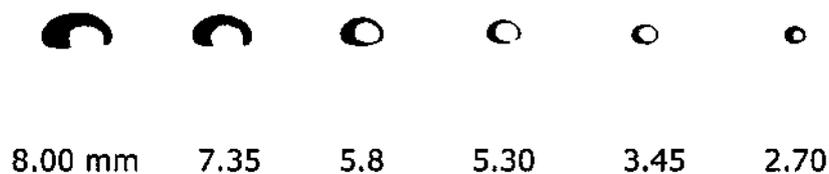


Рисунок 4.7.9 Изменение формы капель в процессе падения.

Метеорологический радиолокатор одновременно излучает и принимает два сигнала – на вертикальной и горизонтальной поляризации, что позволяет измерять средние значения р/л отражаемости  $Z_d$ , определенной по вертикальному  $d_v$  и горизонтальному  $d_H$  размерам частиц.

Дифференциальная отражаемость  $Z_{dr}$  представляет собой отношение отражаемостей в каналах горизонтальной и вертикальной поляризации:  $Z_{dr} = 10 \cdot \lg\left(\frac{Z_H}{Z_V}\right)$ , (дБ).

Величина  $Z_{dr}$  позволяет судить о форме и, следовательно, о фазовом составе гидрометеоров.

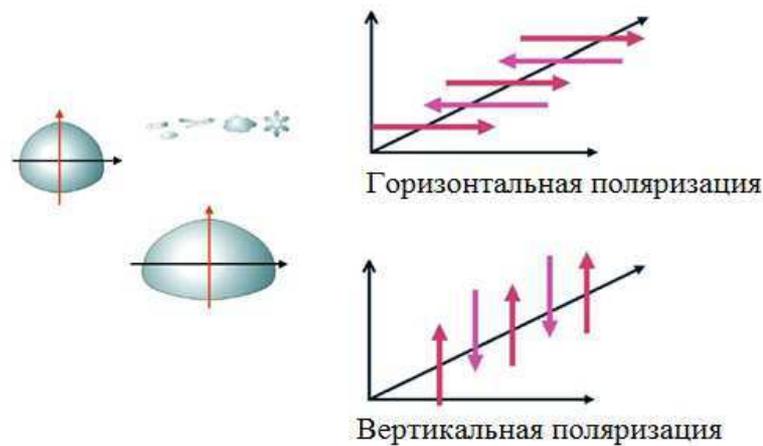


Рисунок 4.7.10 Схема поляризационных радиолокационных наблюдений.

Положительная величина  $Z_{dr}$  означает преимущественно горизонтальную ориентацию рассеивателей, отрицательная – вертикальную.

Помимо измерения дифференциальной отражаемости  $Z_{dr}$ , поляризационный метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С обеспечивает измерение относительной фазы  $F_{dp}$  и коэффициента кросскорреляции  $\rho_{hv}$ .

Удельный фазовый сдвиг  $K_{dp}$  рассчитывается по данным о  $F_{dp}$  и представляет собой вычисляемую характеристику – радиальный градиент дифференциальной фазы

$$K_{dp} = \frac{d F_{dp}}{2 * d r}, \quad \frac{\text{градус}}{\text{км}}$$

Характеристика  $K_{dp}$ , наряду с  $Z_{dr}$ , широко используется в поляриметрических алгоритмах обработки радиолокационных данных [8] для оценки возможной природы источника радиоэха:

- для капель дождя характерно умеренное увеличение  $Z_{dr}$  с одновременным ростом  $Z_H$ ,
- для града характерны  $Z_{dr} \sim 0$  при больших значениях  $Z > 48$  dBZ.

Для гидрометеоров характерны высокие значения  $\rho_{hv}$ , и наоборот – низкие значения характерны для отражений от местников, радиопомех, флотирующих частиц мусора (военных уголкового отражателей – “chaff”) и отражений от «ясного неба». Низкие значения этого параметра характерны для областей с неполным заполнением импульсного объема – в направлениях с частично заблокированным лучом и на краях зон облачности.

Величина удельного фазового сдвига  $K_{dp}$ , рассчитываемого по данным  $F_{dp}$ , используется в поляризационных алгоритмах измерения осадков радиолокационным способом  $R(Z, Z_{dr}, K_{dp})$ , а также коррекции ослабления радиоизлучения в осадках [8].

В табл.4.7.3 приводятся характерные значения для  $K_{dp}$  согласно [34].

Таблица 4.7.3

**Характерные значения  $K_{dp}$  для разных видов осадков [34].**

-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	5
Малые <<< ДОЖДЬ >>> Большие (сплюснутые)									
Сухая <<< Крупа >>> Обводненная									
Сухой (вытянутый) <<<<< Град >>>>> Тающий (Сплюснутый)									
Агрегаты< Кристаллы> Ориентированные									
Сухой <<< Снег >>> Мокрый									

## 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДМРЛ-С В СИНОПТИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ.

Радиолокационная метеорологическая информация, наряду с информацией с метеорологических спутников, сегодня широко используется как для анализа, так и для прогноза атмосферных процессов, связанных с облачностью и осадками. С ее помощью уточняется местоположение и перемещения мезомасштабных облачных образований, влияющих на условия полета воздушных судов, что позволяет авиационному синоптику более успешно выделить районы образования опасных для авиации явлений, в том числе гроз, града, шквалов.

Метеорологический радиолокатор обеспечивает получение следующей метеоинформации:

- местоположение и размеры зон облачности и осадков;
- формы облачности и явления погоды, в том числе такие опасные для авиации как ливни, грозы, град;
- скорость и направление перемещения облачных систем;
- верхняя граница радиозона всех обнаруживаемых облаков, нижняя граница радиозона облаков верхнего и среднего яруса, а также межоблачные прослойки;
- оценка высоты «яркой полосы», указывающей на расположение слоя таяния и, соответственно, высоту нулевой изотермы в слоисто-дождевой облачности;
- интенсивность выпадающих осадков и накопленный слой осадков за выбранный интервал времени;
- распределение радиальной доплеровской скорости и ширины спектра, которые позволяют оценить сдвиги ветра, степень турбулентности, осредненный вертикальный профиль горизонтального ветра, осредненное распределение горизонтального ветра в зоне обзора на различных высотах;
- поляризационные характеристики облачности и осадков позволяют оценить тип гидрометеоров; провести фильтрацию помех и отражений от «местников», уточнить измерения интенсивности выпадающих осадков.

Радиолокационные наблюдения с высоким темпом обновления информации позволяют отслеживать эволюцию облачности и фиксировать процессы «взрывной конвекции», когда за несколько десятков минут происходит развитие грозовой облачности на больших территориях;

### 5.1 Принципы идентификации метеоявлений на ДМРЛ-С. Радиолокационные критерии метеоявлений.

По величине р/л отражаемости можно судить о природе источника радиоэха. Например, в [35] приведена иллюстративная схема, на которой представлены величины  $Z$  для отражателей различной природы (рис.5.1.1).

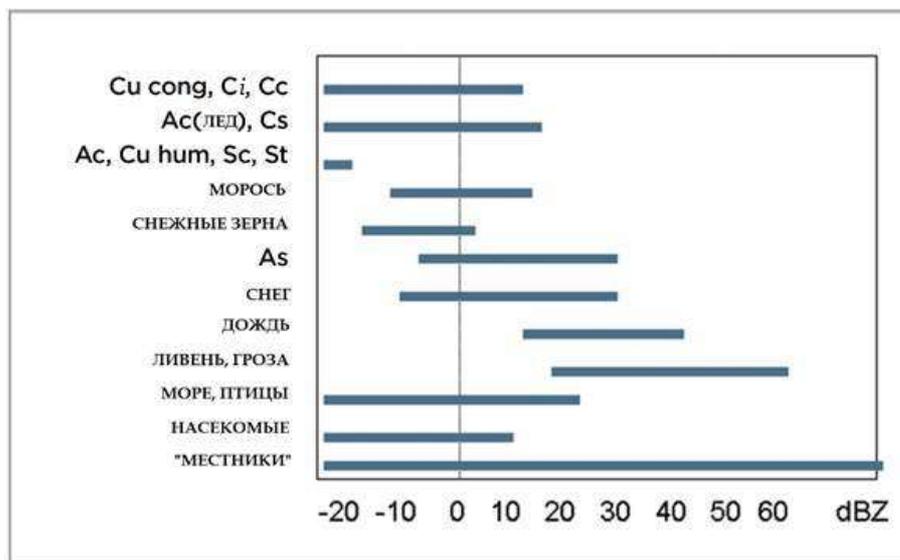


Рисунок 5.1.1 Характерные значения  $Z$  от различных источников.[35].

Радиолокационная отражаемость облаков зависит от их фазового состава, водности и спектра размеров облачных частиц. Различия в этих характеристиках объясняют почему облака, относящиеся к одному типу, могут в одних случаях обнаруживаться, а в других – не обнаруживаться МРЛ.

Разделение осадков по типу на конвективные и обложные в радиометеорологии производится с учетом текущей температурной стратификации в атмосфере.

В обложных осадках на вертикальных разрезах четко прослеживаются следы полосы таяния – «яркой полосы». В конвективных осадках из-за интенсивного вертикального перемешивания «яркая полоса» отсутствует.

Как правило, к обложным осадкам относят осадки интенсивностью от 0.6 до 3 мм/ч, к ливневым – с интенсивностью более 3 мм/ч. Поскольку первые выпадают из облаков слоистообразных, а вторые – из кучево-дождевых, являющихся облаками вертикального развития, при идентификации обложных и ливневых осадков учитывается вертикальная структура облачности.

Реализованные в настоящее время в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», как и ранее в МРЛ [9], критерии грозы основаны на экспериментальных данных Байерса и Брейама [18],

методике прогноза гроз Н.В.Лебедевой [19], согласно которым, одним из основных условий возникновения грозы является достижение облаками С<sub>в</sub> уровня температур -20...-25°C.

Согласно методике, реализованной в [9] и принятой за основу во всех отечественных МРЛ и в ДМРЛ-С, для критериев грозы и града используются значения высоты верхней границы облачности Н<sub>ВГО</sub> и значения радиолокационной отражаемости Z на двух специальных уровнях: – высоте нулевой изотермы Н<sub>0°C</sub> (Н<sub>2</sub>), – уровне интенсивной кристаллизации, превышающем уровень нулевой изотермы на 2÷2.5 км (Н<sub>3</sub>), а также максимальное значение Z<sub>max</sub> в столбе Z.

Для идентификации шквалов, в соответствии с разработанным под руководством Б.Е.Пескова и описанным в [13] методом прогноза шквалов, в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» используются два параметра: отражаемость на уровне Н<sub>3</sub> и разность высот верхней границы облачности и уровня тропопаузы – ΔН.

Следует отметить, что идентифицируемые ДМРЛ-С явления от “*град слабый*” до “*шквал сильный*” обязательно включают явление “*гроза с вероятностью >90%*”.

Ливневые осадки интерпретируются по высоте Н<sub>ВГО</sub> и значениям радиолокационной отражаемости на двух уровнях – Z<sub>1</sub> (уровень 0.6 – 1 км) и Z<sub>2</sub> (2-4 км).

Обложные осадки в «ГИМЕТ-2010» интерпретируются по радиолокационной отражаемости на уровне Z<sub>1</sub>.

## **5.2 Особенности идентификации метеоявлений в разных физико-географических районах.**

Радиолокационные наблюдения на сети ДМРЛ-С проводятся с использованием единого программного обеспечения вторичной (метеорологической) обработки «ГИМЕТ-2010». Однако, при использовании критериев идентификации явлений погоды в разных регионах необходимо учитывать различия в физико-географических условиях расположения каждой конкретной позиции.

Например, известно, что с уменьшением широты местности грозовая деятельность усиливается. Если в Архангельске среднее годовое число дней с грозой составляет 14 [21], то в Краснодаре оно увеличивается до 31 [22]. При перемещении с севера на юг увеличиваются высоты верхней границы (Н<sub>ВГО</sub>) конвективной облачности и возрастают значения Н<sub>ВГО</sub> и Z при грозах [28]. Так, при перемещении от широты 59 °с.ш. к 45 °с.ш. средняя высота Н<sub>ВГО</sub> при грозах возрастает от 7.8 км до 9.3 км, а средние значения Z для основных осадкообразующих форм облачности для центра ЕТР и юга ЕТР различаются на 5-7 dBZ [12].

Как указывалось выше, одним из основных условий возникновения грозы является превышение верхней границей  $S_b$  уровня изотермы  $-22^{\circ}\text{C}$ . Средний уровень изотермы  $H_{-22}$  в центральных районах ЕТР составляет порядка 6.0 км, а для Северного Кавказа 7.2 км.

Однако по результатам проведенных в 2013 г. исследований в ГГО для северной климатической зоны оправдываемость гроз с использованием нескорректированных критериев, разработанных для средней полосы ЕТР, составила: для ДМРЛ-С «Архангельск» 61.5% (346 случаев); ДМРЛ-С «Валдай» 70.6% (2576 случаев); ДМРЛ-С «Казань» 89.4% (641 случай). По этим результатам авторами сделан вывод о том, что «как сами радиолокационные критерии распознавания грозовых облаков, так и их пороговые значения для соответствующих позиций ДМРЛ-С, заложенные в программу вторичной обработки радиолокационных данных, дают результаты, хорошо согласующиеся с данными наземной наблюдательной сети, и таким образом, являются вполне эффективными».

По результатам аналогичных исследований, проведенных ВГИ, для южной климатической зоны (Волгоград) оправдываемость ОЯ (град, гроза, ливень) с применением нескорректированных критериев составила 89.2%. Полученный высокий процент позволил авторам сделать вывод о том, что и для южной климатической зоны корректировка критериев не требуется.

Указанные выводы о применимости единых критериев ОЯ для трех климатических зон носят предварительный характер на начальном этапе эксплуатации сети ДМРЛ-С и требуют дальнейшей проверки по мере накопления экспериментального материала и совершенствования методики валидации.

### **5.3 Грозовая облачность на картах метеоявлений. Внутримассовая и фронтальная облачность. Примеры на картах ВГО, R,S,Q.**

Карты метеоявлений являются наиболее востребованным потребителями продуктом. Они дают возможность синоптику оценить обстановку, соотнеся метеоявления на карте с синоптической ситуацией, и следить в режиме реального времени за развитием ситуации: фиксировать возникновение зон опасных явлений, следить за их развитием и перемещением. На рис. 5.3.1 показан пример карты *метеоявлений*, на которой отображаются все идентифицированные для данных условий метеорологические явления, в то время как на карте *опасных метеоявлений* (рис.5.3.2) отображаются только опасные из них (начиная с “сильных осадков”).

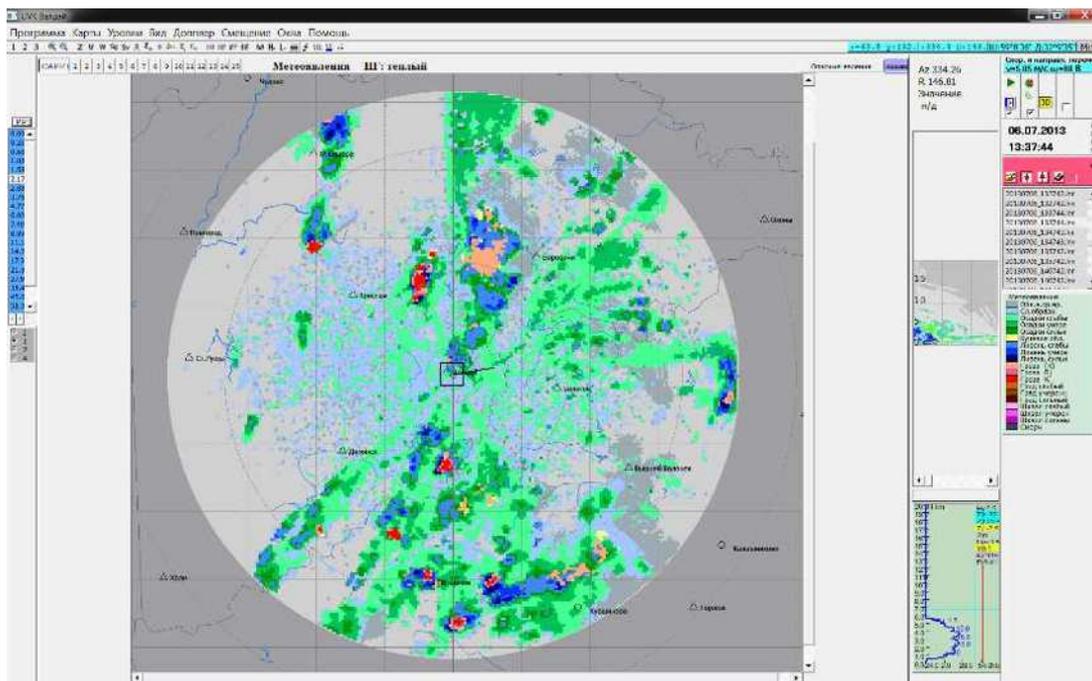


Рисунок 5.3.1 Карта метеоявлений (Alt+L).

Для авиационных синоптиков важно иметь информацию об опасных для авиации явлениях погоды – таких, как грозовые очаги, шквалистые усиления ветра, град [11]. Поэтому в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» существует такой продукт, как «карта опасных метеоявлений», на которой отображаются метеоявления, более опасные, чем «сильные осадки» (рис.5.3.2)

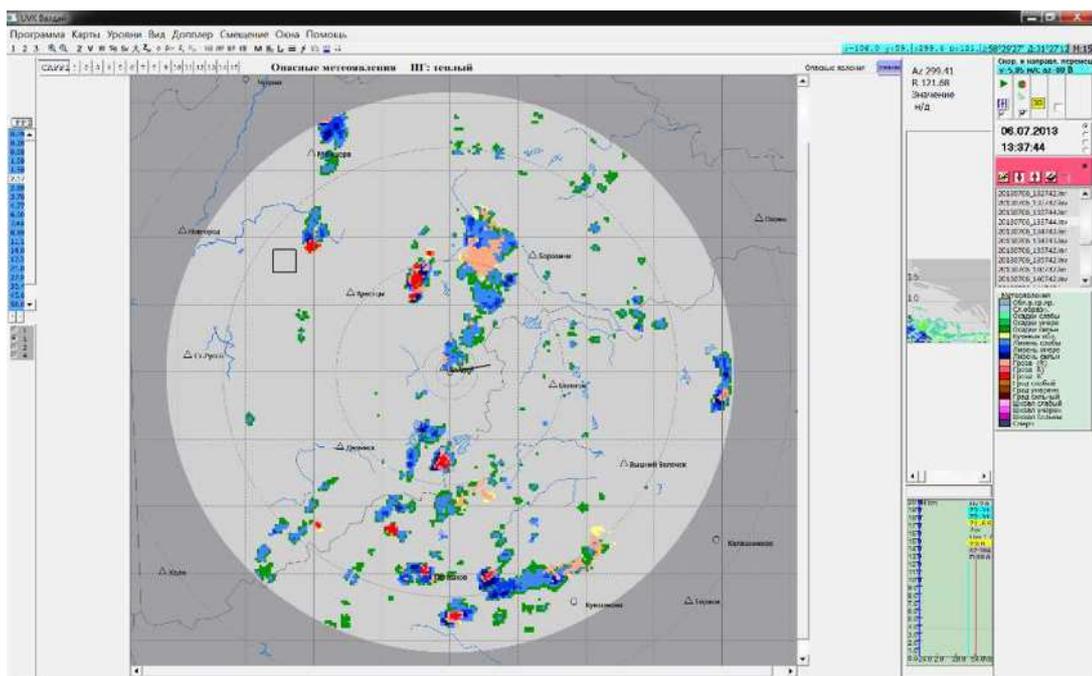


Рисунок 5.3.2 Карта опасных метеоявлений (Alt+;)

Превращение мощных кучевых облаков  $Cu\ congesta$  в кучево-дождевые  $Cb$  происходит при проникновении вершин  $Cu\ congesta$  в слои с температурой ниже  $-20^{\circ}C$ . При этом происходит оледенение вершин  $Cb$ , что, как правило, сопровождается выпадением интенсивных ливневых осадков. Грозовые  $Cb$  образуются при наличии термодинамических условий, благоприятных для развития интенсивных восходящих движений и уровне конвекции, превышающем высоту 6-7 км.

В зонах перемещающихся атмосферных фронтов  $Cb$  образуются в результате квазиупорядоченного мезомасштабного подъема воздуха.

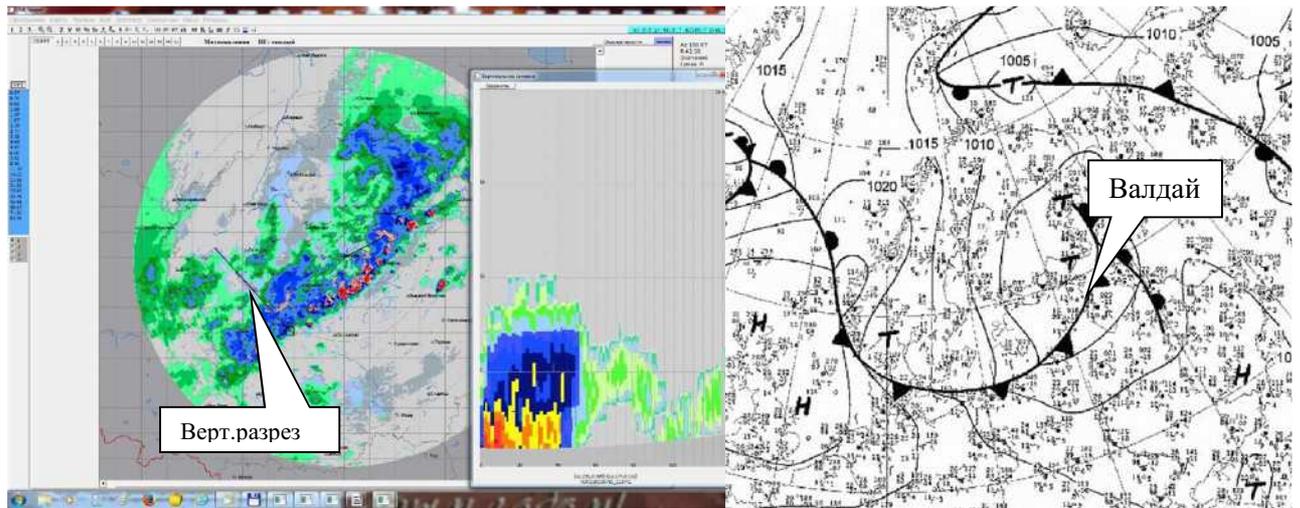
Холодные фронты над сушей активнее днем, чем ночью. Они перемещаются со скоростью 30-40 км/ч, причем на периферии циклона скорость значительно уменьшается (холодные фронты первого рода), или со скоростью 50-60 км/ч (холодные фронты второго рода). Чем выше скорость перемещения фронта, тем интенсивнее происходит развитие на фронтах конвекции и, соответственно, гроз. Быстрое перемещение холодного воздуха вызывает развитие вынужденной конвекции, с образованием мощной кучево-дождевой облачности перед фронтом. Возникающая при этом облачная система представляет собой цепь  $Cb$  с грозами, шквалами и ливневыми осадками.

### 5.3.1. Грозы на холодном фронте на ДМРЛ-С.

При прохождении холодного фронта впереди линии фронта отсутствует зона облачности верхнего и среднего яруса. Линия холодного фронта, как правило, четко выражена, облачность и осадки располагаются за ней. При прохождении быстро перемещающихся холодных фронтов летом выпадают преимущественно ливневые осадки, часто отмечаются грозы. На рис. 5.3.3 приведена карта метеоявлений ДМРЛ-С «Валдай» 19.07.13 г. при прохождении холодного участка фронта. Вдоль всей линии фронта наблюдается цепь гроз. Вертикальный разрез поперек линии фронта показывает шлейф приподнятой облачности среднего и верхнего ярусов, расположенной в зафронтальной зоне, после массива  $Cb$ . Интенсивность ливневых осадков (рис. 5.3.3. В) за линией фронта достигает 90 мм/ч. Наибольшая Нвго (рис. 5.3.3. Г) достигает 12 км.

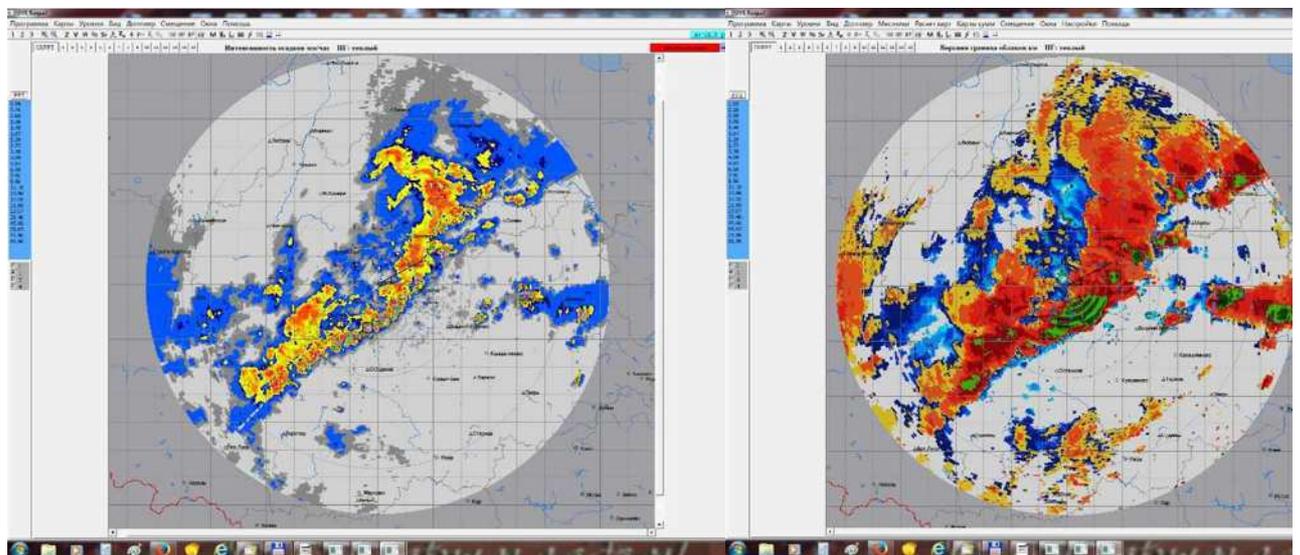
На карте сумм осадков (Q), измеренных с 06:00 по текущее время 11:30 ВСВ, прослеживается несколько полос с максимальным количеством осадков – до 70 мм.

Следует отметить, что суммы измеренных ДМРЛ-С осадков пока не тестировались.



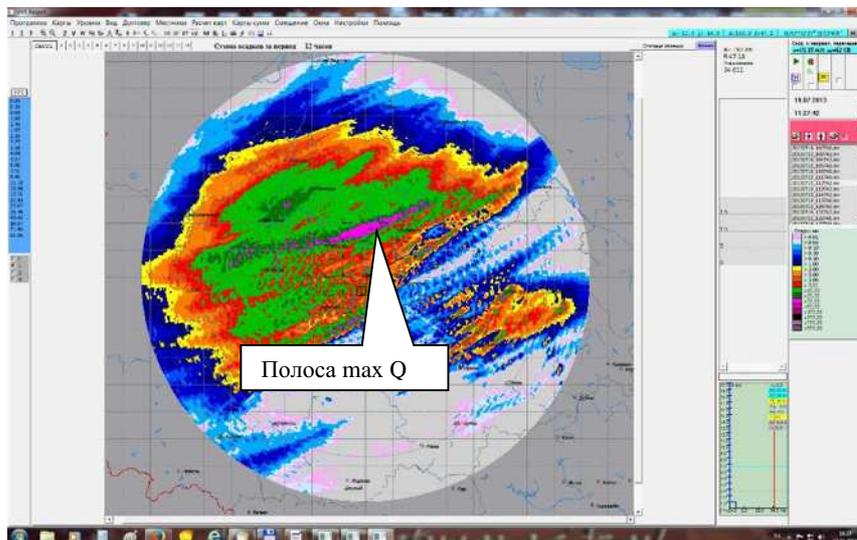
А)

Б)



В)

Г)



Д)

Рисунок 5.3.3 Карты ДМРЛ-С «Валдай» при прохождении холодного фронта 19.07.13 11:30 ВСВ, сопровождающегося грозами по всей линии фронта::

- А) метеоявлений,
- Б) синоптич. ситуации,
- В) интенсивности осадков,
- Г) Нвго,
- Д) суммы осадков с 06:00 ВСВ.

### 5.3.2. Грозы на теплом фронте на ДМРЛ-С.

При перемещении теплого фронта сначала появляется облачность верхнего яруса, которая, постепенно уплотняясь, переходит в высоко-слоистую облачность, а затем – в слоисто-дождевую, из которой выпадают осадки (дождь или снег, в зависимости от сезона).

В отличие от холодного фронта, на теплом фронте значительная часть облачности находится перед линией фронта. За фронтом располагается слоисто – дождевая облачность с осадками. Облачность теплого фронта занимает обширные пространства – до 700 км зимой, при этом зона осадков занимает примерно 2/3 от зоны облачности. Осадки теплого фронта чаще всего обложные. Грозы над сушей на теплом фронте чаще возникают ночью, когда неустойчивость теплой воздушной массы проявляется больше, и происходит развитие грозных Сб.

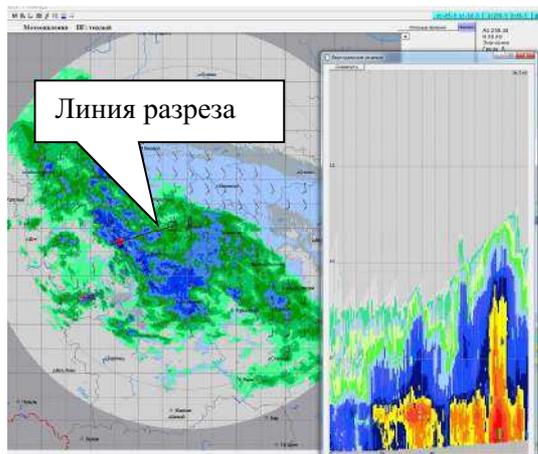
На рис. 5.3.4 представлены карты ДМРЛ-С «Валдай» при прохождении теплого фронта (рис. 5.3.4) 22.05.13 г. в 03:17 ВСВ, 04:17 ВСВ. Впереди фронта располагается зона облачности среднего и верхнего ярусов – признак теплого фронта (рис. 5.3.4, А). При проведении вертикального разреза вдоль массива Ns (рис. 5.3.4. В) хорошо прослеживается «яркая полоса», указывающая, что Но составляет около 2.5 км.

На рис 5.3.4 на фронте наблюдаются небольшие и немногочисленные грозные очаги, возникающие обычно на теплом фронте в ночное и утреннее время суток; проведенный через них вертикальный разрез (рис. 5.3.4. А) отражает типичную вертикальную структуру ливневых и грозных Сб – со столбом высоких значений радиолокационной отражаемости до 8 – 9 км. На рис.5.3.4.А максимальная интенсивность осадков составила 50 мм/ч, интенсивность осадков в целом меньше, чем обычно наблюдается при прохождении холодных фронтов.

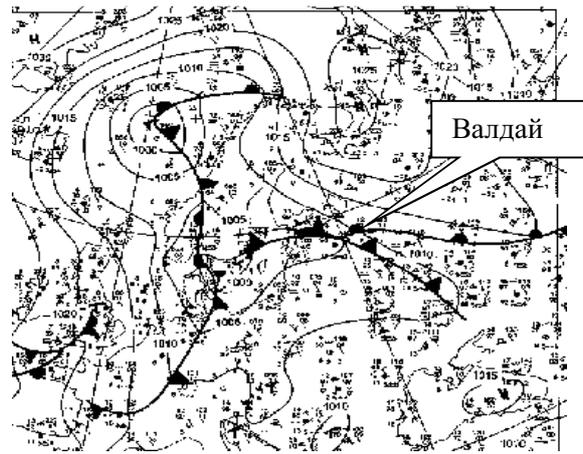
В отдельных случаях даже на ЕТР, в мощных конвективных ячейках измеряется значения отражаемости до 60 dBZ, что подтверждается наземными пювнитографическими измерениями мгновенной интенсивности осадков R до 200 мм/ч.

Высоты верхней границы облачности достигают 10 км. Вертикальный разрез в направлении передней части фронта Е) показывает хорошо выраженный слой облачности верхнего и среднего ярусов, предшествующий линии фронта у земли.

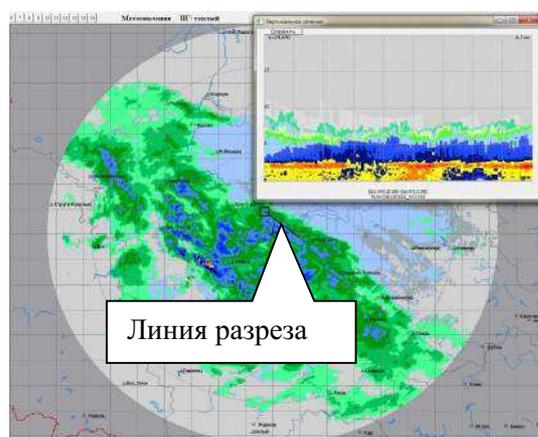
На карте сумм осадков (Q), измеренных с 18:00 до 04:17 ВСВ (рис.5.3.4.Ж), прослеживается несколько областей с максимальным количеством осадков. Максимальное количество осадков составило ~50 мм.



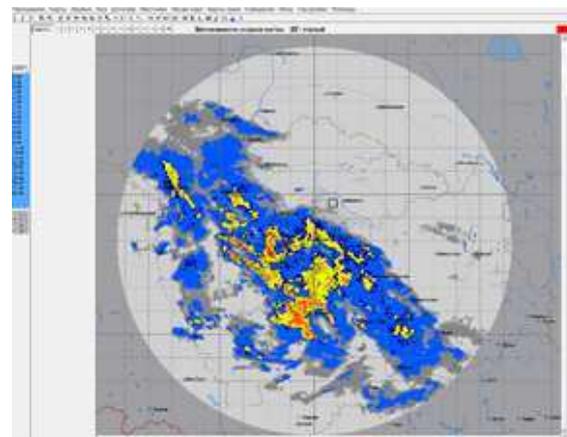
А)



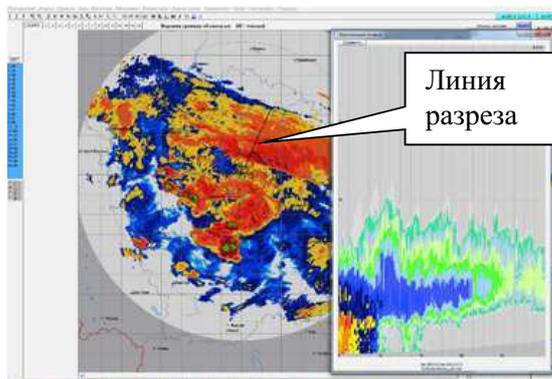
Б)



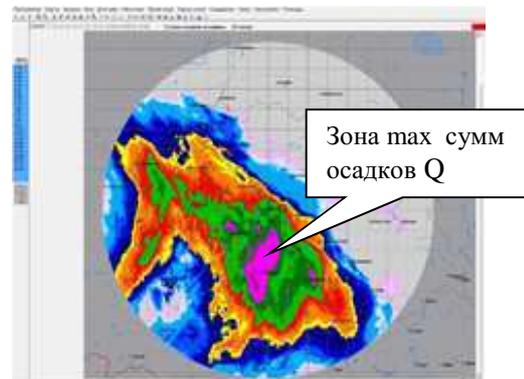
В)



Г)



Д)



Е)

Рисунок 5.3.4 ДМРЛ-С «Валдай» Карта метеоявлений при прохождении теплого фронта 22.05.13 г. в 03:17 - 04:17 ВСВ:

- А) Карта метеоявлений 03:17 ВСВ;
- В) Карта метеоявлений 04:17 ВСВ;
- Д) Карта высоты ВГО;

- Б) Синоптическая карта;
- Г) Карта интенсивностей осадков;
- Е) Карта суммы осадков с 18:00 до 03:17 ВСВ.

### 5.3.3. Грозы на вторичных холодных фронтах на ДМРЛ.

Вторичный холодный фронт – раздел между различными частями одной и той же холодной воздушной массы, поступающей в барических ложбинах в тылу циклона за холодным фронтом. Неравномерность трансформации вторгающегося холодного воздуха приводит к его неоднородности, что в сочетании со сходимостью воздушных потоков в тыловой части циклона приводит к формированию зон облачности с ливневыми осадками, грозами, шквалами и метелями в холодный период года. Может наблюдаться от 1 до 3 вторичных фронтов. Система их облачности сходна с системой облачности холодного фронта второго рода, но вертикальная протяженность их меньше, чем на основных фронтах. На рис. 5.3.5 приведена карта метеоявлений с изображением двух полос вторичных холодных фронтов, расположенных за основным холодным фронтом. На вторичных фронтах наблюдается развитие конвективной облачности с ливневыми осадками и отдельными грозовыми очагами.

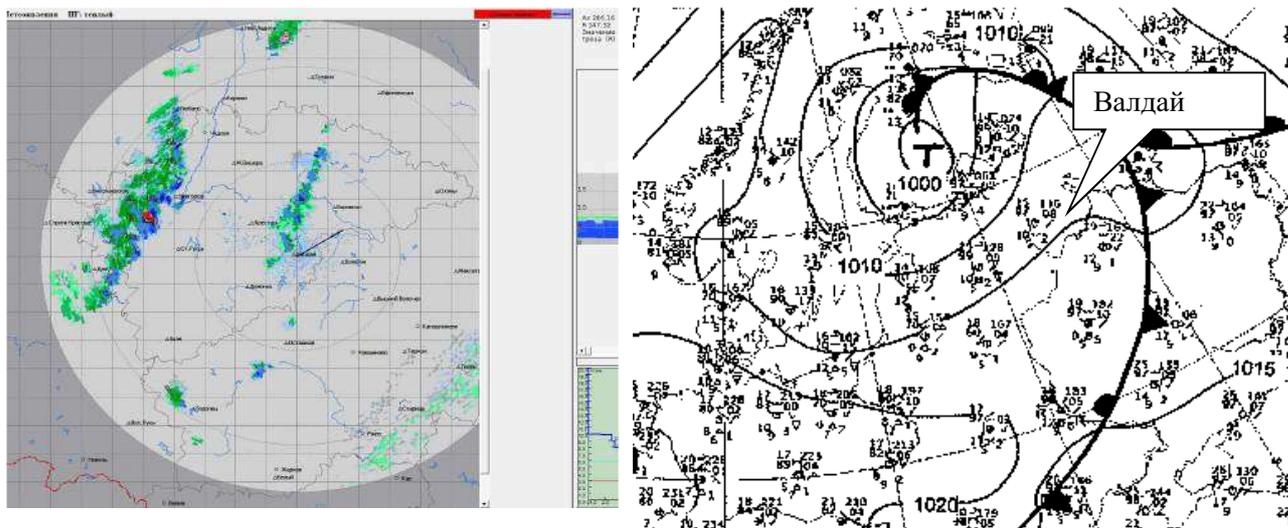


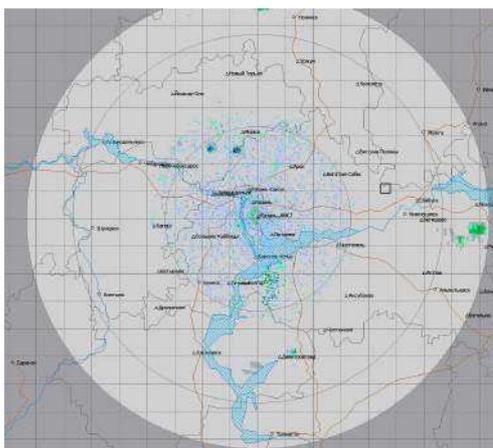
Рисунок 5.3.5 ДМРЛ-С «Валдай» Карта метеоявлений и синоптическая карта при прохождении двух вторичных холодных фронтов 14.08.13 г. в 16:47 ВСВ

### 5.3.4. Внутримассовые грозы на ДМРЛ

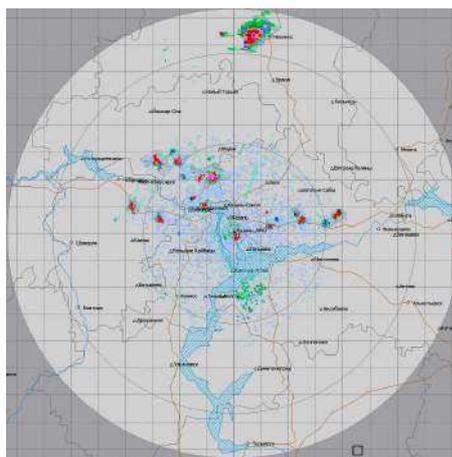
Внутримассовые грозы, к которым относят и грозы на слабовыраженных вторичных фронтах и линиях конвергенции, возникают над районами с резко меняющимися термическими характеристиками и заметным колебанием шероховатости подстилающей поверхности (на берегах рек, озер, водохранилищ, границы городской застройки).

Пример развития внутримассовой конвекции в малоградиентном поле пониженного давления 06.07.2013 г по ДМРЛ-С «Казань» приведен на рис. 5.3.6. В 07:07 ВСВ радиоэхо практически отсутствовало. После 07:30 ВСВ, по мере прогрева подстилающей поверхности, началось быстрое образование конвективных ячеек с грозами во всей зоне обзора.

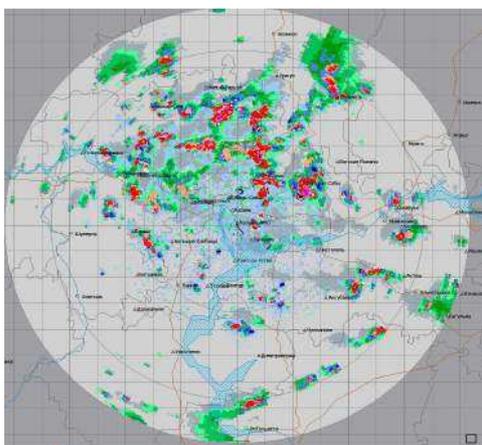
После полудня количество очагов с грозами резко увеличилось (10:27 ВСВ), а к вечеру процесс образования конвективных очагов прекратился.



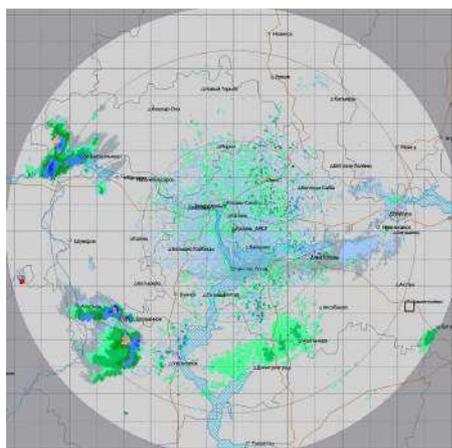
А) Карта метеоявлений 07:07 ВСВ.



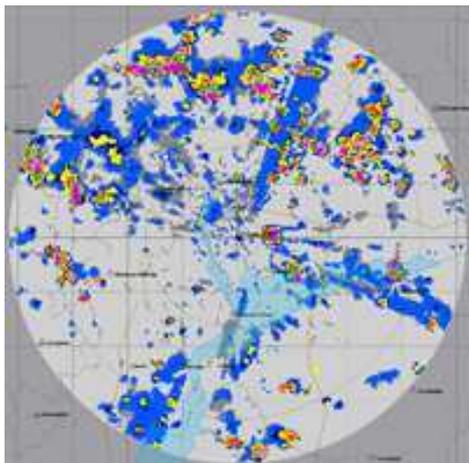
Б) То же в 07:47 ВСВ Развитие конвективных ячеек с грозами.



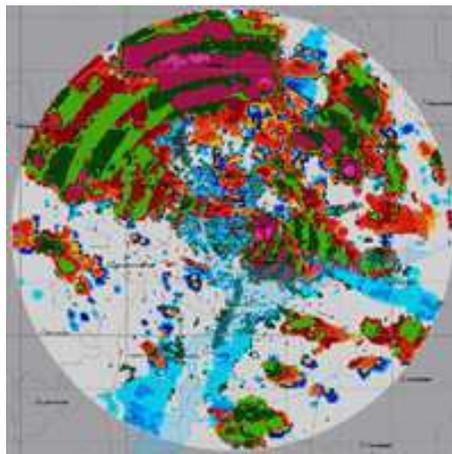
В) То же в 10:27 ВСВ. Максимальное развитие конвекции и гроз.



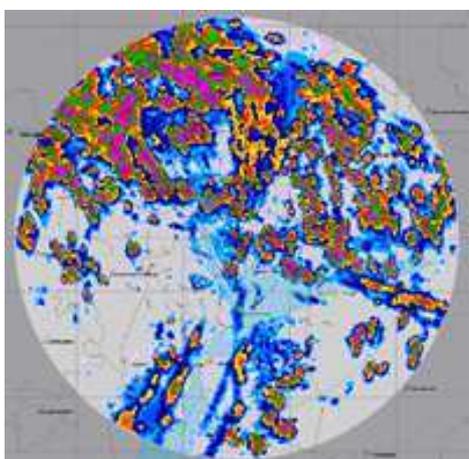
Г) То же в 17:27 ВСВ. Затухание конвекции в вечерние часы.



Д) Карта интенсивности осадков R при максимальном развитии конвекции в 10:27 ВСВ.



Е) Карта Нвго при максимальном развитии конвекции в 10:27 ВСВ.



Ж) Карта сумм выпавших осадков с 06:00 до 10:27 ВСВ.

Рисунок 5.3.6 Пример развития облачности по данным ДМРЛ-С «Казань» 06.07.2013.

Интенсивность ливневых осадков (Рис.5.3.6. Д) при развитии внутримассовых процессов достигает в отдельных ячейках очень высоких значений: на рис. 5.3.6 Д), например, R в некоторых ячейках превышает 100 мм/ч.

Значения Нвго во внутримассовых грозовых ячейках также могут быть не ниже, чем при развитии гроз на атмосферных фронтах. В приведенном примере значения Нвго превышают 12 км (Рис. 5.3.6. Е).

Карта сумм осадков при внутримассовом процессе развития конвекции очень «пестрая», в отличие от карты сумм осадков (рис.5.3.4. Ж), полученной для случая прохождения фронта.

## 5.4. Слоистообразная и кучевообразная облачность при разных синоптических процессах и связанные с ней осадки и ОЯ по данным ДМРЛ. Вертикальные разрезы отражаемости.

### 5.4.1. Слоисто-дождевая облачность на теплом фронте.

Радиоэхо слоисто-дождевой облачности ( $N_s$  и  $N_s-A_s$ ), с которыми связаны обложные осадки, занимает большие площади и имеет довольно однородную структуру радиолокационной отражаемости по горизонтали. Вертикальная протяженность зон  $N_s$ , как и значения  $Z$ , обычно меньше по сравнению с характеристиками конвективной облачности.

Радиоэхо слоисто-дождевых облаков характеризуется небольшой временной и пространственной изменчивостью.

Одной из особенностей радиоэха обложных осадков является наличие в них «яркой полосы» – зоны повышенной (на 5÷10 дБ) отражаемости на вертикальном профиле  $Z$  толщиной порядка 300-500 м, располагающейся немного ниже уровня нулевой изотермы [8]. «Яркая полоса» возникает в районе нулевой изотермы при переходе частиц осадков из твердой в жидкую фазу, при этом сначала происходит слипание отдельных снежинок в присутствии капель воды в снежные хлопья, которые имеют существенно больший размер по сравнению со снежинками и дождевыми каплями. По мере падения они обводняются – покрываются жидкой пленкой, и воспринимаются радиолокатором как большие капли воды (у капель и ледяных сфер одного размера отражаемость различается в 5 раз) – в результате  $Z$  резко возрастает. При дальнейшем падении происходит таяние и разделение обводненных твердых частиц на отдельные дождевые капли обычных размеров – в результате  $Z$  падает. Так формируется высотный максимум отражаемости  $Z$ .

На рис. 5.4.1 изображена карта метеоявлений ДМРЛ-С «Архангельск» за 18.08.13 04:47BCB при прохождении обширной зоны слоисто-дождевой облачности, образовавшейся на теплом фронте, с проведенным вдоль фронтальной облачности вертикальным разрезом.

На вертикальном разрезе хорошо видна «яркая полоса», верхняя граница которой находится на высоте 2.5 – 2.6 км. Высота нулевой изотермы в это время по данным аэрологического зондирования составляла 2600 м.

Наблюдения на сети ДМРЛ-С показали, что верхняя граница «яркой полосы» с точностью до 100 - 200 м совпадает с высотой нулевой изотермы.

Следует отметить, что в Сб с распадающимися грозами, где отсутствуют вертикальные движения, «яркая полоса» также зачастую прослеживается.

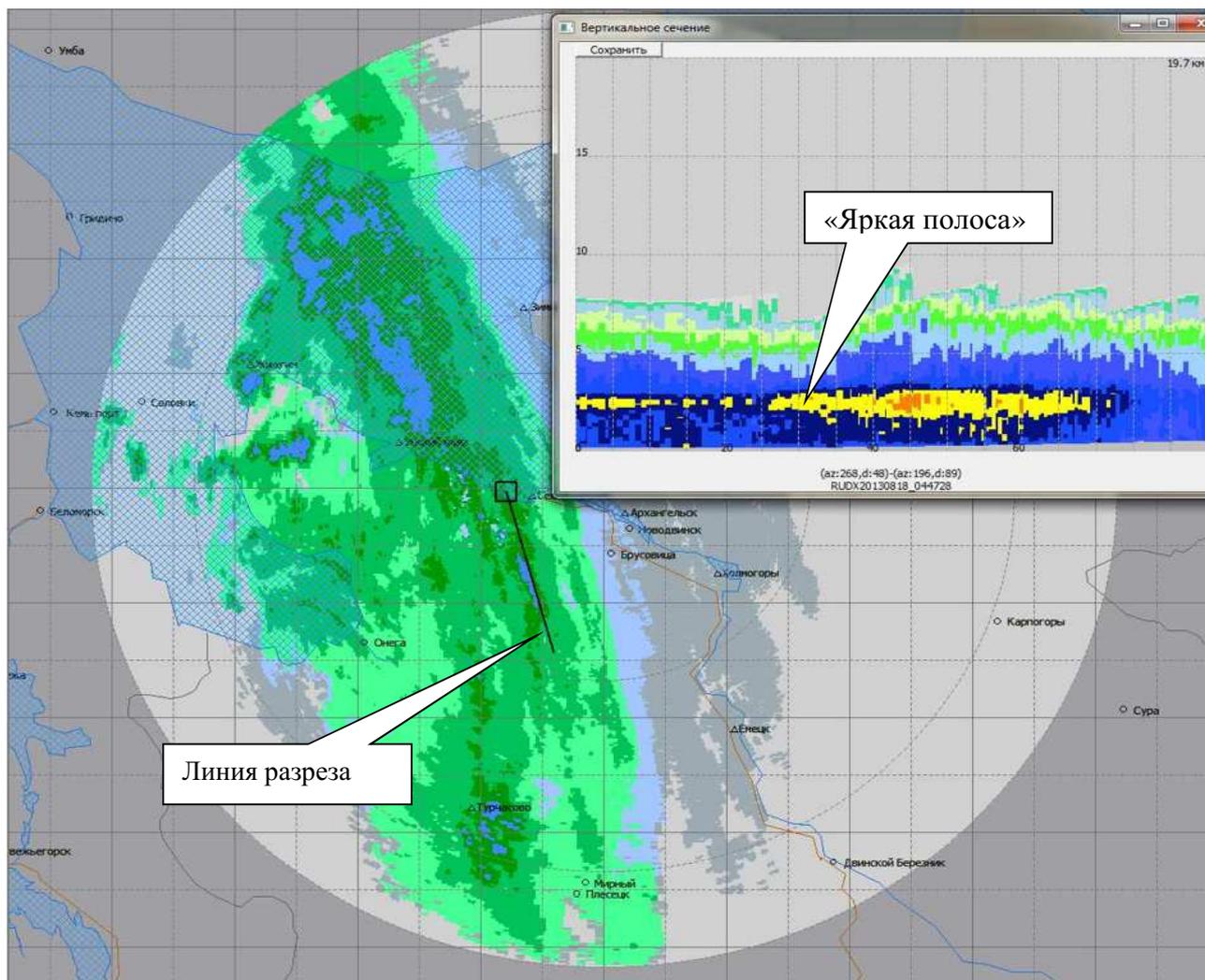


Рисунок 5.4.1 Карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Архангельск». Зона слоисто-дождевой облачности с вертикальным разрезом, иллюстрирующим наличие «яркой полосы».

#### 5.4.2. Слоисто-дождевая облачность фронта окклюзии

Фронты окклюзии образуются в результате смыкания движущихся с разной скоростью теплого и холодного фронтов: холодный фронт, двигаясь быстрее теплого, настигает последний, образуется сложный фронт с облачной системой обоих фронтов в верхней части, где некоторое время продолжают сохраняться верхние участки теплого и холодного фронтов. Теплый воздух вытесняется при этом наверх.

Фронтам окклюзии во все периоды года соответствуют обширные площади облаков (слоисто-дождевых и кучево-дождевых), протяженные зоны осадков. Примером

отображения на ДМРЛ-С фронта окклюзии может служить ситуация 28.11.13, когда вблизи Костромы находилась точка окклюзии (рис. 5.4.2).

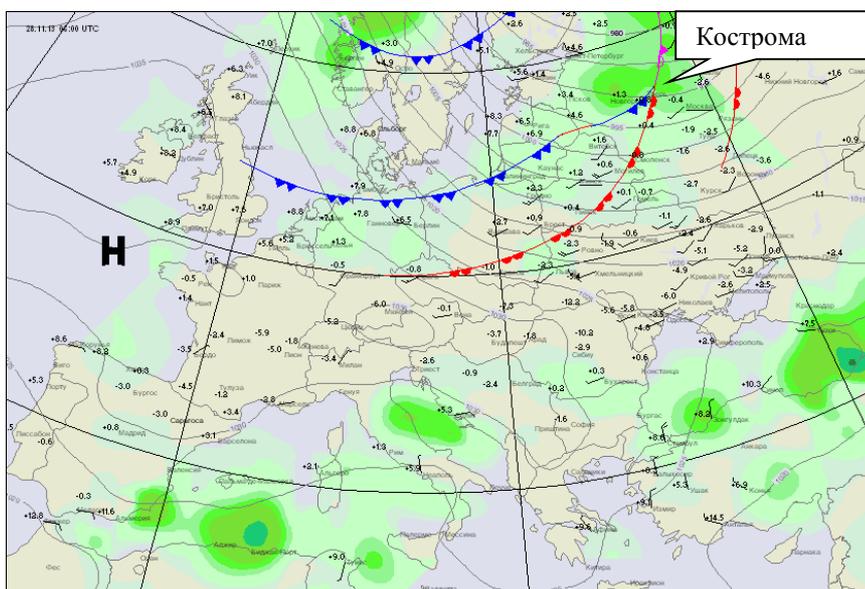


Рисунок 5.4.2 Фронт окклюзии с точкой окклюзии вблизи Костромы 28.11.13. 06:00 ВСВ.

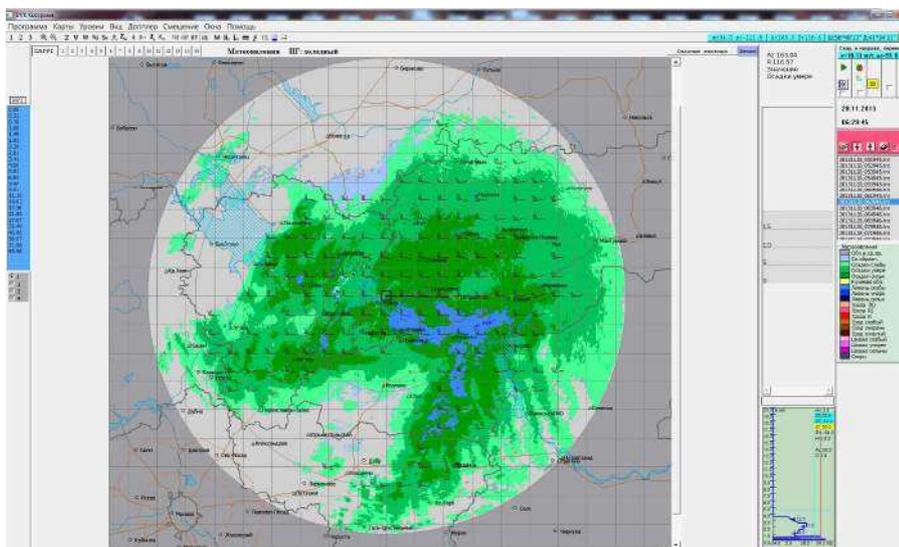


Рисунок 5.4.3 Радиоэхэ (карта метеоявлений) фронта окклюзии вблизи точки окклюзии по ДМРЛ-С «Кострома» 28.11.13 06:29 ВСВ.

### 5.4.3. Облачность центра молодого циклона

При расположении вблизи ДМРЛ-С центра молодого циклона радиоэхэ имеет форму «запятой», с выраженной вихревой структурой массива слоисто-дождевой и кучево-дождевой облачности (рис. 5.4.5).

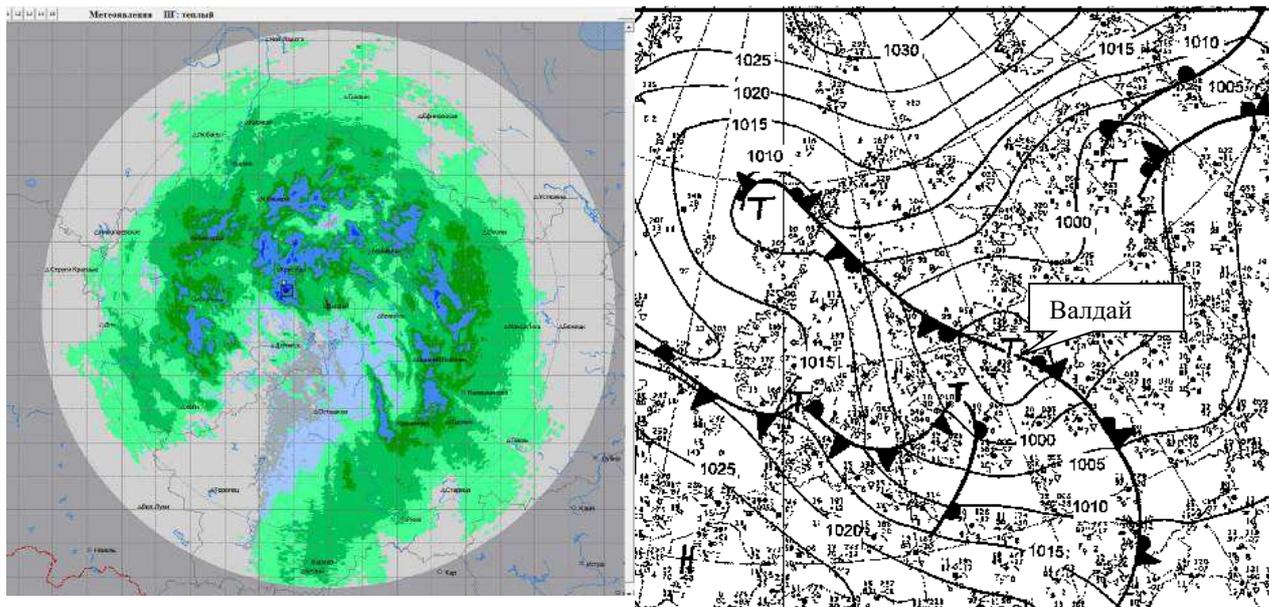


Рисунок 5.4.5 Радиозэхо вблизи центра молодого циклона 23.09.13 05:00 ВСВ по ДМРЛ-С «Валдай».

#### 5.4.4. Облачность центра заполняющегося циклона

При расположении вблизи ДМРЛ-С центра заполняющегося циклона радиозэхо отображается в виде круга почти сплошной облачности, в основном Ns, расположенной вокруг локатора. В режиме просмотра последовательных карт метеоявлений зачастую четко прослеживается циклоническая циркуляция радиозэха облачности. На рис. 5.4.6 приведена синоптическая карта за 02.12.13 г., 03:00 ВСВ. Центр заполняющегося циклона расположен вблизи Костромы.

На рис. 5.4.7 приведена карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Кострома» вблизи центра циклона за 05:19 ВСВ 02.12.13 г, на которой радиозэхо расположено вокруг локатора, скорость перемещения мала и составляет 4 м/с (14.5 км/ч), что характерно для центра малоподвижного заполняющегося циклона.

В центральной части полностью окклюдированного циклона начинают появляться безоблачные участки.

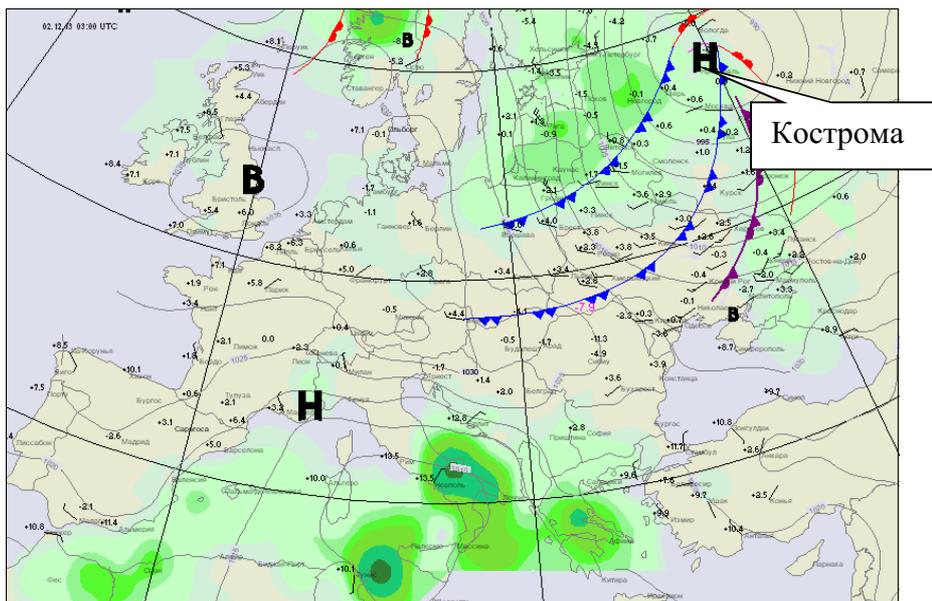


Рисунок 5.4.6 Синоптическая карта за 02.12.13 г. с расположенным вблизи Костромы центром окклюдированного заполняющегося циклона.

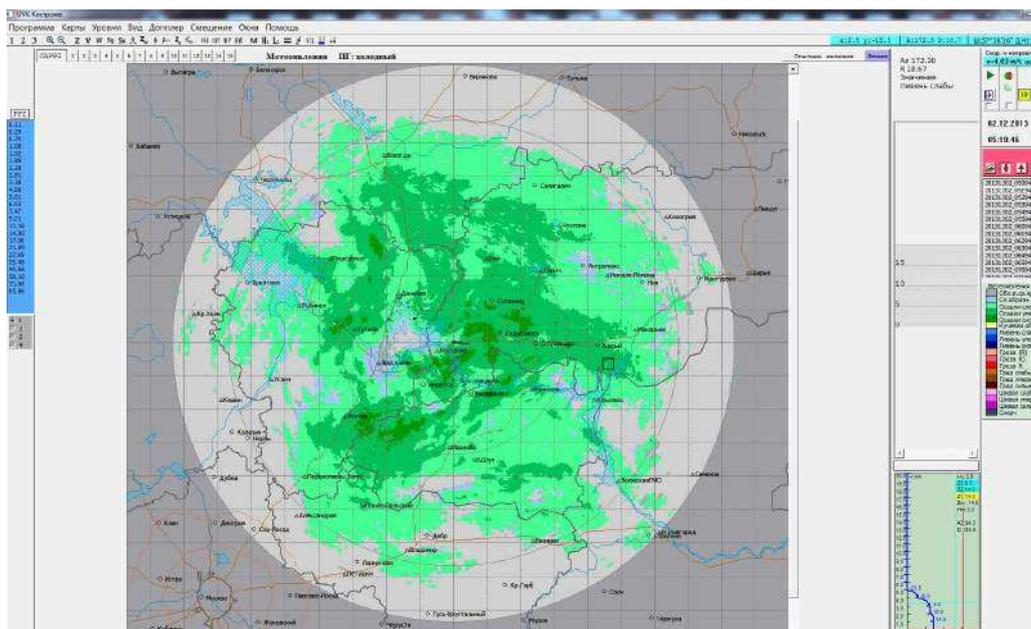


Рисунок 5.4.7 Карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Кострома» вблизи центра окклюдированного заполняющегося циклона 02.12.13г. 05:19 ВСВ.

### 5.4.5. Кучево-дождевая облачность с ливнями за холодным фронтом.

Радиоэхо кучево-дождевых облаков с выпадающими осадками и грозами имеет вид ячеек и полос.

На рис. 5.4.8 приведена карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Брянск» за 23.09.13 г. 11:00. Ситуация на карте характеризуется наличием прошедшей через Брянск зоны

облачности холодного фронта и зафронтальным развитием конвективных ячеек с небольшими высотами верхней границы облачности в холодной воздушной массе.

Вертикальный разрез по азимуту 250 градусов в направлении конвективной ячейки показывает типичную структуру облаков вертикального развития, не достигших стадии грозовых, сопровождающихся ливневыми осадкам – радиоэхо в виде столбов, с небольшими высотами – в данном примере Нвго составляет менее 3 км.

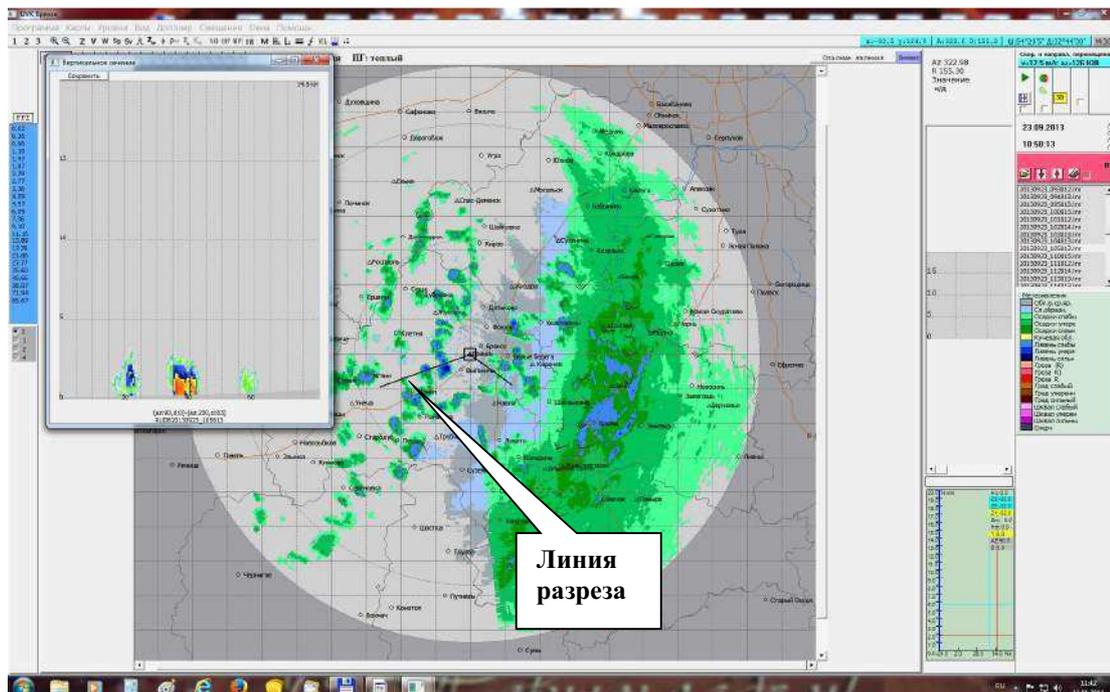


Рисунок 5.4.8 Карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Брянск». За облачностью холодного фронта – развитие ливневых конвективных ячеек.

#### 5.4.6. Кучево-дождевая облачность с грозами на холодном фронте

На рис. 5.4.9 приведена карта метеоявлений при прохождении холодного фронта с формированием конвективных образований по ДМРЛ-С «Ставрополь» за 03.08.13 г., 12:07 ВСВ. Вертикальный разрез по указанной в направлении ССВ линии от Ставрополя через конвективное образование позволяет увидеть профиль облачности в заданном направлении 27 градусов, ее верхнюю и нижнюю границы, «столбы» конвективных образований с р/л отражаемостями не менее 30 dBZ (желтый цвет) и высотой верхней границы облачности порядка 11-13 км. Радиоэхо на удалениях от 32 до 85 км достигает поверхности земли, следовательно, имеют место интенсивные ливневые осадки.

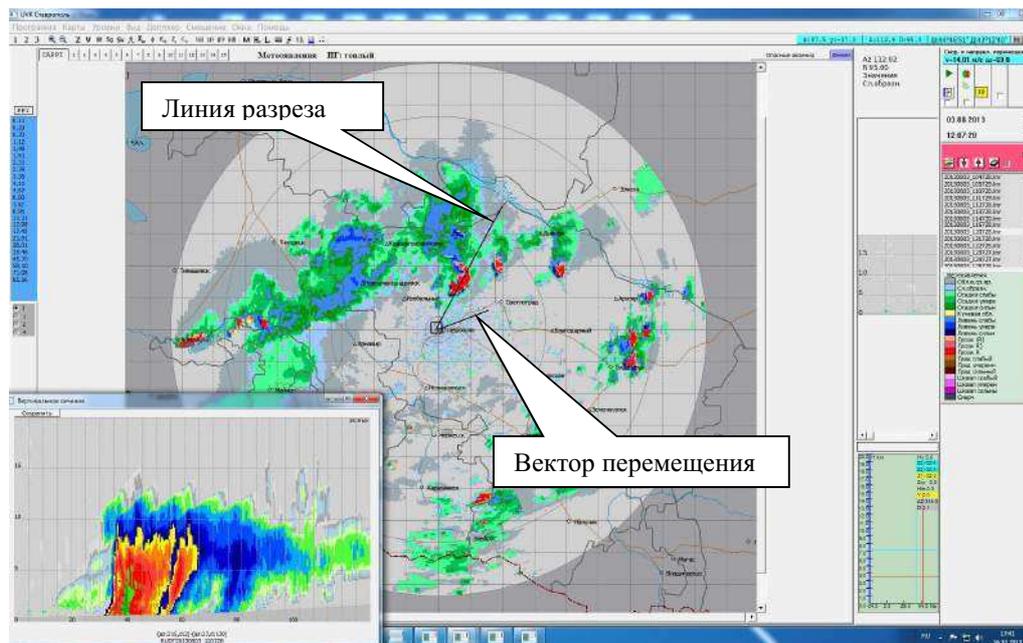


Рисунок 5.4.9 Прохождение холодного фронта с формированием конвективных образований по ДМРЛ-С «Ставрополь» за 03.08.13, 12:07 ВСВ.

#### 5.4.7. Внутримассовая кучево-дождевая облачность.

На рис. 5.4.10 приведена карта метеоявлений при развитии внутримассовых грозовых очагов по ДМРЛ-С «Казань» за 06.07.13 г. 09:17 ВСВ. На вертикальном разрезе по азимуту  $95^\circ$  радиоэхо грозовых Сb имеет большую вертикальную протяженность - выше 10 км и почти постоянную отражаемость в достаточно узком вертикальном столбе.

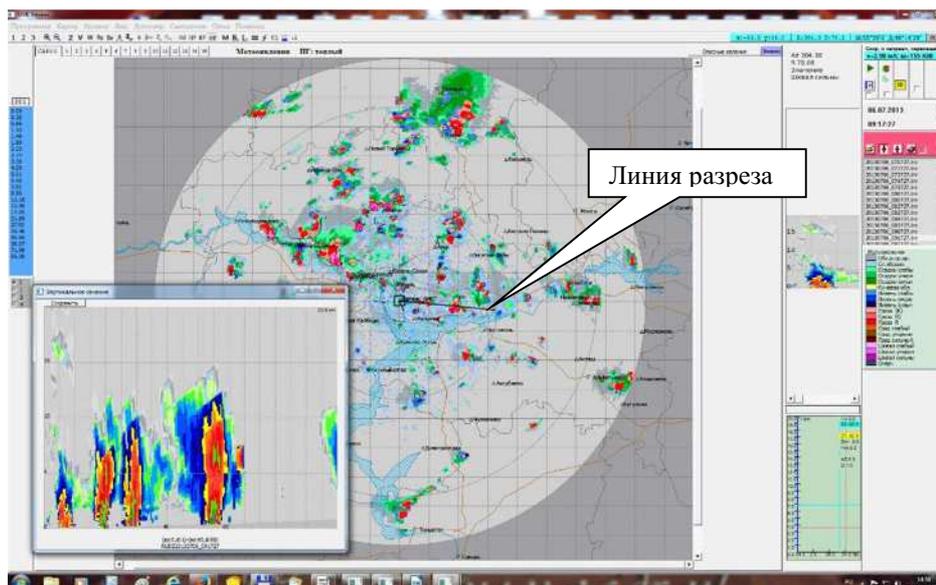


Рисунок 5.4.10 Карта метеоявлений при развитии внутримассовых гроз по ДМРЛ-С «Казань» 06.07.13, 09:17 ВСВ. Вертикальный разрез вдоль грозовых очагов.

Для внутримассовых ситуаций характерен небольшой вектор перемещения облачности. В случае на рис. 5.4.9. он составляет 3 м/с ( 11 км/ч).

### 5.5. Измерение осадков радиолокационным методом.

Карта интенсивности осадков ДМРЛ-С является важным прогностическим продуктом. Интенсивность осадков ( $R$ , мм/ч), т.е слой воды, падающий на единичную площадку в единицу времени, зависит от концентрации и спектра размеров капель и скорости их падения относительно Земли. В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» алгоритм расчета интенсивности осадков основан на использовании известного  $Z$ - $R$  соотношения, полученного Маршаллом и Пальмером при микрофизических исследованиях частиц осадков и их распределения по размерам (формула Маршалла – Пальмера) [8,9]:

$$Z = A \cdot R^b$$

где  $R$  – интенсивность осадков, в мм/ч,  $Z$  – р/л отражаемость, мм<sup>6</sup>/м<sup>3</sup>,  $A=200$  и  $b=1,6$  – константы.

В «ГИМЕТ-2010» интенсивность осадков определяется через значения радиолокационной отражаемости  $Z$  на специальном уровне  $H_1$  (0.6 км над местом установки ДМРЛ-С).

Как правило, к обложным осадкам (выпадающим из слоистообразных форм облачности) относят осадки интенсивностью от 0.6 до 3 мм/ч, к ливневым (выпадающим из кучево-дождевой облачности) – с интенсивностью более 3 мм/ч [9].

В авиационной метеорологии [11] приняты несколько иные критерии осадков:

сильный дождь –  $R > 4$  мм/ч,

сильный ливень –  $R > 10$  мм/ч.

Сильные осадки являются фактором риска для авиации [11].

Ливневые дожди интенсивностью не менее 30 мм/ч, смешанные осадки не менее 50 мм, выпавшие не более чем за 12 часов, а также снег не менее 20 мм, выпавший не более чем за 12 часов, по документам Росгидромета, относятся к стихийным гидрометеорологическим явлениям [17]. На рис. 5.5.1 представлена карта интенсивности осадков.

Анализируя карту интенсивности осадков, можно отслеживать местоположение зон осадков с интенсивностями выше 3 мм/ч (желтый цвет), соответствующих ливневым осадкам, выпадающим из конвективных облаков, а также местоположение зон наиболее

интенсивных осадков - не менее 30 мм/ч (темно-зеленый цвет), видимость в которых снижается до значений ниже 1000м [17], и сама по себе интенсивность осадков более 30 мм/ч является, как указывалось выше, стихийным гидрометеорологическим явлением.

Анализируя карту осадков, с нанесенным на ней вектором перемещения, можно прогнозировать смещение зон интенсивных осадков и рассчитывать время подхода зоны интенсивных осадков к тому или иному населенному пункту.

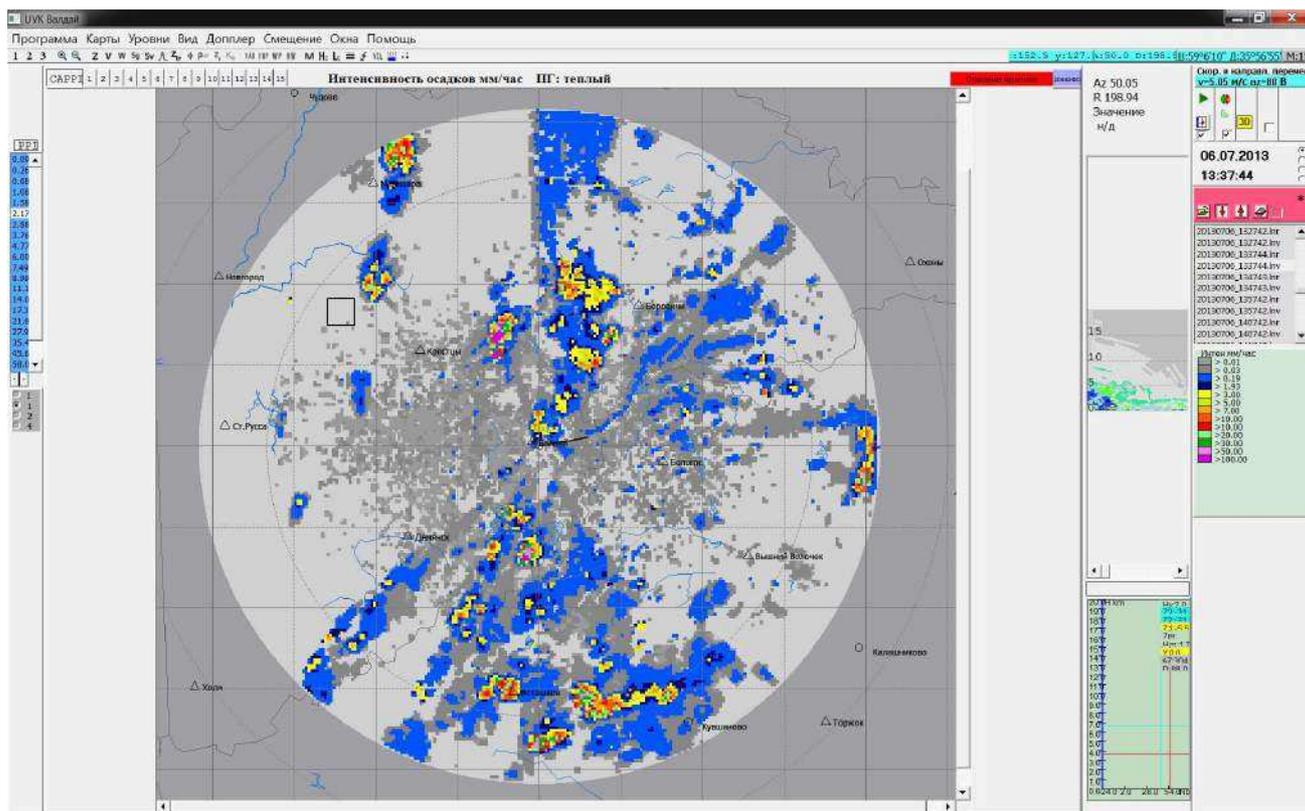


Рисунок 5.5.1 Карта интенсивности осадков.

Суммирование осадков на ДМРЛ-С предусмотрено за 12, 24 часа. Обнуление сумм происходит в сроки, ближайšie к 06:00 и к 18:00 ВСВ.

На рис. 5.5.2 приведена карта сумм осадков за 12 часов на ДМРЛ-С «Смоленск».

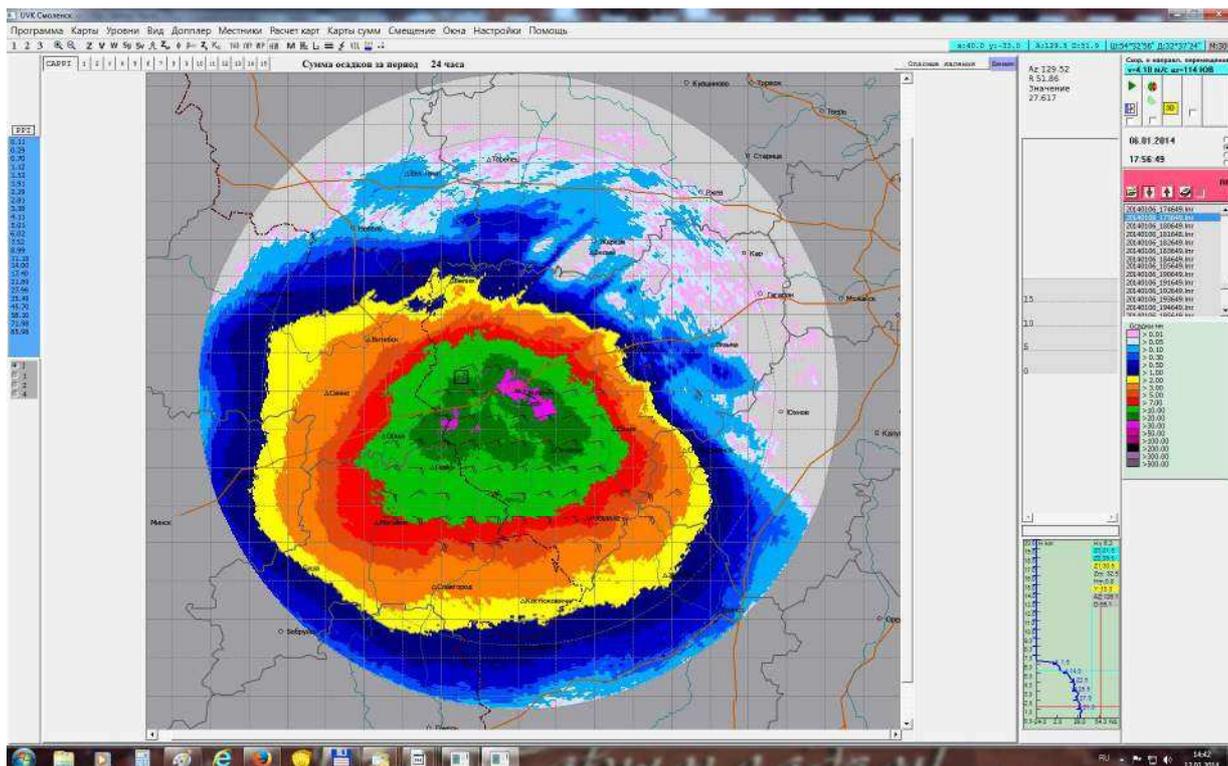


Рисунок 5.5.2 Карта сумм осадков за 12 часов по ДМРЛ-С «Смоленск».

В силу свойств распространения радиоволн сантиметрового диапазона, предельная дальность обнаружения метеообъектов не превышает дальности прямой радиовидимости. И если радиолуч на нижнем угле на удалении 60 км поднимается на 220 м, то на 100 км от ДМРЛ-С - уже на 600 м. В табл. 5.5.1 приведены характеристики подъема луча на разных удалениях от ДМРЛ.

Таблица 5.5.1

**Характеристики распространения луча ДМРЛ-С**

Расстояние до локатора, км	10	30	60	100	150	200	250	400
Высота подъема р/л луча, м	6	54	220	600	1350	2400	3750	5400

Поскольку радиолокационная отражаемость Z1 для расчета интенсивностей и сумм осадков измеряется на высоте 600 м над уровнем установки ДМРЛ-С, понятно, что **достоверно осадки измеряются в радиусе 100 км**. За пределами 100 км измеренная Z1 может характеризовать как осадки, так и облачность. Учитывая непрерывность полей облачности, с большой долей вероятности можно предположить наличие осадков и за

пределами 100 км, если туда простирается радиоэхо облачности, в которой осадки наблюдались до 100 км.

В холодный период года верхняя граница облачности в общем существенно ниже, чем в теплый. Поэтому, если в теплый период радиоэхо далее 100 км может быть как облачностью, так и осадками, то в холодный период радиоэхо низкой облачности далее 100 км вообще зачастую не обнаруживается.

На рис. 5.5.3. представлена карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Ижевск» за 04.01.2014 г. Сплошное поле (по спутниковым данным) слоистообразной низкой облачности с Нвго ~ 1.8 км наблюдается на экране только до 100 км от радиолокатора. На большем удалении от ДМРЛ радиолокационный луч выходит из зоны облачности за счет кривизны Земли (рис.6.5 и рис. 6.6), а также сказывается неполное заполнение гидрометеорами импульсного р/л объема.

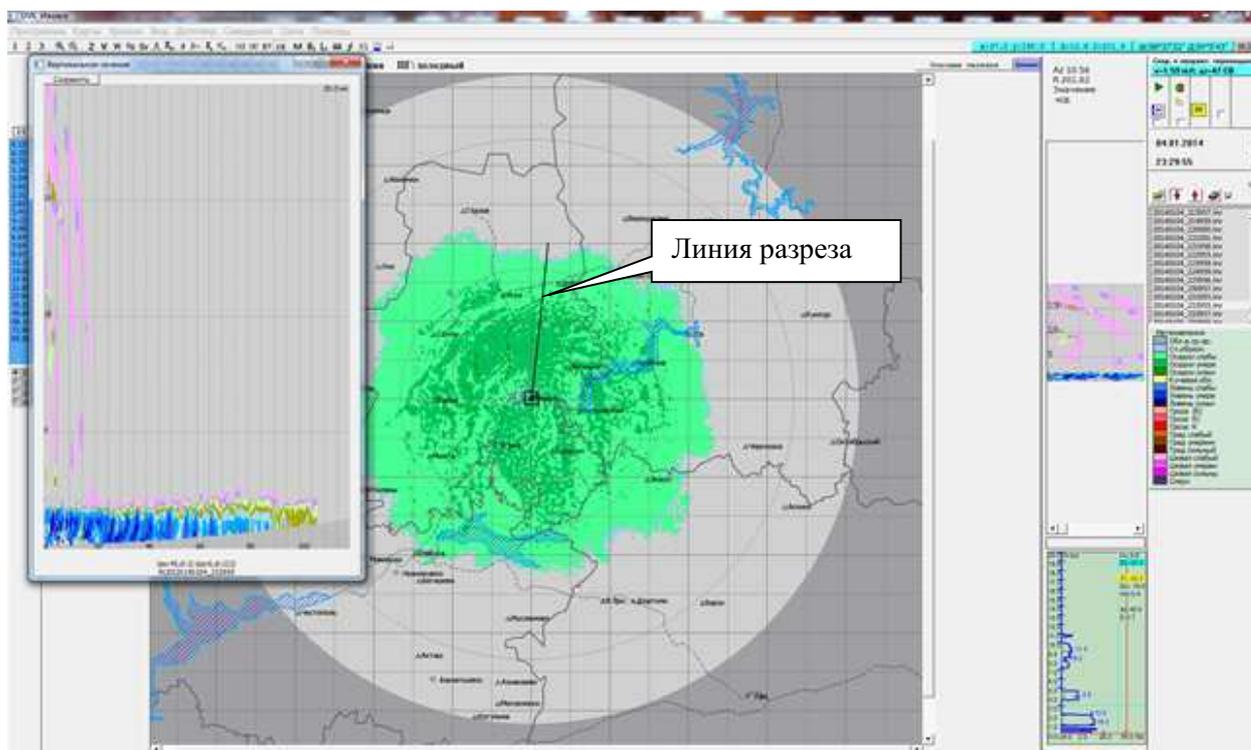


Рисунок 5.5.3 Карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Ижевск» за 04.01.2014 г с зоной низкой облачности.

## 5.6. Обнаружение шквалов и смерчей.

«Шквалом считается внезапное резкое усиление ветра в течение короткого времени, сопровождающееся изменением его направления» [23]. Скорость ветра при шквале обычно превышает 20 – 30 м/с, продолжительность явления обычно составляет несколько минут. Шквалы всегда связаны с кучево-дождевой облачностью и формирующимся в ней вихревым движением воздуха (с горизонтальной осью). Различают внутримассовые и фронтальные шквалы. Скорость ветра под передней частью Сб обычно больше, чем под тыловой. Разность скоростей под передней и тыловой частями мощных Сб может превышать 20 м/с [9]. Возникающий при перемещении полосы фронтальных Сб «фронт порывистости» может опережать передний край зоны ливневых осадков на 10 – 15 км.

Шквалы над территорией РФ наблюдаются при прохождении Сб с высотами радиоэха от 8 до 16 км; при меньшей высоте Нвго они наблюдаются редко [9].

В редких случаях в Сб могут возникать смерчи – маломасштабные вихри под Сб с приблизительно вертикальной, но часто изогнутой осью. Смерч образуется в жаркую погоду под хорошо развитым кучево-дождевым облаком и распространяется от поверхности земли или водоема в виде гигантского темного вращающегося столба или воронки диаметром в несколько десятков м. Внутри смерча скорость ветра достигает 20-30 м/с и более. Смерч чаще всего сопровождается ливневым дождем и грозой, иногда градом. Возникновение смерчей связано с особо сильной неустойчивостью стратификации атмосферы в нижних слоях.

Для идентификации шквалов (слабый, умеренный, сильный), связанных с Сб, в соответствии с методикой, разработанной под руководством Б.Е.Пескова и приведенной в [13], используются два параметра:

- Z3 – значение отражаемости на специальном высотном уровне, высота которого превышает нулевую изотерму на 2,0-2,5 км,
- ΔН – превышение верхней границей Сб уровня тропопаузы.

Для идентификации смерчей используются значения Z3 и Zmax (максимальной отражаемости в слое выше 1 км) и ΔН (превышения верхней границей Сб уровня тропопаузы).

Пример шквала по данным ДМРЛ-С «Мин.Воды» приведен для 03.08.13 11:47 ВСВ, когда через Кисловодск проходила конвективная зона с высотами Нвго до 14 км и отражаемостями в столбе до 60 dBZ (рис. 5.6.1, вертикальный разрез). Метеостанция Кисловодск зафиксировала шквалистое усиление ветра между сроками 09:00 и 12:00 ВСВ.

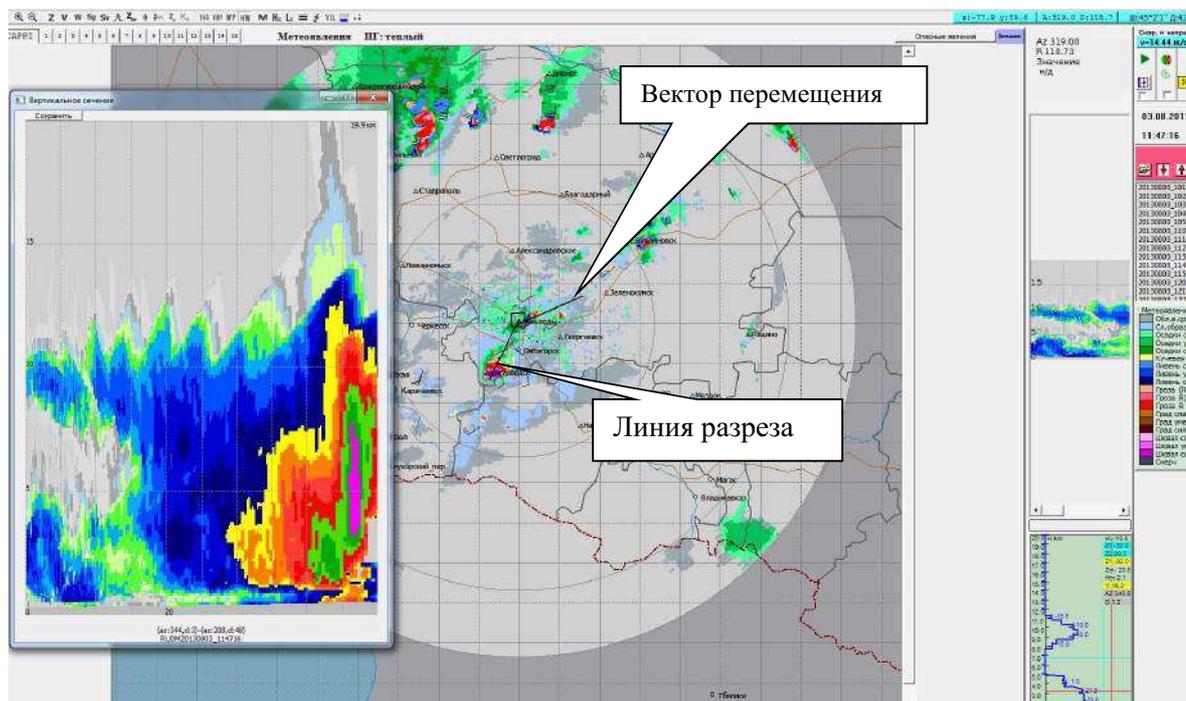


Рисунок 5.6.1 Карта метеоявлений 03.08.13 11:47 ВСВ с грозовой зоной, сопровождаемой сильным шквалом, по ДМРЛ-С «Мин. Воды» и вертикальный разрез зоны шквалов.

Ввиду малых размеров, непосредственное обнаружение смерча с помощью ДМРЛ-С проблематично, однако возможно определение зон с сильными грозами, шквалами и неоднородностями доплеровской скорости, в которых возникают смерчи.

Так, 22 мая 2013 г. в г. Ефремов Тульской области наблюдалось прохождение смерча, сопровождавшегося грозой, и нанесшего большой ущерб городскому хозяйству - от сильного ветра были повреждены около 100 зданий, большинство из которых жилые дома, повалены десятки деревьев и осветительные столбы.

По информации ДМРЛ-С «Брянск», по периферии зоны его обзора в 09:28 - 09:58 ВСВ наблюдалось прохождение в сторону Ефремова быстро развившегося конвективного образования. В 09:38 в нем наблюдались только грозы (рис. 5.6.2),  $H_{\text{ВГО}}$  достигала 10 км, а уже в 09:58 (рис. 5.6.3) в нем наблюдались, кроме гроз также сильные шквалы. При этом, высота  $H_{\text{ВГО}}$  превышала уровень тропопаузы и достигала 13 км. В 10:08 конвективное образование ушло из зоны обзора ДМРЛ-С «Брянск».

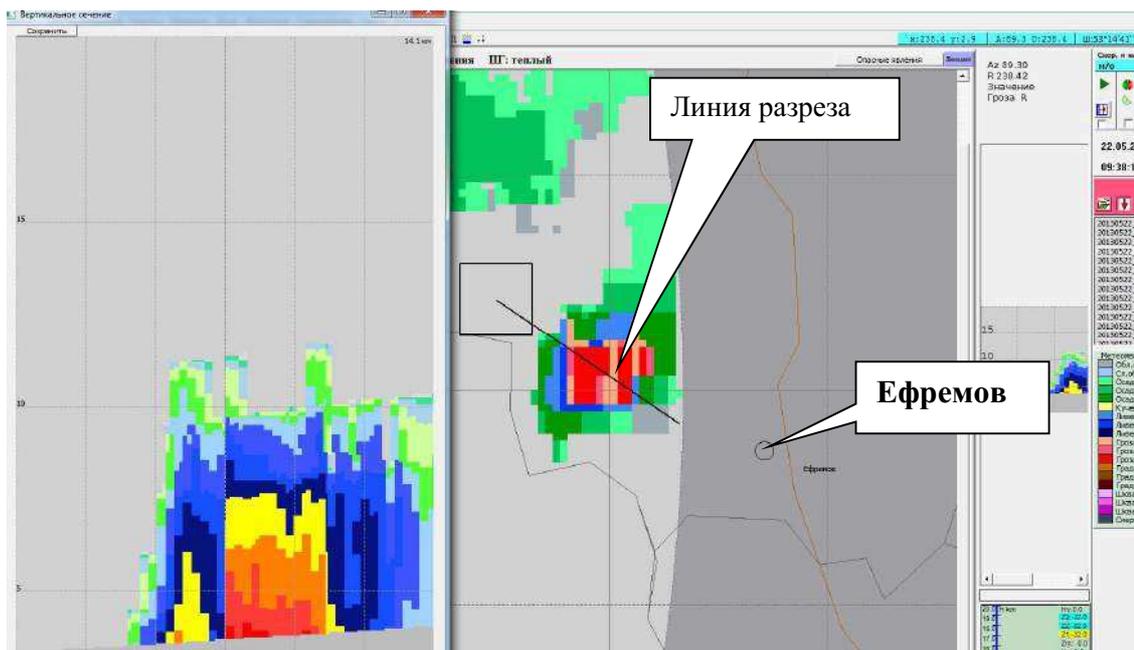


Рисунок 5.6.2 Фрагмент карты метеоявлений 22.05.13 в 09:38 ВСВ с грозовой зоной по ДМРЛ-С «Брянск» и вертикальный разрез через зону гроз, перемещающуюся в сторону Ефремова.

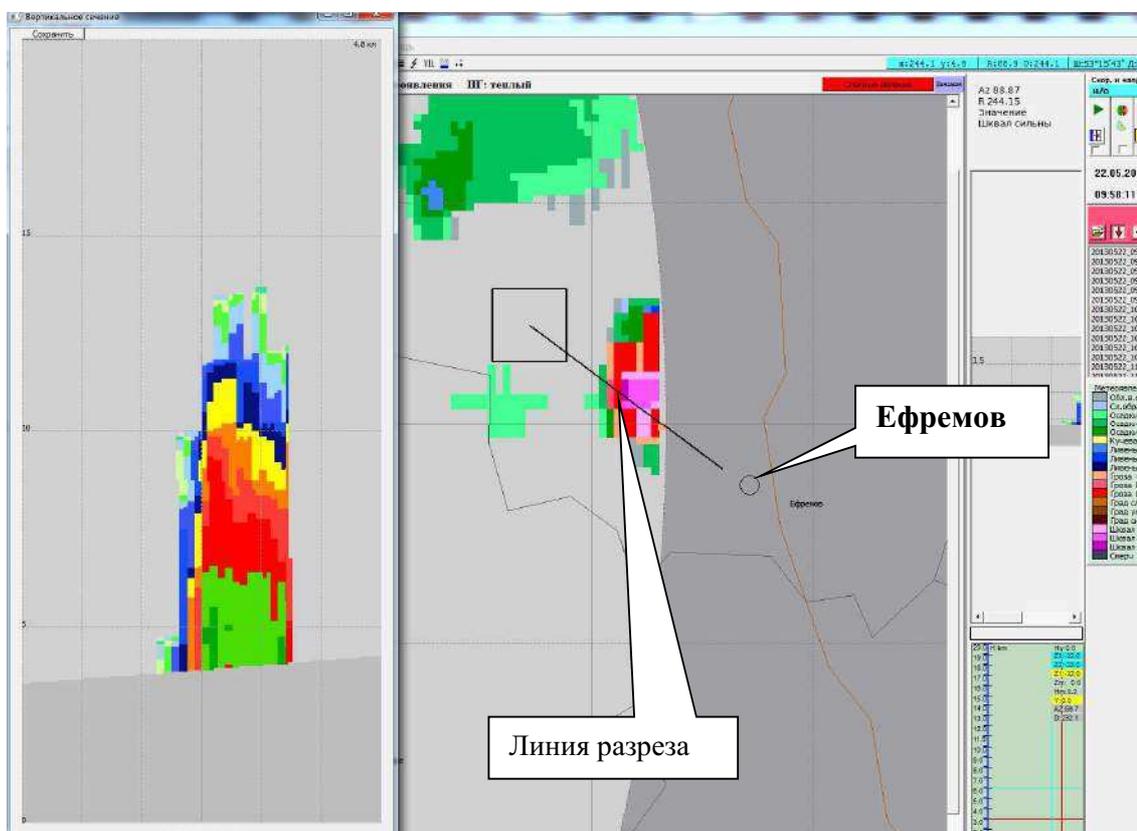


Рисунок 5.6.3 Фрагмент карты метеоявлений через 20 минут (09:58 ВСВ), с грозовой зоной, сопровождаемой сильным шквалом.

### 5.7. Вектор перемещения и карты горизонтального ветра.

Для характеристики переноса облачных систем в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» рассчитывается вектор перемещения по максимуму коэффициента корреляции между двумя последовательными картами максимальной отражаемости  $Z_{max}$ . Необходимо учитывать, что вектор перемещения характеризует как собственно пространственный перенос облачности, так и трансформацию их границ в процессе их внутреннего развития. Вектор перемещения отображается на всех картах ДМРЛ-С и представляет собой отрезок, начинающийся в месте расположения ДМРЛ-С. Вектор указывает направление перемещения, а его длина соответствует расстоянию, на которое переместится поле облачности в зоне радиолокационного обзора за 1 час.

Низкие значения скорости перемещения при наличии радиоэха являются признаком отсутствия переноса (в условиях гребня, антициклона), а зачастую - признаком аномального радиоэха в условиях сверхрефракции радиоволн.

Высокие значения скорости перемещения, отмечающиеся в течение нескольких часов, зачастую являются признаком расположения вблизи данного ДМРЛ-С на высотах 8 – 10 км струйного течения со скоростями ветра, превышающими 100 км/ч, что является важной информацией для авиационных синоптиков.

На рис. 5.7.1 приведен пример карты метеоявлений ДМРЛ-С «Кострома» за 28.11.13, на которой изображен приближающийся к Костроме теплый фронт. Скорость смещения зоны облачности в этот срок и в течение нескольких часов была достаточно велика - порядка 21 м/с (около 80 км/ч). В это время над ЕТР на высотах 9-10 км располагалось струйное течение со скоростями ветра более 30 м/с.

При нажатой кнопке меню HW на картах, в т.ч. и на карте метеоявлений, отображается дополнительный графический слой (наноска) векторов горизонтального ветра, который может накладываться на другие карты и показывать направление и скорость горизонтального ветра на соответствующей высоте. Векторы для удобства имеют вид используемых в метеорологии «стрелок с оперением», указывающих направление ветра и его скорость (по количеству штрихов или треугольников оперения). На карте метеоявлений векторы горизонтального ветра приводятся для высоты 3 км над уровнем моря, для остальных карт – на соответствующих для них уровнях.

Как правило, в случае однородного переноса облачности в зоне обзора ДМРЛ-С характеристики вектора перемещения, определенного методом корреляционного анализа,

хорошо согласуются с наноской НВ. На рис 5.7.1 скорости горизонтального ветра составляют 20-25 м/с, направление – ЗСЗ, что соответствует вектору перемещения: 20.7 м/с и 102°).

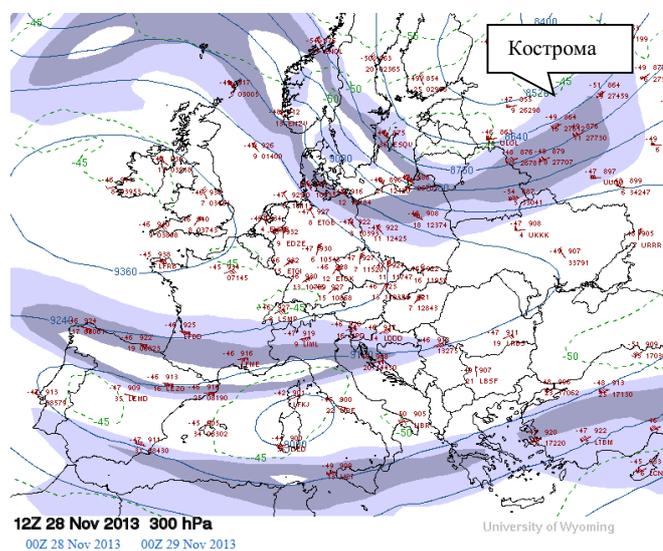
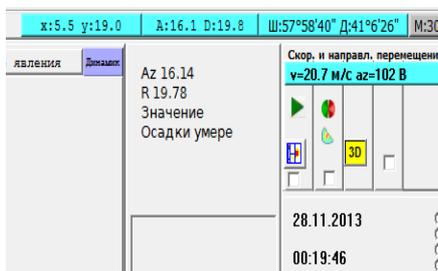
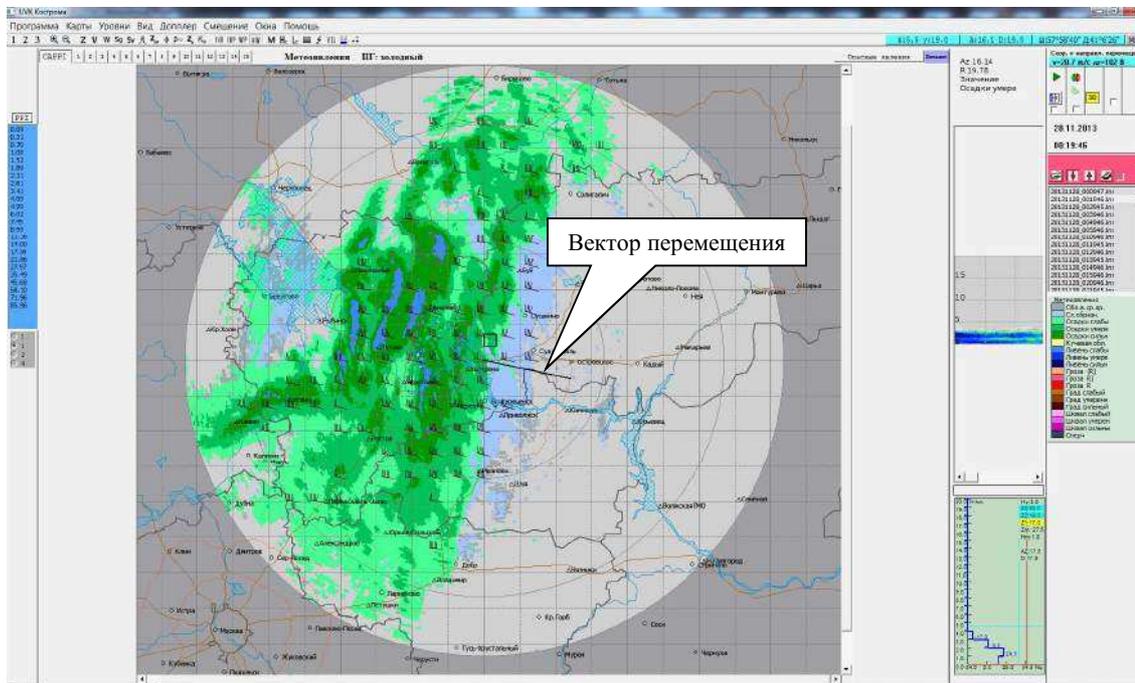


Рисунок 5.7.1 Карта метеоявлений с нанесенным вектором перемещения облачных систем (указан стрелкой) и значениями горизонтального ветра ДМРЛ-С «Кострома».

Скорость перемещения велика – 20.7 м/с. В это время над ЕТР на 300 гПа располагалось струйное течение.

Однако в некоторых случаях (например, на рис.5.7.2 и 5.7.3), когда имеет место вихревой процесс, значения вектора перемещения и горизонтальный ветер не совпадают и даже имеют противоположные направления. Для расчета векторов горизонтального ветра

в «ГИМЕТ-2010» используется алгоритм VAD [3]. Этот алгоритм предполагает наличие горизонтальной однородности (или линейной зависимости от расстояния) поля скорости. В этом случае зависимость радиальной горизонтальной компоненты вектора скорости от азимута будет описываться синусоидой, параметры которой связаны с модулем и направлением скорости ветра [8]. В случае неоднородности поля ветра направления векторов в продукте HW, использующем алгоритм VAD, не совсем правильно отображают реально существующие потоки, но все же дают некоторое представление об их завихренности. В случаях существенных ошибок алгоритма VAD векторы HW будут направлены хаотически в разные стороны. На рис.5.7.2 вектор перемещения направлен на ВЮВ, скорость его 7.3 м/с, а горизонтальный ветер имеет практически противоположное направление – векторы HW направлены на ЗСЗ, а их скорости составляют 7 – 10 м/с.

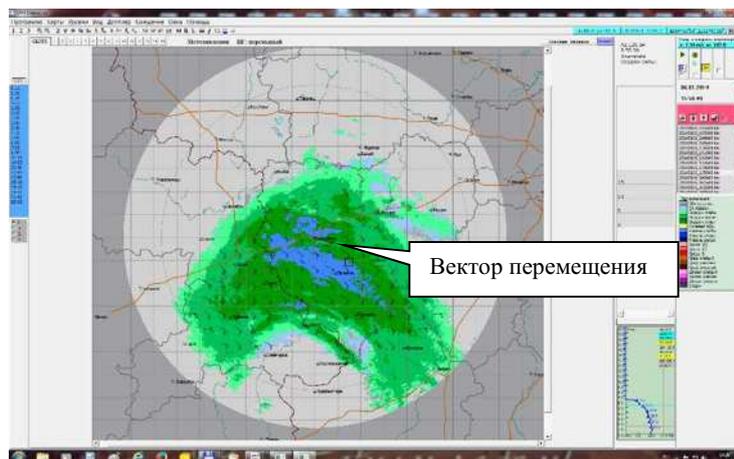


Рисунок 5.7.2 Карта метеоявлений с разнонаправленным вектором перемещения облачных систем и векторами горизонтального ветра ДМРЛ-С «Смоленск» 06.01.14 г.

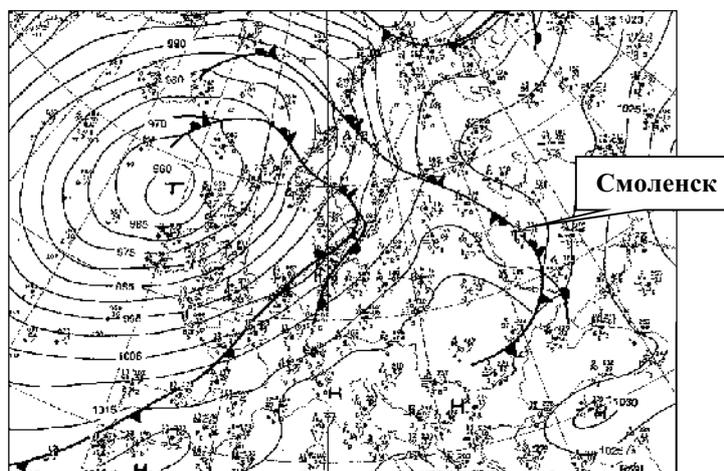


Рисунок 5.7.3 Синоптическая карта 06.01.14 г. Волна на фронте в районе Смоленска с формирующейся циклонической циркуляцией.

## 5.8 Сверхкраткосрочный прогноз метеоявлений на основе использования вектора перемещения зон облачности и осадков

В оперативной синоптической практике информация ДМРЛ-С, наряду с другими видами информации, служит для уточнения прогнозов общего пользования, для составления штормпредупреждений об опасных явлениях погоды.

Используя вектор перемещения, можно прогнозировать с большой точностью начало осадков в пункте, приближение грозового фронта и т.д.

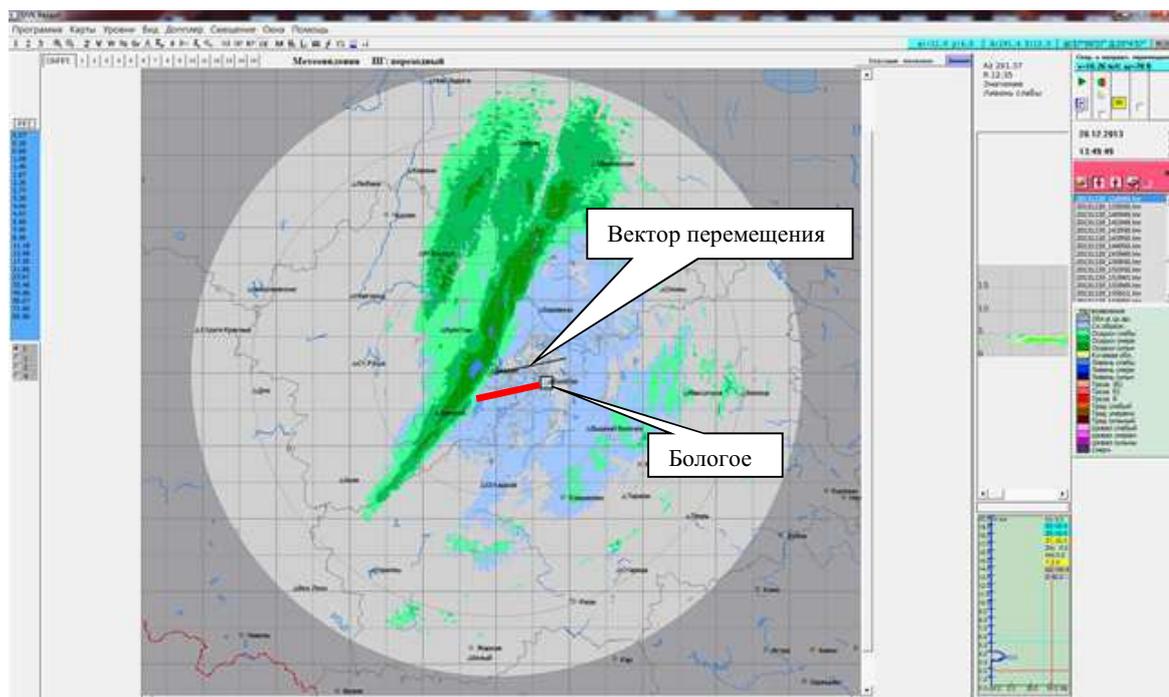


Рисунок 5.8.1 Прохождение холодного участка фронта 20.12.13 г. 13:49 ВСВ на карте метеоявлений ДМРЛ-С «Валдай»;

На рис. 5.8.1. представлена карта метеоявлений ДМРЛ-С «Валдай» 20.12.13 г. 13:49. Вектор перемещения направлен на ВСВ (азимут  $78^\circ$ ), скорость составляет 16,3 м/с. Используя вектор перемещения, можно, например, оценить время начала снегопада, связанного с перемещением линии фронта, в любом пункте. Так, проведя от пункта Бологое линию, параллельную вектору перемещения облачности, до линии фронта, можно сказать, что осадки в Бологом начнутся примерно через 1 час с небольшим, т.к. расстояние от фронта до Бологорого (красный отрезок на рис.5.8.1) чуть больше длины вектора, характеризующего перемещение облачности за промежуток времени, равный 1 часу. Таким образом, можно сделать вывод, что в Бологом снегопад начнется в 14:59 - 15:09 ВСВ. Карта за 15:09 ВСВ на рис. 5.8.2 подтверждает этот вывод.

На рис. 5.8.2. приведена карта метеоявлений за срок 15:09, из которой следует, что через 1 час 10 мин фронт с осадками подошел к Бологому и там начался снегопад. Учитывая ширину фронта (по линии, параллельной вектору смещения облачности - желтый отрезок на рис. 5.8.2), можно рассчитать, что через 40 - 45 минут снегопад в Бологом закончится. Так оно и произошло (рис. 5.8.3) – фронт с осадками прошел Бологое через 40 минут. На карте за 15:50 ВСВ (рис. 5.8.3) в Бологом по ДМРЛ-С отмечена слоистообразная облачность без осадков.

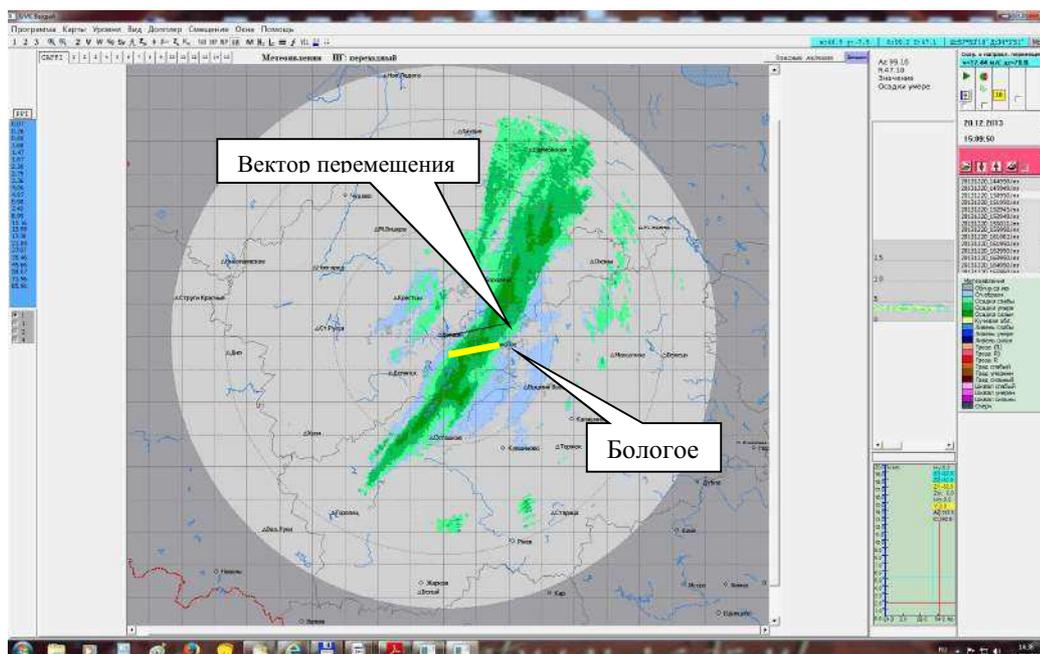


Рисунок 5.8.2 Карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Валдай» за 20.12.13 г., 15:09 ВСВ. Фронт с осадками подошел к п. Бологое.

Фактические данные 8-срочных наблюдений сетевой метеостанции Росгидромета «Бологое» подтверждают выпадение снега между сроками 15:00 и 18:00 ВСВ (рис. 5.8.3). Отсутствие осадков на картах метеоявлений ДМРЛ-С «Валдай» после прохождения фронта (рис. 5.8.1. – 5.8.3) до 18:00 ВСВ свидетельствует о том, что на метеостанции Бологое между сроками 15:00 и 18:00 ВСВ был зафиксирован снег, выпавший при прохождении именно этого фронта, в промежутке времени между 15:10 и 15:50 ВСВ.

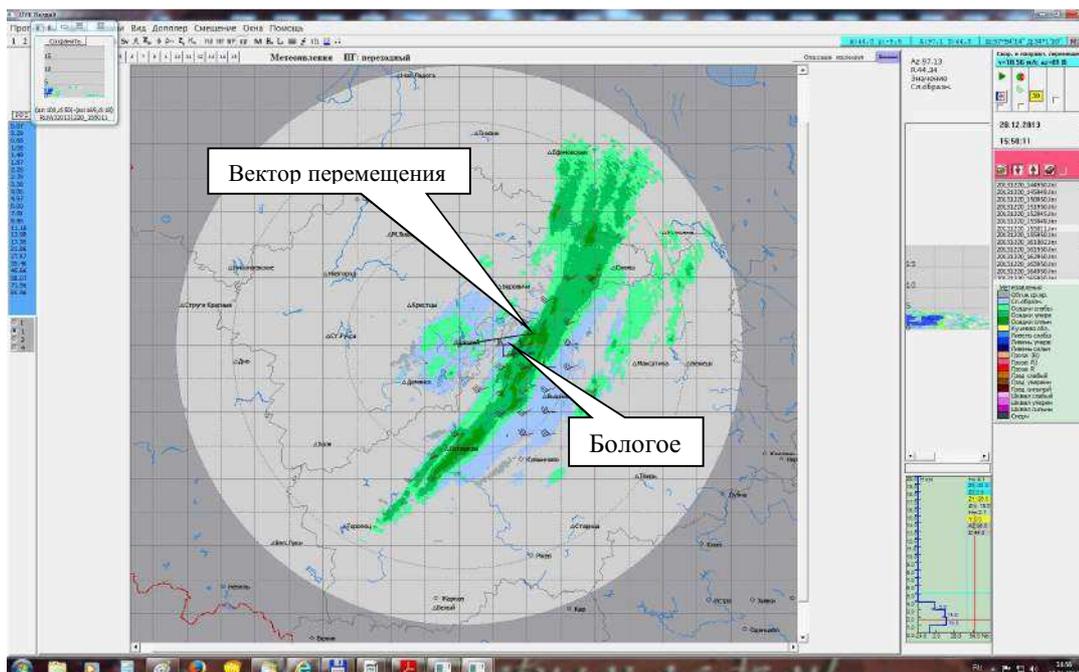


Рисунок 5.8.3 Карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Валдай» за 20.12.13 г., 15:50 ВСВ. Фронт с осадками прошел Бологое.

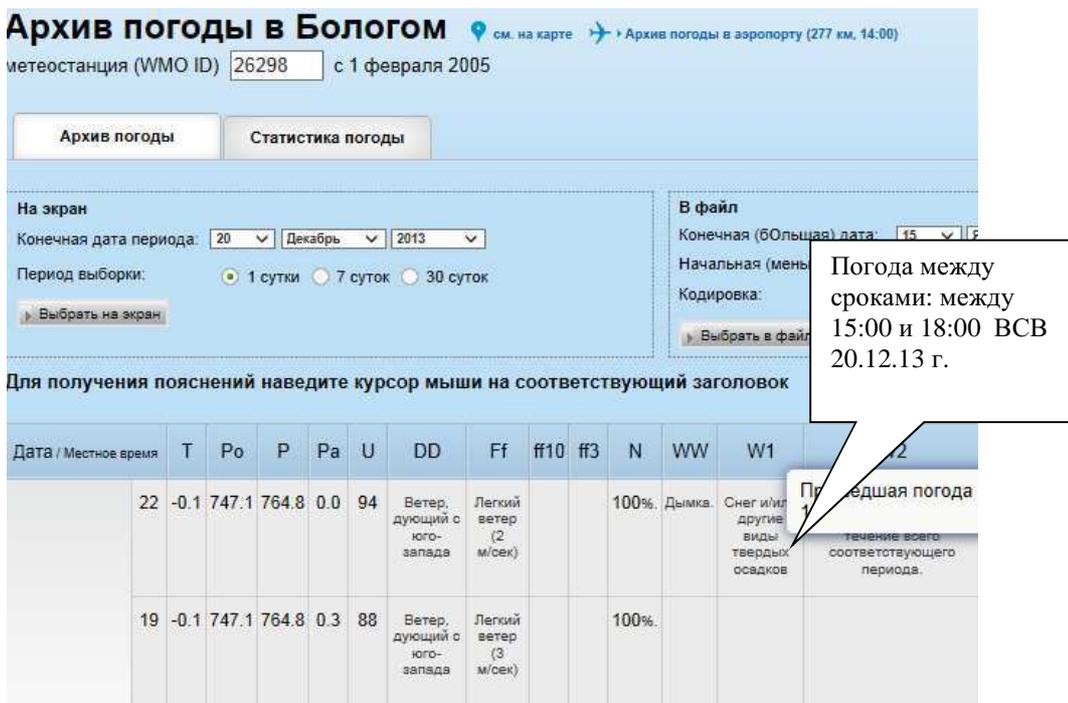
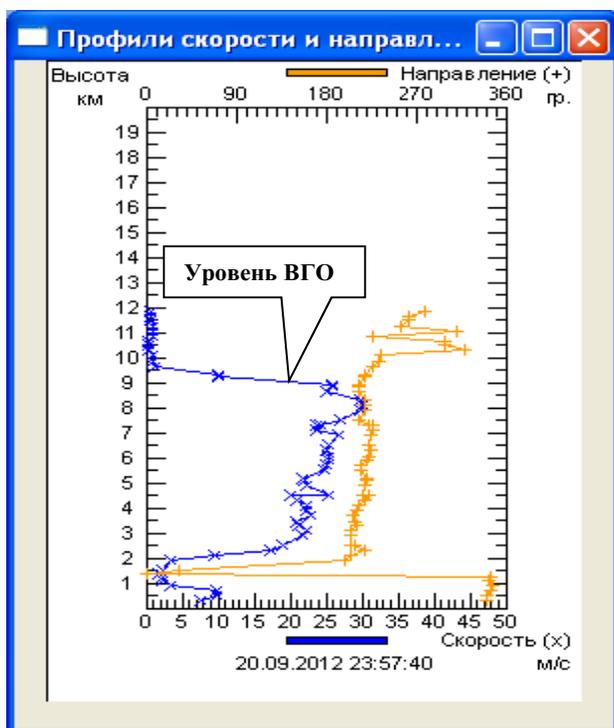


Рисунок 5.8.4 Информация о явлениях погоды 20.12.13 г. в Бологом. Между сроками 15:00 и 18:00 ВСВ зафиксировано выпадение снега.

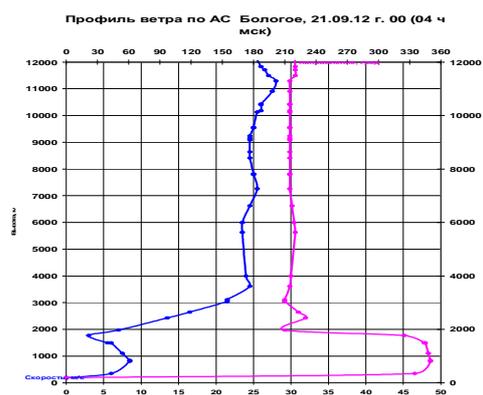
## 5.9. Использование карты вертикального профиля ветра VW.

Известно, что скорость и направление ветра оказывают существенное влияние на все этапы полета ВС. Ветер влияет на взлет и посадку, путевую скорость и направление полета, дальность и время полета и т.д. Во время предполетной консультации пилота знакомят с вертикальным разрезом основных метеопараметров вдоль трассы полета, где обязательным элементом являются профили ветра вдоль трассы.

На ДМРЛ-С за каждый срок строится карта среднего вертикального профиля горизонтального ветра VW. Осреднение данных о скорости проводится по азимуту. На рис. 5.9.1 приведен пример сопоставления VW с данными АЭ. На графике синим цветом обозначен вертикальный профиль скорости ветра, оранжевым – профиль направления ветра. Из рисунка видно, что в нижнем слое резко меняется направление ветра – с 340-360° у поверхности земли до 190-200° на уровне 2 км, оставаясь выше 2 км почти постоянным до уровня высоты метеобъекта (облачности) - 8 км. То есть в слое земля – 2.0 км направление ветра меняется примерно на 150°, что может служить признаком высоких значений сдвига ветра в этом слое. На рис. 5.9.1 Б) приведен профиль ветра по результатам аэрологического зондирования на ближайшей к Валдаю АЭ «Бологое».



А)



Б)

Рисунок 5.9.1 Вертикальный профиль ветра за 00 ВСВ 21.09.2012 по данным: А) – ДМРЛ-С «Валдай»; Б) – по АЭ «Бологое».

На рис.5.9.1 видно, что профили ветра очень похожи до 8 км – высоты верхней границы радиоэха облачности по ДМРЛ-С.

Проведенные в 2012 г. сравнения по ДМРЛ-С «Валдай» значений скорости и направления ветра для уровней от 1 до 9 км (в каждом случае – до уровня высоты метеобъекта) по данным ДМРЛ-С и АЭ показало их хорошее совпадение:

среднее значение разности модулей скоростей  $\Delta V$  составило 3.8 м/с,

среднее значение разности направлений ветра  $\Delta dd$  составило 22.2°.

Следует заметить, что наилучшее совпадение профилей ветра  $VW$  и по АЭ наблюдается при однородном потоке в зоне радиолокационного обзора ДМРЛ-С во всей толще тропосферы, содержащей метеобъекты. В некоторых случаях, когда имеет место вихревой процесс, значения ветра  $VW$  и ветер по АЭ могут не совпадать, поскольку горизонтальный ветер рассчитывается по алгоритму VAD [3, 8], предполагающему равные скорости по кругу с центром в месте установки ДМРЛ-С и не учитывающему неоднородности поля ветра.

### **5.10. Использование доплеровской и поляризационной информации для идентификации метеоявлений.**

В настоящее время информация доплеровских и поляризационных измерений в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» используется для фильтрации отражений от «местников» и помех. В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» разработан соответствующий фильтр, использующий доплеровскую скорость  $V$ , коэффициент кросскорреляции  $\rho_{HV}$  и дифференциальную отражаемость  $Z_{dr}$ .

Поляризационные характеристики облачности и осадков позволяют определить природу источника радиоэха и тем самым помочь определить фазу осадков. Например, в некоторых случаях наличие «яркой полосы» прослеживается лучше на вертикальном сечении модуля кросскорреляции  $\rho_{HV}$ , чем на сечении отражаемости  $Z_H$ .

На рис. 5.10.1 приведена карта коэффициента кросскорреляции  $\rho_{HV}$ , с вертикальным разрезом вдоль указанной линии. На вертикальном разрезе хорошо видна «яркая полоса», которая, вследствие увеличения с удалением импульсного объема, расширяется.

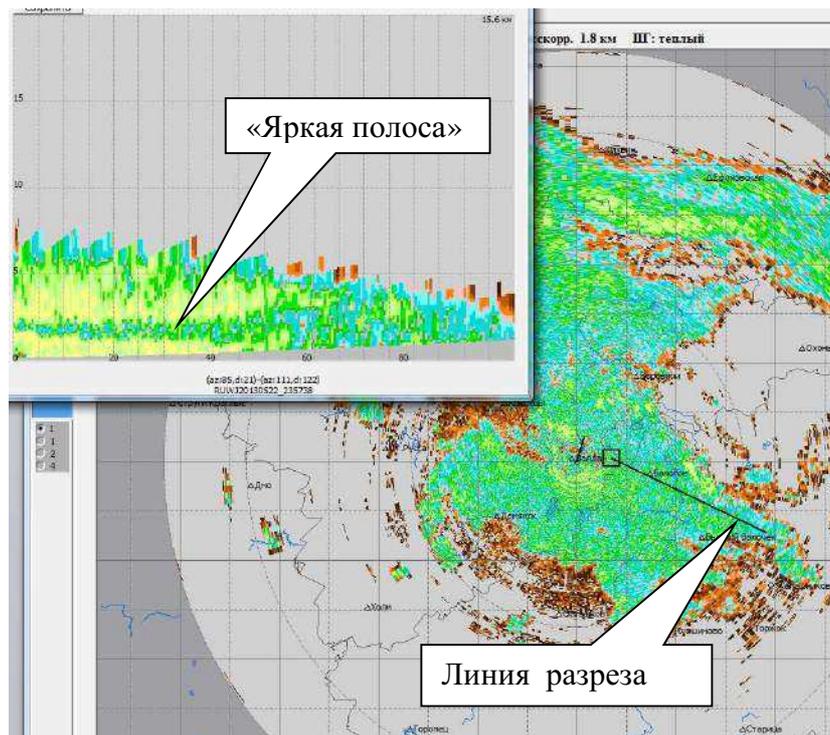


Рисунок 5.10.1 Карта коэффициента кросскорреляции  $r_{hv}$ , вертикальный разрез вдоль указанной линии и оценка Но по расположению «яркой полосы»

На рис.5.10.2 приведена карта дифференциальной отражаемости  $Z_{dr}$  и вертикальный разрез по указанному на рис. направлению, ДМРЛ-С «Внуково» 14.01.2014, 12:02 ВСВ.

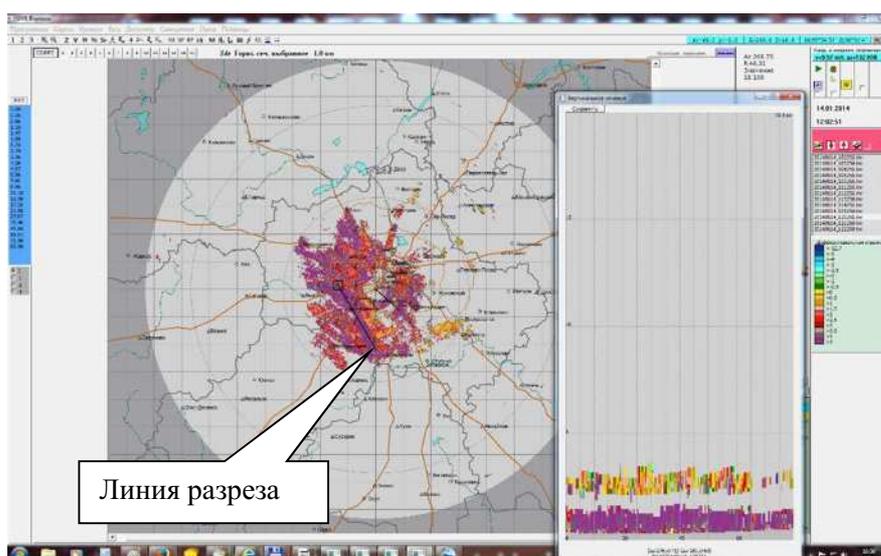


Рисунок 5.10.2 Карта  $Z_{dr}$  ДМРЛ-С «Внуково» 14.01.2014 г., 12:02 ВСВ. Вертикальный разрез свидетельствует о наличии двухслойной облачности с разной формой гидрометеоров.

На вертикальном разрезе прослеживается двухслойная облачность с существенно различающимися средними величинами  $Z_{dr}$ , что может говорить о различной структуре гидрометеоров: в виде пластин внизу, в виде ледяных кристаллов – вверху.

Потенциально, использование поляризационных характеристик радиоэха позволит в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» включить ряд новых продуктов – например, карту фазы осадков.

### 5.11 Ввод метеопараметров в ДМРЛ-С.

Пороговые значения критериев в алгоритме идентификации МЯ в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» отличаются для разных сезонов. Сезон года в «ГИМЕТ-2010» определяются по значениям температуры воздуха ( $T_{ground}$ ) у земли (температура воздуха на высоте 2 м над земной поверхностью, измеряемая на метеостанциях в психрометрических будках) и высоты нулевой изотермы  $H_{0^{\circ}C}$ . В «ГИМЕТ-2010» выделены 3 сезона (периода):

- теплый,
- холодный,
- переходный.

В НТЦР ДМРЛ ЦАО для всей сети ДМРЛ-С процесс выбора метеопараметров и, соответственно, определение сезона года, в настоящее время полностью автоматизирован с использованием информации о  $T_{ground}$  и  $H_{0^{\circ}C}$ .

На сети ДМРЛ-С к теплому периоду относятся все случаи с:  $T_{ground} > 3^{\circ}C$  и  $H_{0^{\circ}C} > 0,5$  км; холодным считается период, когда  $T_{ground} < -1^{\circ}C$  и  $H_{0^{\circ}C} \leq 0,2$  км; в остальных случаях период года идентифицируется как переходный. При этом в качестве  $H_{0^{\circ}C}$  выбирается высота самой высокой нулевой изотермы.

Значения  $H_{0^{\circ}C}$ ,  $H_{t-22^{\circ}C}$ ,  $H_{тропо}$  автоматически рассчитываются из данных ближайших пунктов сети аэрологического зондирования атмосферы (АЭ) методом линейной интерполяции при максимальной высоте поднятия радиозонда ( $H_{max\ pз}$ ) до уровня выше  $-22^{\circ}C$  и методом линейной экстраполяции - при  $H_{max\ pз}$  ниже уровня  $-22^{\circ}C$ .

Значения приземной температуры воздуха берутся из данных 8-срочных наблюдений сети МС Росгидромета.

От того, насколько корректны введенные значения метеопараметров, зависит правильность выбора периода года, от которого, в свою очередь, зависит выбор критериев идентификации явлений погоды.

Следует подчеркнуть, что возможность ручного ввода метеопараметров на всей сети ДМРЛ-С остается. Например, при прерывании связи сетевого ДМРЛ-С с НТЦР ДМРЛ

ЦАО, по согласованию с НТЦР ДМРЛ, оператор на позиции должен ввести необходимые метеопараметры.

В этом случае, сразу же после получения аэрологической информации оператор должен выполнить следующее:

1. В Главном окне программы UVK1 с помощью пункта меню «**Окна**» → «**Установка метео**» активируется панель «Установка параметров обзора»;
2. В графы панели «Установка параметров обзора» оператором заносится информация о  $T_{\text{ground}}$  (приземной температуре),  $H_{0^{\circ}\text{C}}$  (высоте изотермы  $0^{\circ}\text{C}$ ),  $H_{-22^{\circ}\text{C}}$  (высоте изотермы  $-22^{\circ}\text{C}$ ),  $H_{\text{тропо}}$  (высоты тропопаузы).
3. Зафиксировать изменения нажатием кнопки «Записать».

При возникновении на сети ДМРЛ-С вопросов, связанных со значениями метеопараметров в ДМРЛ-С и возможностью их ручного изменения в некоторых ситуациях, следует обращаться в НТЦР ДМРЛ ЦАО по телефонам (495) 408-6114, (495) 408-7719, (495) 408-7661.

### 5.12 Принцип осреднения метеоданных при изменении пространственного разрешения в «ГИМЕТ-2010».

В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» принят следующий принцип построения карт опасных явлений (МЯ и ОЯ): сначала рассчитывается карта в разрешении  $1 \times 1$  км. Для построения карт масштаба  $2 \times 2$  км значения на картах  $1 \times 1$  км осредняются по 4-м соседним ячейкам. Точно так же, по картам  $2 \times 2$  км методом осреднения строятся карты разрешения  $4 \times 4$  км.

В процессе осреднения на этапах  $1 \times 1 \rightarrow 2 \times 2$  км и  $2 \times 2 \rightarrow 4 \times 4$  км карты всех вторичных продуктов «ГИМЕТ-2010», за исключением карт МЯ и опасных МЯ, строятся в соответствии с методикой осреднения, описанной в [3].

Для карт метеоявлений (МЯ) и опасных метеоявлений (ОЯ) берется **максимальное явление** из ячеек предыдущего масштаба.

Ниже на рисунке приведен пример отображения единичной ячейки с грозой в поле ливневых осадков на картах метеоявлений с разрешением  $1 \times 1$  км и  $4 \times 4$  км по ДМРЛ-С «Барабинск» 06.10.13 г. в 14:47 ВСВ.

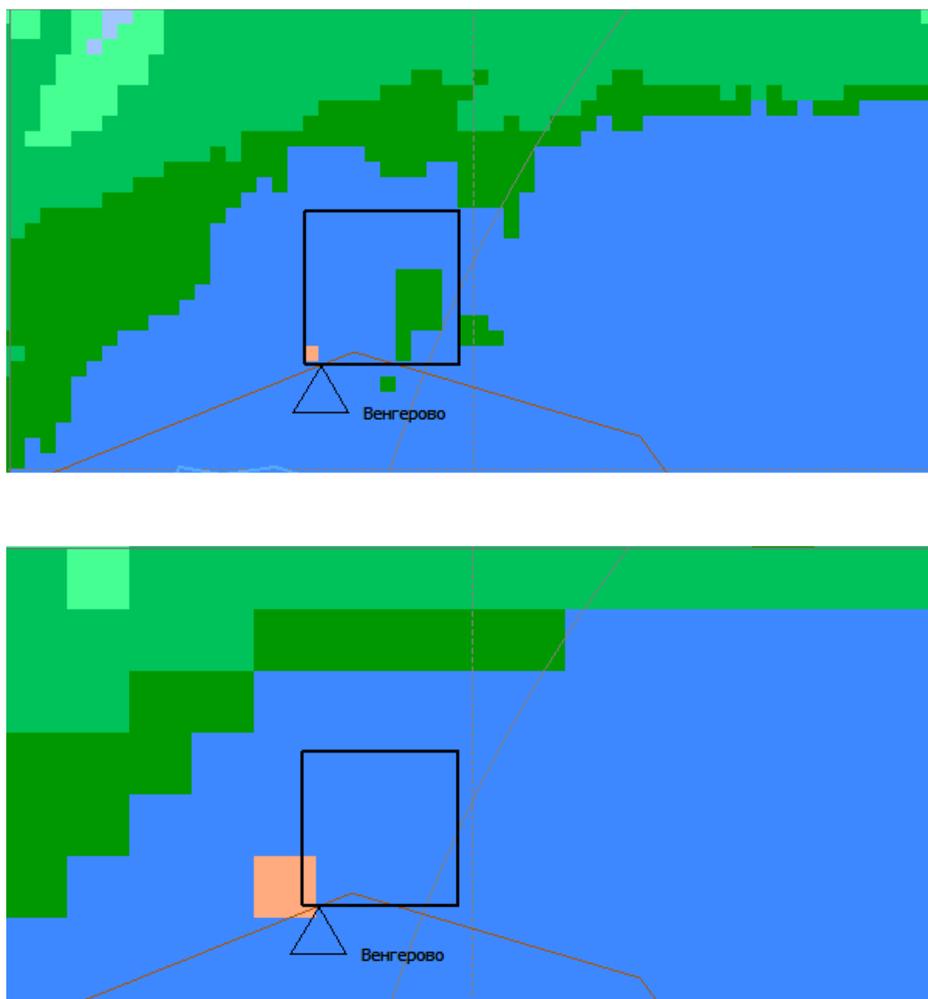


Рисунок 5.12.1 Пример осреднения на карте МЯ при переходе от разрешения 1 км к 4 км.

Вверху – одна ячейка с грозой (R) на карте с разрешением 1x1 км,  
Внизу – результат осреднения на карте с разрешением 4x4 км: гроза распространилась на ячейку 4x4 км, состоящую из 16 ячеек в разрешении 1x1 км.

На практике это означает, что в результате осреднения метеопараметров (напр. Z, НвГО и т.д.) максимальные значения в ячейках снижаются. На картах МЯ и ОЯ наоборот – максимальное в 4-х соседних ячейках явление распространяется на ячейку следующего масштаба.

## 6. ОГРАНИЧЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО МЕТОДА НАБЛЮДЕНИЙ.

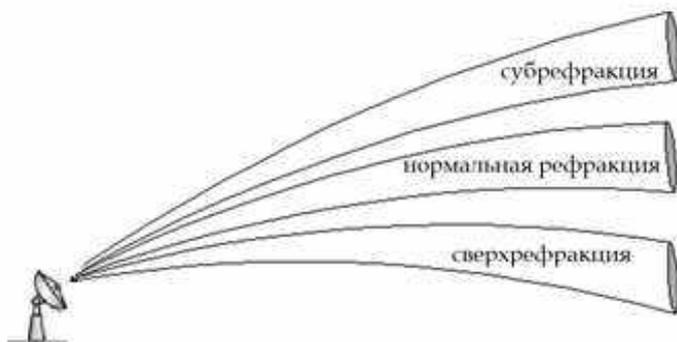
Метеорологический радиолокатор – источник уникальной метеорологической информации об облачности и осадках. Однако, при использовании метеорологических радиолокационных данных в синоптической практике важно учитывать ограничения и особенности, которые могут проявляться в полученной информации.

Далее будут рассмотрены основные ограничения радиолокационного метода метеорологических наблюдений.

### 6.1 Рефракция радиоволн.

Радиолокатор принимает отраженный сигнал не только от гидрометеоров, но и от всех объектов, которые попали в зондирующий р/л луч. Траектория радиолокационного луча имеет сложный характер и определяется атмосферной рефракцией – преломлением электромагнитных волн в реальной атмосфере в зависимости от неоднородностей показателя преломления воздуха. На траекторию радиолуча влияет градиент показателя преломления, который в основном зависит от текущего распределения давления, температуры и влажности по высоте в атмосфере.

В условиях «нормальной рефракции» (при температуре на уровне моря  $15^{\circ}\text{C}$ , давлении 1013 гПа, постоянной по высоте относительной влажности 60%, с высотным градиентом температуры 6,5 градус/км [31]) и в приближении сферически стратифицированной атмосферы (показатель преломления изменяется только с высотой) радиолокационный луч будет загибаться по направлению к земле относительно направления первоначального



излучения в антенне. В атмосфере вероятны и другие условия, в которых луч радиолокатора слабее искривляется по направлению к земле («субрефракция»), и сильнее наклоняется к земле («сверхрефракция»). В последнем

Рисунок 6.1 Виды атмосферной рефракции.

случае, излученный под малыми углами места, радиолокационный луч может попасть на землю и дать большой отраженный сигнал, который будет интерпретироваться как мощное радиоэхо метеоцели.

Явление «сверхрефракции» (*ANomalous PROPagation* – «аномальное распространение» в англоязычной литературе) обычно наблюдается в условиях температурных инверсий в приземном слое [9]: на берегах водоемов в утренние часы в условиях сильного испарения, в условиях радиационных инверсий, в антициклонах – в инверсиях оседания. При этом могут создаваться условия «волноводного распространения» - дальнего распространения зондирующего излучения в приземном слое. Необходимо заметить, что, как правило, явление «сверхрефракции» - и, соответственно, аномального радиоэха наблюдается в отсутствии атмосферных осадков.

На следующем рис.6.2 приведена карта р/л отражаемости на уровне измерения осадков (600м) за 11.06.2013 04:01 ВСВ на ДМРЛ-С «Казань» с зонами аномального радиоэха на берегу Куйбышевского водохранилища:

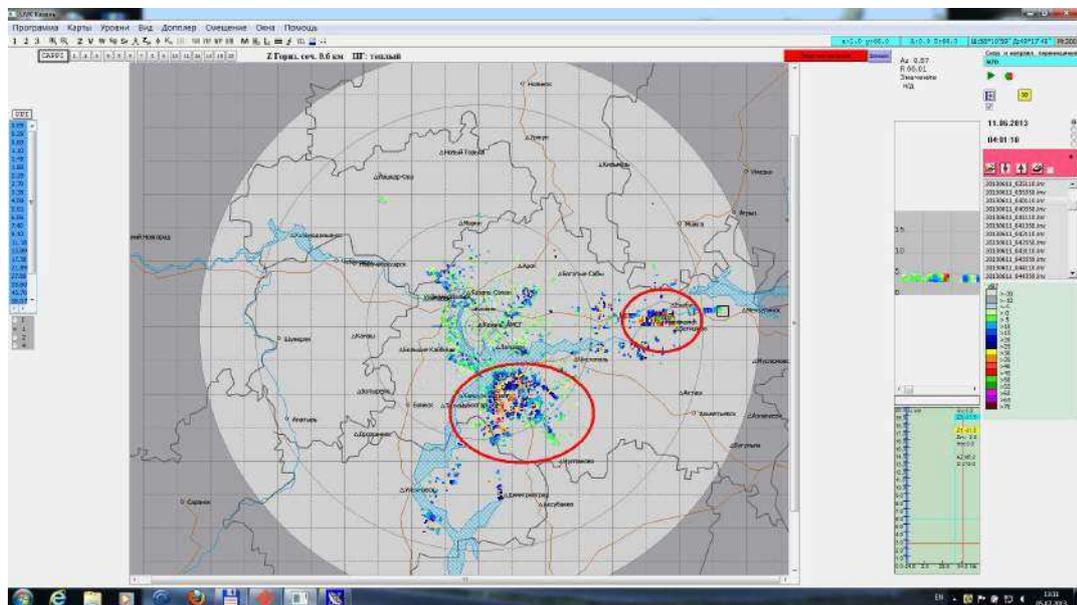


Рисунок 6.2 Карта отражаемости на высоте 600м ДМРЛ-С «Казань» 11.06.13 03:01 ВСВ. Указаны зоны «аномального радиоэха».

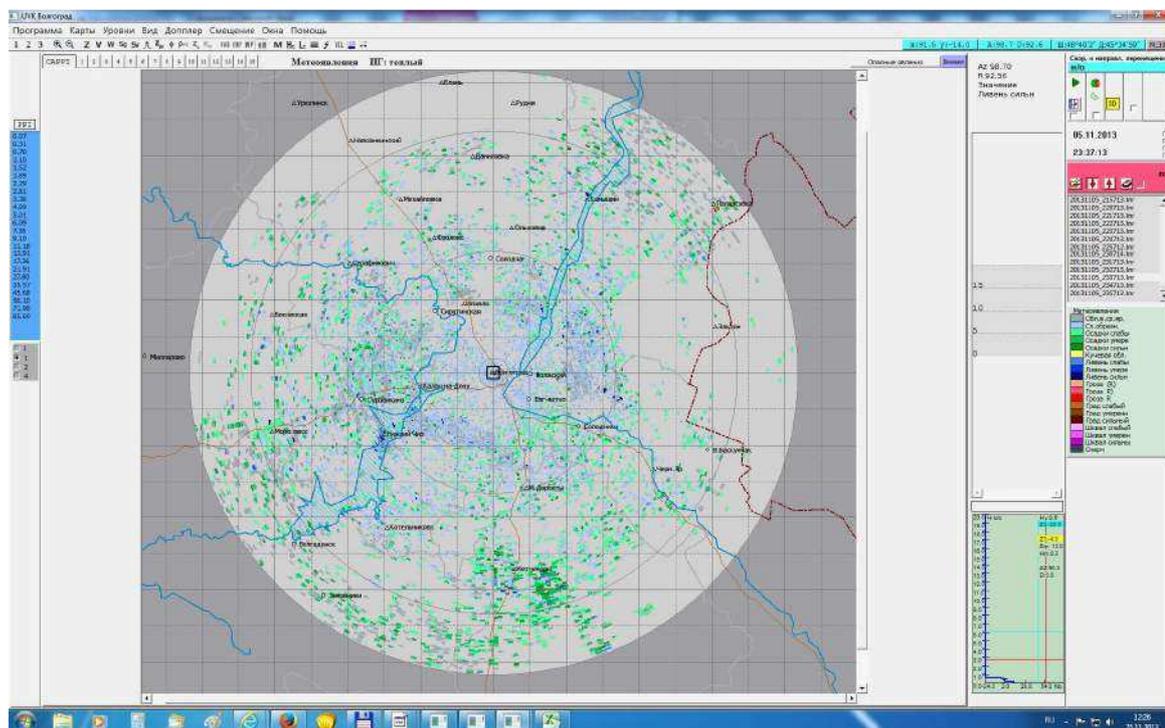


Рисунок 6.3 Карта метеоявлений ДМРЛ-С «Волгоград» 05.11.13 23:37 ВСВ с картиной аномального радиоэха.

На следующем рисунке 6.3 приведена карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Волгоград» за 05.11.13 23:37 ВСВ с картиной аномального радиоэха, возникшего в условиях периферии обширного антициклона (рис. 6.4), когда инверсионное распределение температуры воздуха по высоте и падение влажности способствовало большим значениям градиента показателя преломления, приведшим к условиям сверхрефракции радиоволн и формированию аномального радиоэха. На картах более высоких уровней аномальное радиоэхо отсутствует.

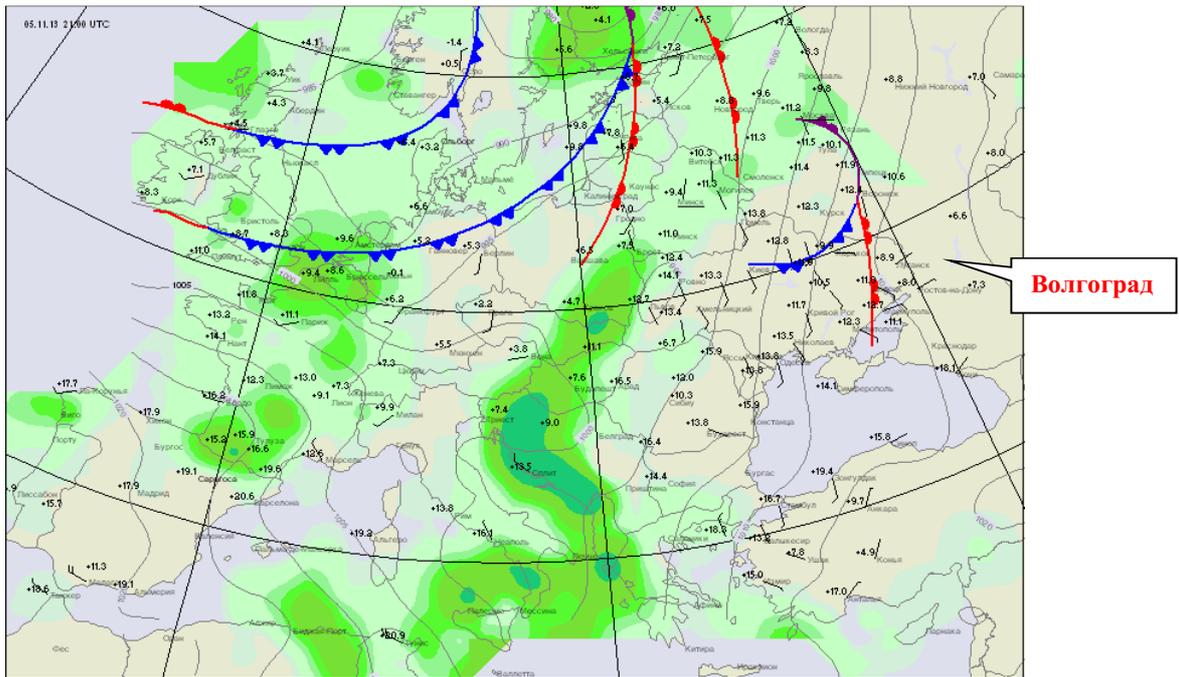


Рис. 6.4 Синоптическая карта 05.11.13 г.21:00UTC. Волгоград в зоне периферии антициклона.

**6.2 Кривизна земли.** Из-за кривизны Земли даже с учетом нормальной рефракции радиолуч поднимается над поверхностью с расстоянием от ДМРЛ. Следующие два рисунка 6.5 и 6.6 иллюстрируют подъем горизонтально излученного луча и его угловое расширение за счет



Рисунок 6.5 Подъем радиолокационного луча над поверхностью Земли.

диаграммы направленности антенны с расстоянием от ДМРЛ. Как видно на рис.6.5, низкие облака могут не обнаруживаться на большом расстоянии вследствие кривизны Земли.

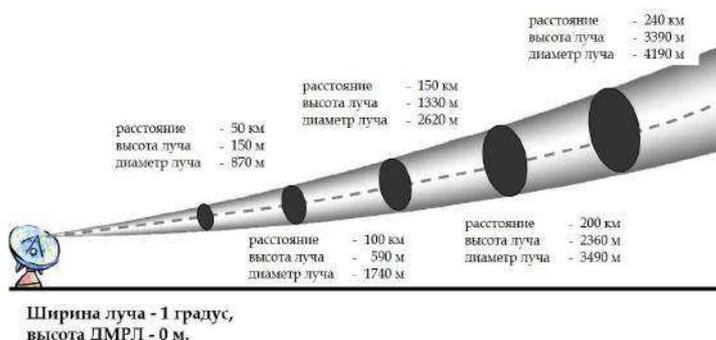


Рисунок 6.6 Подъем и расширение радиолокационного луча с расстоянием от ДМРЛ.

С ростом дистанции радиолокационный луч не только поднимается над поверхностью Земли, но и расширяется в соответствии с диаграммой направленности антенны. При этом, интерпретация информации проводится в предположении об однородном заполнении импульсного объема. Как следует из рис.6.6, на дистанции 200 км одноградусный луч расширяется до 3500 м, а на 240 км – до 4200 м. При таких размерах луча сложно говорить об однородном заполнении импульсного объема. Таким образом, на краях дистанции, вблизи границ полей облачности – ошибки радиолокационных наблюдений становятся очень большими.

**6.3 Блокировка радиоизлучения.** Блокировка зондирующего излучения искусственными (здания, вышки) и естественными преградами (элементами рельефа) являются важным фактором, определяющим снижение качества радиолокационных наблюдений. Близкая и

неввысокая (как кажется) преграда может существенно ограничить зону радиолокационного обзора на больших дистанциях, где особенно важны нижние лучи.

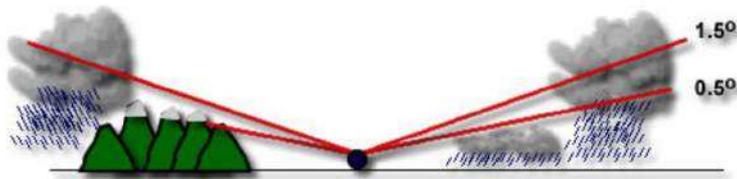


Рисунок 6.7 Иллюстрация блокировки радиолокационного луча препятствиями (на рисунке – слева).

На следующем рис.6.8 показан пример полной и частичной блокировок радиолокационного луча элементами рельефа на ДМРЛ-С «Минеральные Воды».

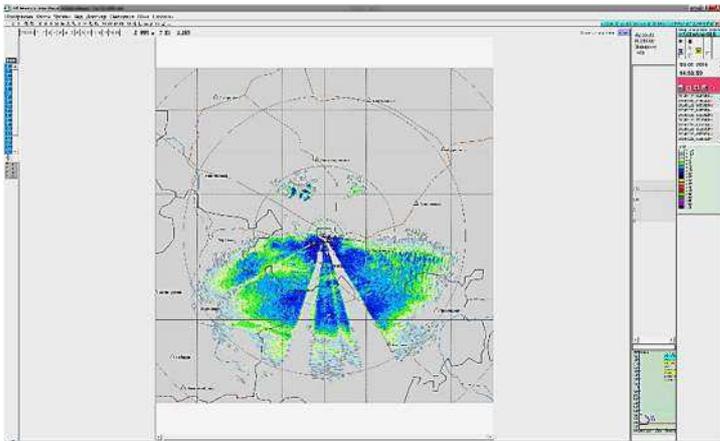


Рисунок 6.8 Пример частичной (азимут 239°) и полной (азимут 157° и 192°) блокировки радиолокационного луча естественными препятствиями на ДМРЛ-С «Мин.Воды». Карта PPI Z для угла места 2,2°.

**6.4 Ослабление радиоизлучения в осадках.** При работе с информацией ДМРЛ-С следует учитывать влияние эффекта ослабления радиоизлучения в осадках, включая как ослабление в водяной пленке на РПУ при интенсивных осадках над местом установки ДМРЛ-С, так и ослабление радиоволн в осадках на трассе при прохождении протяженных зон с высокими значениями  $Z$ . Ослабление может приводить к занижению видов явлений погоды или даже полному исчезновению радиоэха.

Хотя эффект ослабления в осадках на длине волны 5,3 см выражен на порядок слабее по сравнению с длиной волны 3,2 см, тем не менее по результатам наблюдений на ДМРЛ-С отмечены многочисленные проявления ослабления. Ниже приведены три примера, иллюстрирующие ослабление.

На рис.6.9. приведена карта ОЯ 23.06.13 12:51 ВСВ для ДМРЛ-С «Казань» с «пустым» сектором по азимутам 128-137°, экранированным мощной Сб облачностью со шквалами, грозами, ливнями вблизи ДМРЛ;

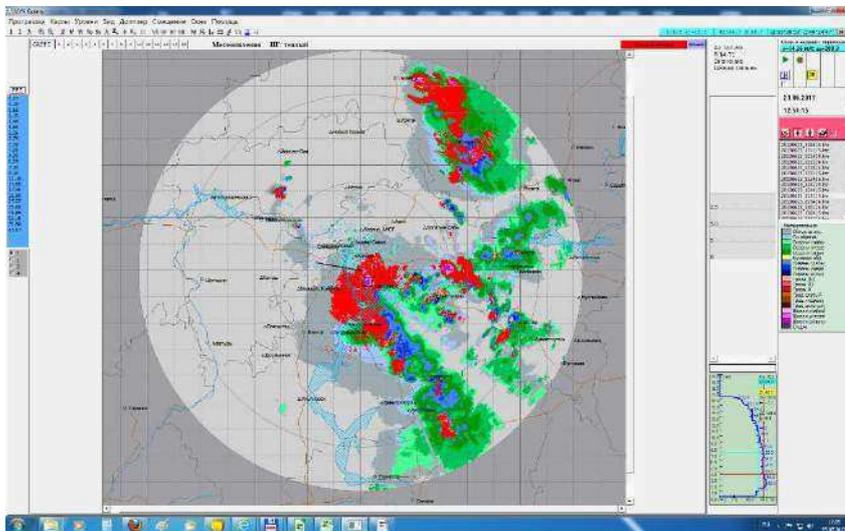


Рисунок 6.9 Карта ОЯ ДМРЛ-С «Казань» за 23.06.13 12:51 ВСВ. Сектор по азимутам с 128° - по 137°, экранированный мощной конвективной зоной Сб со шквалами, грозами, ливнями, расположенной вблизи ДМРЛ, оказался «пустым», без ОЯ.

И на рис. 6.10 показана карта дифференциальной отражаемости  $Z_{dr}$  на высоте 5 км за этот же срок с «экранированным» сектором.

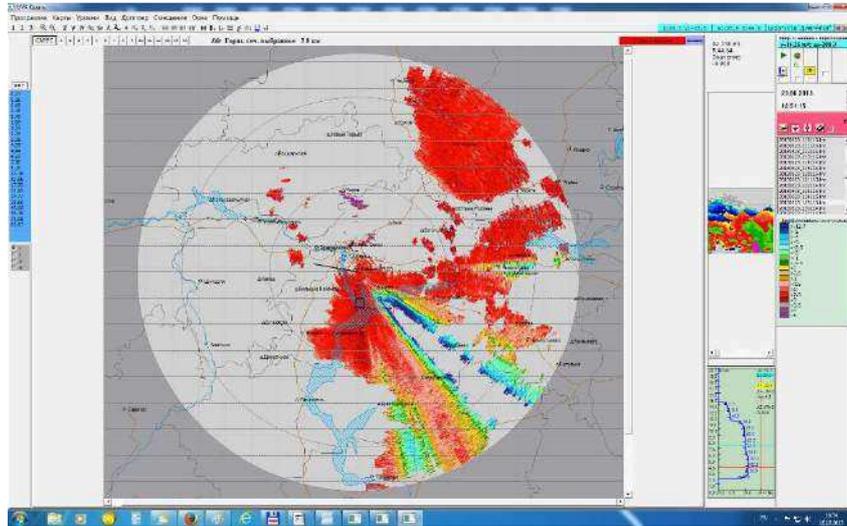


Рисунок 6.10 Карта Zdg на высоте 5км, ДМРЛ-С «Казань» за 23.06.13 12:51 ВСВ с пустым сектором по азимутам с 128-137°, экранированным мощной конвективной зоной.

Второй случай иллюстрирует рис.6.11, на котором приведена карта ОЯ по ДМРЛ-С «Ставрополь» за 03.08.13 12:07 ВСВ с вертикальным разрезом по азимуту 27 градусов, вдоль мезомасштабного конвективного образования. За зоной гроз опасные явления отсутствуют, в связи с сильнейшим ослаблением радиоволн при его прохождении.

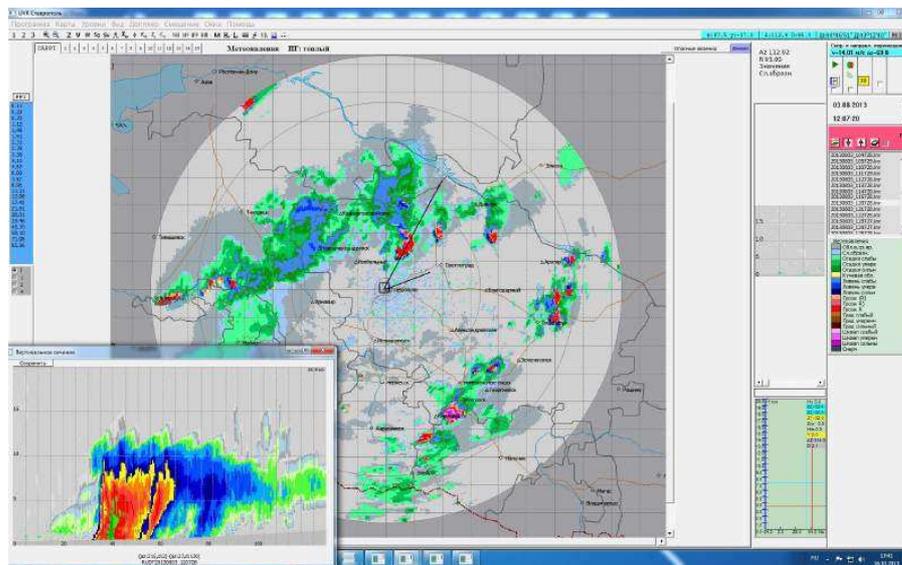


Рисунок 6.11 Вертикальный разрез через мезомасштабное конвективное образование. ДМРЛ-С «Ставрополь» за 03.08.13 12:07 ВСВ.

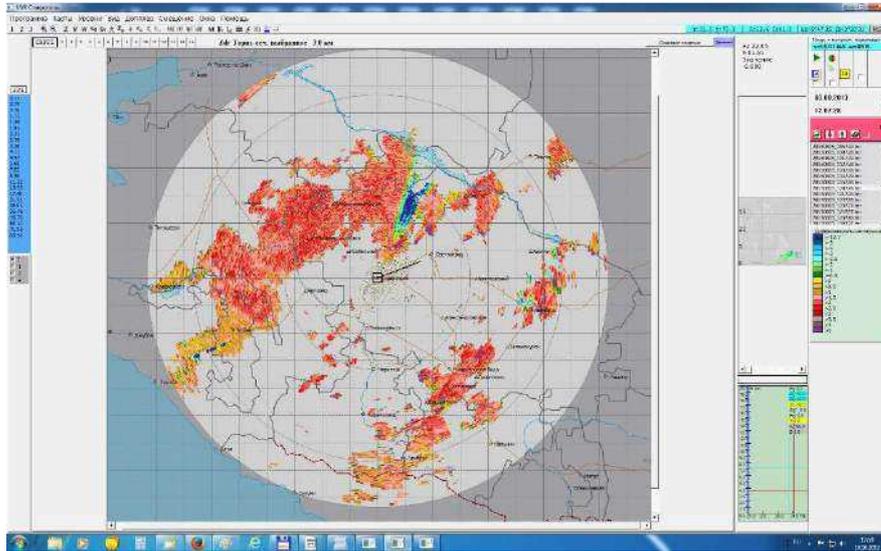


Рисунок 6.12 Карта дифференциальной отражаемости на ДМРЛ-С «Ставрополь» за 03.08.13 г., 12:07 ВСВ:  $Z_{dr}$  на 3 км (как и на других уровнях) существенно ниже за зоной Сб.

Третий пример проявления эффекта ослабления иллюстрирует рис.6.13. Мощная гроза между г. Невинномысск и г. Александров на карте ДМРЛ-С «Мин.Воды» привела к столь серьезному ослаблению, что за ней прослеживается сектор практически с отсутствием опасных явлений.



Рисунок 6.13 Карта ОЯ ДМРЛ-С «Мин.Воды» за 20.09.14 г., 17:57 ВСВ. Узкий сектор в направлении ССЗ экранирован мощной конвективной облачностью Сб со шквалами, грозами, ливнями, расположенной вблизи ДМРЛ, оказался «пустым», без явлений.

**6.5 Наложение радиоэха из разных интервалов дальности.** Проблема второго прохода радиолуча (“second trip”– в англоязычной литературе) возникает при высокой частоте повторения: отражения от мощных зон с осадками, лежащими за пределами интервала однозначного определения расстояния до метеоцели  $R_{max}$ , может давать ложный эхо-сигнал. Диапазон однозначности определяется PRF (км)

$$R_{max} = \frac{c}{2 * PRF}$$

где  $c$  – скорость света, м/с, PRF- частота повторения,  $c^{-1}$ . Следующий рис. 6.14 иллюстрирует это явление.

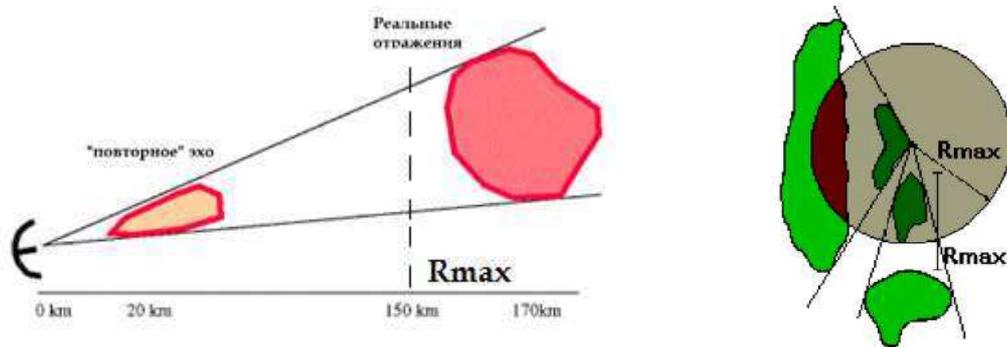


Рисунок 6.14 Мощная зона отражаемости, лежащая за пределами диапазона однозначности, дает ложный сигнал «повторного радиоэха» в ближней зоне.

Радиоэхо вторых проходов намного слабее реальных отражений. В качестве примера на следующем рис. 6.15 приведена карта «Ширина спектра» в режиме LNV на ДМРЛ «Ставрополь» 03.08.13 г. 23:57 ВСВ. Максимальные значения ширины спектра – более 8 – соответствуют радиоэху вторых проходов луча.

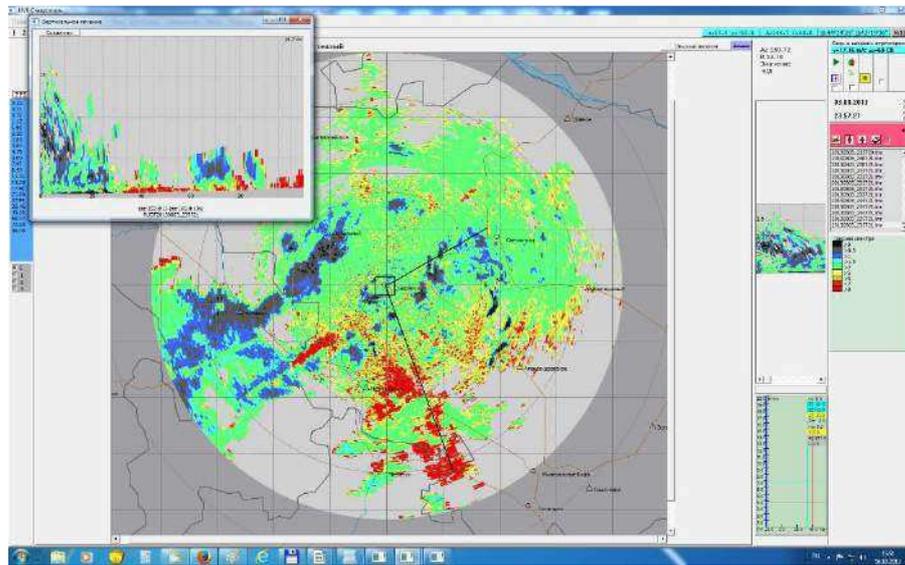


Рисунок 6.15 Карта ширины спектра в режиме Inv, содержащая second trip (изображено красным цветом) на ДМРЛ «Ставрополь» 03.08.13 г. 23:57 ВСВ.

На рис.6.16 приведена карта метеоявлений с удаленными сигналами «повторного эха».



Рисунок 6.16 Карта метеоявлений в режиме Inv, с удаленными сигналами «повторного эха».

**6.6 Ошибки радиолокационного метода измерения осадков.** В разделе 5.5 обсуждался радиолокационный способ измерения осадков. На его точность оказывает влияние большинство перечисленных ограничений: и блокировка излучения препятствиями, и уширение радиолокационного луча с расстоянием, и эффекты сверхрефракции («ложные осадки»), и эффект ослабления радиоизлучения в осадках.

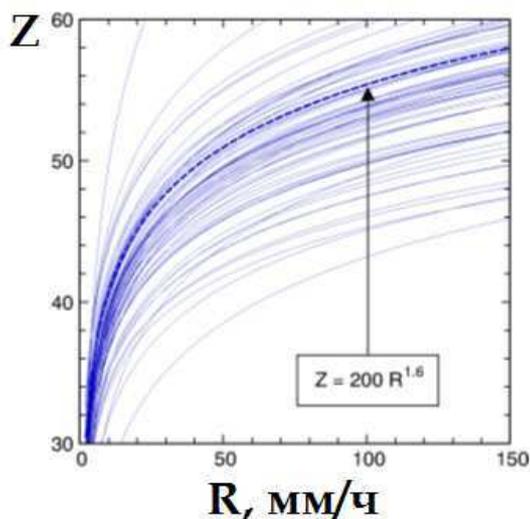
Однако, даже в отсутствии этих ограничений, радиолокационный способ осадкомерных измерений подвержен влиянию еще одного фактора – пространственно-временных вариаций DSD- распределения частиц осадков по размерам в импульсном радиолокационном объеме.

Дело в том, что расчет интенсивности осадков обычно проводится с использованием соотношения Маршалла - Пальмера [8,9]:

$$Z = A \cdot R^b$$

здесь  $R$  (мм/ч)- интенсивность осадков,  $Z$  (мм<sup>6</sup>/м<sup>3</sup>)- р/л отражаемость,  $A$  и  $b$  – константы Маршалла-Пальмера, равные 200 и 1,6 соответственно. Это соотношение предполагает, что отражаемость измеряется достаточно низко (на высоте ~600м в «ГИМЕТ-2010») и профиль  $Z$  не претерпевает значительных изменений до Земли. В 50-70-е годы прошлого века выбору

### 69 - R(Z) соотношений (Battan 1973)



параметров  $A$  и  $b$  были посвящены многочисленные исследования в разных странах. Было установлено, что в зависимости от условий измерений в различных климатических зонах, из облаков различного типа эти коэффициенты претерпевают существенные вариации.

Рисунок 6.17 Экспериментальные зависимости  $R(Z)$  из работы Battan (1973) [8,31].

На рисунке 6.17 показан график (в логарифмическом масштабе) 69-ти зависимостей интенсивности осадков  $R$  от величины р/л отражаемости  $Z$  из известной работы Battan(1973). Каждая кривая на графике соответствует паре значений коэффициентов  $A$  и  $b$ , измеренной различными методами [8,31]. Отдельно показана зависимость для классической пары коэффициентов  $A=200$ ,  $b=1,6$  Маршалла-Пальмера. На графике видно, что коэффициенты зависимости  $R(Z)$  могут очень сильно варьировать.

В экспериментах на осадкомерных полигонах [8] было установлено, что радиолокационное измерение осадков становится точнее по мере увеличения интервала осреднения по пространству и времени. Сегодня измерения накопленных сумм осадков на интервалах от часа и более имеют удовлетворительную точность. Так, например, в международных проектах по обмену радиолокационными данными в Европе – OPERA и BALTRAD, карты мгновенной интенсивности и часовые накопленные слои осадков являются основными вторичными продуктами.

Опыт измерений 12-часовых слоев осадков в радиолокационной системе АКСОПРИ показывает, что относительная среднеквадратическая ошибка сумм осадков может достигать 100%, т.е – будет двукратной, для измерений в зоне ~100-150 км от ДМРЛ. За пределами этой зоны ошибки р/л измерений за счет уширения луча становятся слишком велики.

**6.7 Радиоэхо «ясного неба».** История наблюдений отражений от ясного неба насчитывает в радиометеорологии более полувека. В ходе экспериментов было установлено, что источником радиоэха могут быть как мелкие отражатели в атмосфере (насекомые, семена), поднимаемые на большую высоту восходящими потоками с поверхности, так и неоднородности показателя преломления, порождаемые турбулентностью в пограничном слое атмосферы до высот ~ 2.5-3.5 км. Эти отражения уверенно регистрируются всеми метеорологическими радиолокаторами в диапазоне отражаемостей до 10-15 dBZ. На следующем рисунке 6.18 показана карта отражаемости (а) на высоте 600 м по данным ДМРЛ-С «Валдай» 10.07.2013 13:27 ВСВ. В области вокруг радиолокатора радиусом до 100 км отмечаются отражаемости «ясного неба» с величинами  $Z$  до 10-15 dBZ. На рисунке 6.18 (б) приведена карта коэффициента кросскорреляции на высоте 600м, на которой хорошо видно, что значения  $\rho_{HV}$  не превышают уровня 0,7.

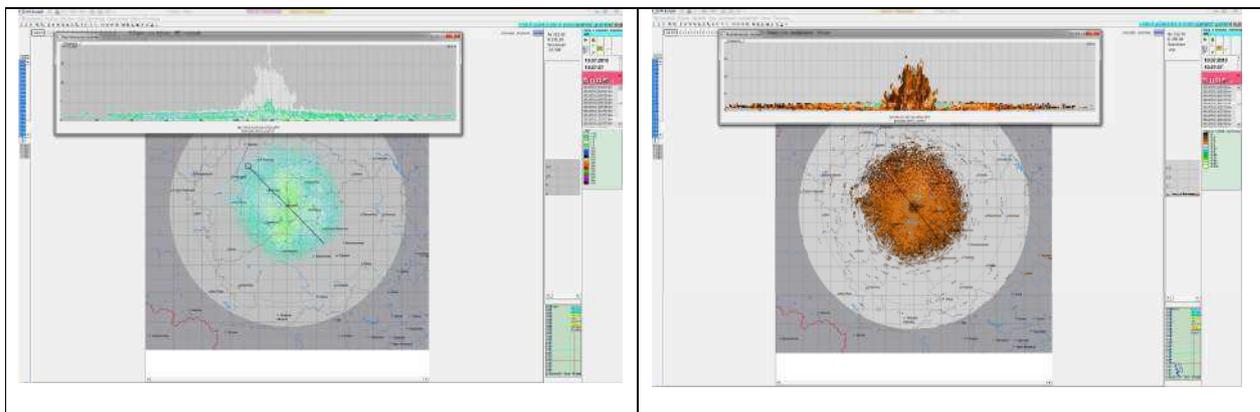


Рисунок 6.18 Измерения ДМРЛ-С «Валдай» 10.07.13 10:27 ВСВ. Слева – отражаемость Z на 600 м, справа – коэффициент кросскорреляции. На каждом из графиков приведены вертикальные сечения соответствующих полей по направлению сз-юв.

Поляризационный фильтр в «ГИМЕТ-2010» в большинстве случаев достаточно эффективно удаляет отражения «ясного неба». Отражения от «ясного неба» наблюдаются как в антициклональных условиях, так и перед приближающимися зонами осадков. Отражения от «ясного неба» оказываются полезными при ветровых измерениях – на рис.6.19 показано сечение радиальной скорости для условий на рис.6.18. Видно, что скорость уверенно

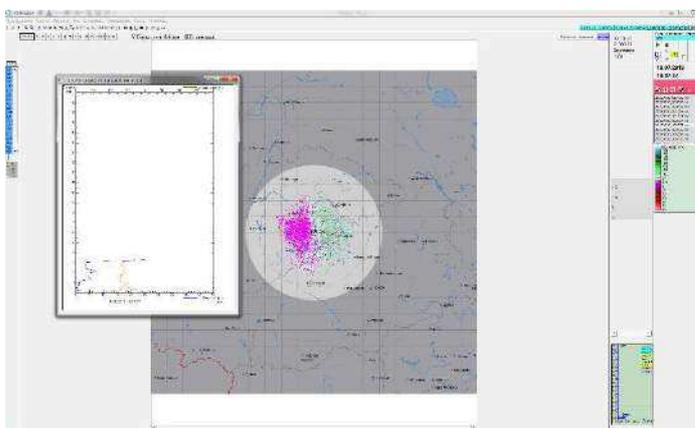


Рисунок 6.19 Измерения доплеровской скорости на высоте 600 м и вертикальный профиль ветра. Измерения ДМРЛ-С «Валдай» 10.07.13 10:27 ВСВ.

измеряется до высот верхней границы ПС – 3 км. По данным аэрологического зондирования на станции «Бологое» в 40 км от ДМРЛ-С, зафиксировано направление ветра 255-280° и скоростями 3-4 м/с в слое до высот 3 км.

## 7. РЕГЛАМЕНТ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СЕТИ ДМРЛ.

Регламент радиолокационных наблюдений на сети ДМРЛ-С определяет порядок производства наблюдений на отдельном радиолокаторе, входящем в сеть ДМРЛ Росгидромета.

- 1) За проведение радиолокационных наблюдений на позиции ДМРЛ-С отвечает Начальник ДМРЛ.
- 2) Радиолокационные наблюдения на сети ДМРЛ-С проводятся круглосуточно круглогодично в автоматическом режиме с 10-минутным интервалом обновления информации.
- 3) Радиолокационные наблюдения на сети ДМРЛ-С проводятся с использованием единого программного обеспечения вторичной (метеорологической) обработки «ГИМЕТ-2010», прошедшего Государственные Испытания и получившего сертификат МАК.
- 4) Настройки программного обеспечения ПО ПОИ и ВОИ на всех ДМРЛ-С сети определяет НТЦР ДМРЛ, допускается внесение метеопараметров в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» с ведома НТЦР ДМРЛ.
- 5) Метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С обеспечивает проведение р/л наблюдений в автоматическом режиме и не требует присутствия обслуживающего персонала на позиции. Контроль качества оперативной р/л информации и управление радиолокатором производится **дежурным специалистом** с удаленного управляющего вычислительного комплекса (УУВК), размещаемого в дежурных службах эксплуатирующих ЦГМС и НИУ Росгидромета.
- 6) В задачу дежурного специалиста по ДМРЛ-С входит:
  - контроль поступления на УУВК оперативной р/л информации от ДМРЛ-С, в случае низкого качества, задержки или прекращения поступления информации ДМРЛ-С – взаимодействие с оперативным дежурным НТЦР ДМРЛ-С с целью определения и устранения причин аварии,
  - контроль передачи данных ДМРЛ-С локальным потребителям и в сеть ВСС Росгидромета, в случае аварии канала связи – взаимодействие с АМТК и провайдерами каналов связи с целью устранения аварии,

- взаимодействие с локальными потребителями информации ДМРЛ-С по вопросам работоспособности ДМРЛ-С и выдачи р/л информации на АП,
- взаимодействие с инженером ДМРЛ-С по вопросу произошедших за время смены отказов, аварий ДМРЛ-С и принятых мерах по их устранению,
- в случае отсутствия инженера ДМРЛ-С информация по авариям и отказам информирование Начальника ДМРЛ-С,
- введение дважды в сутки метеопараметров в программу UVK, в случае централизованного введения метеоинформации (из НТЦР ДМРЛ-С по каналам связи) – проверка введенных метеопараметров,
- фиксация в журнале наблюдений ДМРЛ-С информации о дежурной смене, авариях оборудования ДМРЛ, каналов и связного оборудования ДМРЛ, введенных метеопараметров.

7) В задачу инженера ДМРЛ-С входит:

- ежедневный контроль технического состояния технических средств ДМРЛ-С с использованием средств АСКУ радиолокатора, архива наблюдений ДМРЛ-С, электронных журналов ПОИ и ВОИ ДМРЛ-С, содержащих информацию о времени выполнения р/л обзоров, произошедших отказов и аварий,
- проведение проверок ориентирования ДМРЛ-С и контроль технических параметров ДМРЛ-С согласно РЭ [1] во взаимодействии со специалистами НТЦР ДМРЛ,
- в случае возникновения отказов или аварии ДМРЛ-С принятие мер по их устранению согласно методикам, изложенным в РЭ, и фиксированию в Журнале и формуляре использование ЗИП радиолокатора,
- заполнение формуляра ДМРЛ-С,
- в случае невозможности устранения аварии ДМРЛ-С своими силами подготовка запроса на завод-изготовитель ОАО «НПО «ЛЭМЗ» и в НТЦР ЦАО с информацией об остановке наблюдений, характере аварии и вызове специалистов для ликвидации аварии,
- проведение сезонного ТО согласно требованиям РЭ на ДМРЛ-С.

8) В задачу Синоптика эксплуатирующей ДМРЛ-С организации входит:

- проведение регулярного сопоставления информации ДМРЛ-С с данными других метеоизмерений, и, в случае возникновения противоречий, информирование НТЦР ДМРЛ с обязательной фиксацией в журнале наблюдений,
- ежемесячная подготовка отчета для НТЦР ДМРЛ по результатам сопоставления, с обязательным описанием случаев противоречий, и предложениями по улучшению качества радиолокационных наблюдений ДМРЛ-С.

## 8. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА РАБОТЫ ДМРЛ-С

### 8.1. Методика оценки успешности идентификации ОЯ по данным ДМРЛ-С.

#### 8.1.1 Показатели оценки качества.

Оценка качества радиолокационной метеоинформации проводится путем оценки соответствия зафиксированных ДМРЛ-С явлений, в первую очередь, гроз, фактически наблюдавшимся. Грозы при этом выбраны, как наиболее опасные метеоявления, с одной стороны, и фиксирующиеся на достаточно большом удалении наблюдателем метеостанции (МС) - с другой, в отличие от ливней, града, шквала, которые имеют локальный характер и по этой причине не могут быть зафиксированы наблюдателем МС на удалении в несколько км. Данные МС выступают при этом в качестве эталонной информации.

Для оценки качества идентификации гроз с помощью ДМРЛ-С используются такие характеристики, как **оправдываемость гроз** и **достоверность гроз** [27], разработанные для автоматизированных МРЛ.

**Оправдываемость** – вероятность обнаружения на ДМРЛ-С гроз, зафиксированных эталоном. Оправдываемость **Р<sub>опр</sub>** рассчитывается как отношение числа случаев (10-минутных сроков) зафиксированных эталоном гроз, совпавших с грозами по ДМРЛ-С – **Н<sub>э-дмрл</sub>**, к числу случаев гроз по данным эталонных наблюдений – **Н<sub>э</sub>**, выраженное в %:

$$R_{\text{опр}} = (N_{\text{э-дмрл}} / N_{\text{э}}) * 100\%$$

Вероятность неоправдавшихся гроз, соответственно, рассчитывается как

$$R_{\text{неопр}} = 100\% - R_{\text{опр}}$$

**Достоверность** – вероятность подтвержденных эталоном гроз, отмеченных на ДМРЛ-С. Достоверность **Р<sub>дост</sub>** рассчитывается как отношение числа случаев (10-минутных сроков) гроз по ДМРЛ-С, подтвержденных грозами по эталону – **Н<sub>дмрл-э</sub>**, к числу случаев (сроков) гроз по ДМРЛ-С – **Н<sub>дмрл</sub>**, выраженное в %:

$$R_{\text{дост}} = (N_{\text{дмрл-э}} / N_{\text{дмрл}}) * 100\%$$

Соответственно, величина **Р<sub>лт</sub> = 100% - Р<sub>дост</sub>** - характеризует **вероятность ложных тревог**. В качестве эталонной информации при определении **оправдываемости** гроз по ДМРЛ-С привлекаются данные наблюдений метеостанций Росгидромета.

В качестве эталонной информации для оценки **достоверности** гроз по ДМРЛ-С могут привлекаться данные наблюдений метеостанций Росгидромета, грозопеленгаторов и действующих АМРК (АКСОПРИ, «Метеоячейка» и др.).

Необходимо учитывать особенности эталонной информации о грозах, полученной на МС, а именно, то, что согласно Наставлению [24], начало грозы фиксируется по первому услышанному наблюдателем удару грома, окончание – по последнему услышанному удару, при условии, что в последующие 15 мин гром не повторится

Анализ данных метеорологических таблиц ТМС, прошедших многоступенчатый контроль и содержащих время начала и окончания каждой зафиксированной на МС грозы, показал, что случаи, когда промежуток времени между двумя грозами составляет менее 30 минут (то есть когда наблюдатель, не услышав грома в течение 15 минут, а услышав его через 20-25 минут, отметил бы эту грозу как следующую), встречаются очень редко, зато часто период отмеченной наблюдателем грозы продолжается несколько (3 – 5) часов. Можно предположить, что в течение периода отмеченной наблюдателем грозы, продолжающейся несколько часов, могут происходить ее кратковременные затухания, и в эти периоды ДМРЛ-С может ее не определить.

Наилучшими эталонными данными о времени начала и окончания гроз являются данные таблиц ТМС, однако они доступны лишь через несколько месяцев после наблюдений и по этой причине могут быть использованы только при отработке критериев явлений погоды, а не при оперативном сопоставлении. Кроме таблиц ТМС, информация о грозах содержится в штормовых оповещениях и в данных стандартных 8-срочных наблюдений. Последние наиболее доступны для использования.

### **8.1.2 Правила сопоставления радиолокационной и эталонной информации о грозах при оценке оправдываемости гроз.**

В НТЦР ДМРЛ приняты следующие правила при использовании в качестве эталонной информации о грозах данных штормовых сообщений и таблиц ТМС, имеющих время начала и окончания:

- поскольку наблюдения на ДМРЛ-С проводятся каждые 10 минут, сопоставление радиолокационной и эталонной (по всем МС, входящим в «штормовое кольцо») информации проводится за каждые 10 минут. Каждый 10-минутный интервал времени в промежутке отмеченной МС-ей грозы считается **случаем грозы**. Так, если гроза на МС «Валдай» отмечена с 05:00 до 05:20, случаев грозы будет 3: в 05:00, в 05:10 и в 05:20,

- на карте метеоявлений ДМРЛ-С за каждые 10 мин грозового интервала, отмеченного метеостанцией, в радиусе  $r$  (в настоящее время используется значение  $r=25\text{км}$ ) от МС выбирается максимально опасное явление,

- если случаю грозы по МС в момент  $T_0$  соответствует явление по ДМРЛ-С в интервале времени  $T_0 \pm \Delta t$ , где  $\Delta t = 10$  мин: (то есть в интервале  $T_0 - 10$  мин... $T_0 + 10$  мин) не менее опасное, чем (R), а именно, от (R) до сильного шквала, то случай грозы по МС считается оправдавшимся и входит в выборку  $N_{э-дмрл}$ ;

- если случаю грозы по МС в момент  $T_0$  соответствует другое явление по ДМРЛ-С в указанном временном интервале ( $T_0 - 10$  мин... $T_0 + 10$  мин), этот случай считается неоправдавшимся и входит в выборку  $N_{неопр}$  неоправдавшихся случаев; в сумме эти две выборки составляют весь массив значений  $N_{э}$ :  $N_{э} = (N_{э-дмрл} + N_{неопр})$ .

В табл. 8.1 приведен пример расчета оправдываемости, для грозы, наблюдавшейся на метеостанции «Х» с 12:19 по 13:22. По радиолокационным наблюдениям на ДМРЛ-С в этом интервале были зафиксированы явления, приведенные в графе 2.

Лишь один случай грозы по МС в 12:50 оказался неоправдавшимся, т.к. в интервале с 12:40 по 13:00 по ДМРЛ-С гроз не отмечено; отмечались сильные ливни (W). Оправдываемость  $R_{опр}$  составила 86% (6 случаев грозы по МС из 7 оправдались)

Таблица 8.1

Пример расчета оправдываемости по принятым правилам сопоставления

Срок наблюдений	Явление по ДМРЛ	Явление по МС	К-во оправдавшихся гроз ( $N_{МС-ДМРЛ}$ )	Общее количество гроз ( $N_{МС-ДМРЛ} + N_{неопр}$ )
1	2	3	4	6
12:10	R			
12:20	W	гроза	1	1
12:30	R	гроза	1	1
12:40	W	гроза	1	1
12:50	W	гроза	неоправдавшаяся	1
13:00	W	гроза	1	1
13:10	R	гроза	1	1
13:20	R	гроза	1	1
13:30	R			
Сумма			6	7
Оправдываемость, $R_{опр}$ , %			<b>86 %</b>	

Следует отметить, что радиус выбора максимально опасного явления, соответствующий радиусу определения грозы наблюдателем в окрестности МС, зависит от условий местности. Так,

в условиях открытых пространств степей и полупустынь (например, на МС «штормового кольца» ДМРЛ-С «Волгоград») наблюдатель часто отмечает грозы на расстоянии 40 км и более.

### **8.1.3 Правила при использовании в качестве эталонной информации о грозах данных стандартных 8-срочных наблюдений в коде SYNOP.**

В НТЦР ДМРЛ приняты следующие правила сопоставления:

- если гроза на МС в срок 15:00 закодирована как «гроза в срок наблюдения», то рассматривается интервал радиолокационных данных с 14:50 до 15:10, и если в этом интервале радиолокатор зафиксировал хотя бы в течение одной 10-минутки явления от (R) до сильного шквала, гроза считается оправдавшейся, в противном случае – неоправдавшейся, «пропущенной»;

- если гроза в 15:00 закодирована как «гроза в последний час», выбор радиолокационных данных производится из интервала 14:00 -15:00 с теми же условиями: если в этом интервале радиолокатор зафиксировал хотя бы в течение одной 10-минутки явления от (R) до сильного шквала, гроза считается оправдавшейся, в противном случае – неоправдавшейся, «пропущенной»;

- если гроза в 15:00 (или другой промежуточный синоптический срок) закодирована как «гроза между сроками», выбор р/л данных производится из интервала 12:00 – 14:50 с теми же условиями: если в этом интервале радиолокатор зафиксировал хотя бы в течение одной 10-минутки явления от (R) до сильного шквала, гроза считается оправдавшейся, в противном случае – неоправдавшейся, «пропущенной»;

- если гроза в основной синоптический срок (00, 06, 12, 18 часов ВСВ) закодирована как «гроза между сроками», она не берется в рассмотрение, т.к. 6-часовой интервал между основными синоптическими сроками содержит неопределенность во времени грозы – была ли она в интервале времени от 00 до 03 часов и уже учтена в промежуточном сроке 03 часа, либо она была отмечена в интервале времени с 03 до 06 часов, и ее нужно учесть в 06 часов.

Для определения качества идентификации ОЯ по наблюдениям ДМРЛ-С необходимо ввести соответствующие критерии. Поскольку оценка оправдываемости идентификации производится в НТЦР ДМРЛ в автоматическом режиме по вновь разработанной программе, в качестве временных показателей качества наблюдений ДМРЛ-С по  $R_{OIP}$  были выбраны следующие значения:

$R_{OIP} \geq 70\%$  – удовлетворительно,

$R_{OIP} \geq 80\%$  – хорошо,

$R_{OIP} \geq 90\%$  – отлично.

### 8.1.4 Правила сопоставления радиолокационной и эталонной информации о грозах при оценке достоверности идентификации гроз на ДМРЛ-С.

При определении достоверности  $R_{\text{дост}}$  пространственный радиус  $r_1$  выбора максимального явления по данным ДМРЛ-С в окрестности МС для подтверждения гроз по ДМРЛ-С данными МС должен быть меньше  $r$ , т.к. это должен быть радиус, в котором наблюдатель МС гарантированно не может пропустить грозу (10-15км); временной интервал подтверждающих данных по МС должен быть существенно больше, чем при определении  $R_{\text{опр}}$   $\Delta t = \pm 30$  мин: «-30 мин» от времени начала явления по ДМРЛ-С от (R) до сильного шквала и «+30 мин» ко времени окончания явления от (R) до сильного шквала по ДМРЛ, если кроме МС не привлекаются никакие другие эталонные данные. То есть, если грозы по ДМРЛ-С в радиусе 15 км от МС «X» наблюдались с 05:00 до 06:00 ч, а в интервале от 04:30 ч до 06:30 ч по данным МС «X» не получено подтверждения гроз, они будут считаться недостоверными, т.е. «ложными тревогами». И напротив, если во временном интервале от 04:30 до 06:30 получено подтверждение грозе по данным МС «X», она считается достоверной.

Если по данным грозопеленгационной сети в этом интервале времени были отмечены молниевые разряды, отмеченные ДМРЛ-С грозы, даже при их неподтверждении данными МС, считаются подтвержденными и входят в выборку  $N_{\text{дмрл-э}}$ .

В настоящее время методика оценки достоверности для действующих ДМРЛ-С находится в разработке, и показатели по этому параметру не определены.

### 8.1.5 Оперативный мониторинг качества радиолокационных наблюдений ДМРЛ-С.

Стоящие перед НТЦР ДМРЛ ЦАО задачи по научно-методическому сопровождению сети ДМРЛ-С предусматривают разработку адекватных программных средств контроля качества, способных оперативно оценивать качество информации сетевых ДМРЛ, число которых постоянно увеличивается, с тем, чтобы принимать оперативные меры при его снижении.

Поэтому для оперативного мониторинга качества работы растущей сети ДМРЛ-С, в части оценки оправдываемости ОЯ, в НТЦР ДМРЛ ЦАО в 2013 г. была разработана и реализована автоматическая программа сопоставления ОЯ (гроз) по ДМРЛ-С с данными о грозах из 8-срочных наблюдений сети метеостанций Росгидромета в коде SYNOP (с явлениями «в срок», «в последний час» и «между сроками»), оперативно поступающими по сети АСПД Росгидромета.

Программа работает таким образом, что предварительные результаты оправдываемости получаются полностью объективными, участие человека на первом этапе полностью

исключается, и лишь на втором этапе инженер-метеоролог анализирует случаи неоправдавшихся гроз, и, если для этого были объективные причины (велись отладочные работы и пр.), отбраковывает «некачественные» случаи.

Планируется, что показатели оправдываемости информации ДМРЛ-С должны автоматически рассчитываться по отношению не только к грозам (к каждой из градаций гроз R, R), (R ), но также и к другим опасным явлениям - град, шквал, ливневые осадки.

Синоптикам ДМРЛ-С на местах предлагается также вести статистический учет оправдываемости ОЯ, заполняя следующую таблицу 8.2:

Таблица 8.2

Форма отчетности об ОЯ, наблюдаемых в грозовой сезон

Дата	МС		ДМРЛ-С							Причина необна- ружения ОЯ
	Назва- ние МС	ОЯ, время начала и окончания	Срок, ВСВ	шкв ал	град	(R) 30- 70%	(R) 71- 90%	R >90%	Лив осад	

При выявлении несовпадений ОЯ по ДМРЛ и по данным МС, а также по всем вопросам, касающимся качества радиолокационной информации ДМРЛ-С, необходимо обращаться в НТЦР ДМРЛ ЦАО по адресу: г.Долгопрудный Московской области, ул. Первомайская, д.3, ФГБУ «ЦАО», НТЦР ДМРЛ, по телефонам: (495) 408-6113, 408-7719, факсу (495) 576-3327, 408-7661, а также на адрес эл. почты ЦАО или НТЦР ДМРЛ.

На следующей странице приведен пример расчета  $R_{опр}$  гроз за сентябрь 2013 г. по всем работавшим ДМРЛ-С. Расчет проводится в НТЦР ДМРЛ в автоматическом режиме за каждый день и за месяц в целом. В примере показаны результаты с 1 по 10-е и с 25 по 30 сентября 2013 г. На основании проведенного анализа качества работы можно сделать следующее заключение - все ДМРЛ-С, за исключением «Волгоград», «Брянск», «Валдай», провели наблюдения в этот период с оценкой «хорошо» и «отлично».



## ЛИТЕРАТУРА

1. Доплеровский метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С, Руководство по эксплуатации, в 6-ти кн., ЦИВР.462414.002 РЭ, М.:ЛЭМЗ, 2011.
2. Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Формуляр, 623.02572456.01001-01 30 01, 2011, 8с.
3. Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Описание программы, 623.02572456.01001-01 13 01, 2011, 108с.
4. Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Ведомость эксплуатационных документов, 623.02572456.01001-01 20 01, 2011, 3с.
5. Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Руководство оператора, 623.02572456.01001-01 34 01, 2011, 49с.
6. Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Руководство системного программиста, 623.02572456.01001-01 32 01, 2011, 30с.
7. Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Руководство программиста, 623.02572456.01001-01 33 01, 2011, 30с.
8. Довиак Р., Зрнич Д. Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения. Л.: Гидрометеиздат, 1988, 512 с.
9. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. РД 52.04.320-91. СПб: Гидрометеиздат, 1993, 356 с.
10. Приказ Росгидромета №95 от 21.06.2004 г. «О внедрении на радиолокационной сети Росгидромета «Основных технических требований к системе обнаружения опасных атмосферных явлений и штормового оповещения на базе метеорологических радиолокаторов».
11. Авиационные факторы риска. ВМО. Программа обучения и подготовки. Женева, 2007, 53с.
12. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Низдойминога Г.Л. Радиолокационные характеристики облаков и осадков. Л.: Гидрометеиздат, 1986, 219 с.
13. Методические указания по использованию радиолокационных данных в синоптическом анализе и краткосрочном прогнозе погоды. Под ред. Г.К.Веселовой, Ю.К. Федорова.- М.: Гидрометеиздат, утверждены ЦМКП Госкомгидромета решением от 21.09.1979 г., 23 с.
14. Сертификационные требования (БАЗИС) к доплеровскому метеорологическому радиолокатору ДМРЛ-С ЦИВР.462414.002-01 ОАО «НПО «ЛЭМЗ», Утверждено 23.11.2010 г. Советом Комиссии по сертификации аэродромов и оборудования Межгосударственного Авиационного Комитета, М., 2010, 8 с.
15. Сертификат типа МАК №576 от 19.02.2013 на Доплеровский метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С <http://www.mak.ru/russian/kommissions/ksao/certificates/meteo.pdf>

16. Ефремов В.С., Б.М. Вовшин, И.С.Вылегжанин, В.В.Лаврукевич, Р.М.Седлецкий // Поляризационный доплеровский метеорологический радиолокатор С-диапазона со сжатием импульсов, «Журнал радиоэлектроники», №10, 2009.
17. Руководство по диагнозу и прогнозу опасных и особо опасных осадков, града и шквалов по данным метеорологических радиолокаторов и искусственных спутников Земли. РД 52.27.339-93, Росгидромет, М., 1996, 181 с.
18. Byers H.R., Braham R.R. The thunderstorm, Report of the thunderstorm project, Washington, 1949
19. Лебедева Н.В. Прогноз ливней и гроз. Сборник методических указаний по авиационной метеорологии. Гидрометеиздат, Л., 1959.
20. Приказ Росгидромета №257 от 30.09.2009 г. «О внедрении на сети Росгидромета «Порядка проведения работ для размещения доплеровских метеорологических радиолокаторов наблюдательной сети Росгидромета».
21. Климат Архангельска под ред Ц.А. Швер, А.С. Егоровой –Л., Гидрометеиздат, 1982.
22. Климат Краснодара под ред Ц.А. Швер, Т.И. Павличенко –Л., Гидрометеиздат, 1990.
23. Хромов С.П.,Л.И.Мамонтова Метеорологический словарь. –Л., Гидрометеиздат,1974, 567 с.
24. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам Вып.3, ч.1, Л., Гидрометеиздат, 1985 , 299с.
25. Руководство по авиационной метеорологии ИКАО, Doc 8896 AN/893, изд.9, 2011.
26. Vaisala Weather Radar WRM200, Technical specification <http://www.vaisala.com/en/defense/products/weatherradar/Pages/WRM200.aspx>
27. Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка» - С.-Пб, Гидрометеиздат, 2007, 236 с.
28. Облака и облачная атмосфера. Справочник под ред. И.П.Мазина и А.Х.Хргиана. Л., Гидрометеиздат, 1989, 646 с.
29. WMO Training course on weather radar systems 12–16 September 2005, WMO RMTC-Turkey.
30. WMO Weather radar training course, Korea Rep., 11 March, 2013.
31. Бин Б.Р., Е.Дж.Даттон Радиометеорология, Л., Гидрометеиздат, 1971, 361 с.
32. Богаткин О.Г.,В.Д.Еникеева Анализ и пргноз погоды для авиации,Л.,Гидрометеиздат, 1985, 230 с.
33. С.Т. Lahiff Vertically integrated liquid density and its associated hail size range across the burlington, vermont county warning area, Eastern Region Technical Attachment, No. 2005-01, National Weather Service, NOAA, Department of Commerce. 20 pp., Bohemia, NY.
34. Jon W. Zeitler «Radar Basics and Estimating Precipitation» NWS, USA.
35. Koistinen, J., Hohti H., and Pohjola H., 2005: Diagnosis of precipitation detection range. Preprints, 32nd International Conference on Radar Meteorology, AMS, 3 pp.
36. Боровиков А.М., Костарев В.В., Мазин И.П., Смирнов В.И., Черников А.А. Радиолокационные измерения осадков. –Л., Гидрометеорологическое издательство, 1967, 140 с.