

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
(Росгидромет)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ФГБУ «ЦАО»

 А.В. Колдаев

« 19 »  2019 г.

Методические указания
по использованию информации
доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С
в синоптической практике

Третья редакция

Москва
2019

- | | |
|------------------------|--|
| 1 РАЗРАБОТАН | ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория»,
ФГБУ «Гидрометцентр России»,
ФГБУ «Главный авиационный метеорологический центр Росгидромета». |
| 2 РАЗРАБОТЧИКИ | Ю.Б.Павлюков, начальник НТЦР ДМРЛ ЦАО;
Н.И. Серебрянник, к.г.н., зав.отделом НТЦР ДМРЛ ЦАО;
С.Г. Беликов, зам. начальника НТЦР ДМРЛ ЦАО;
Н.А. Безрукова, к.г.н., учёный секретарь ЦАО;
Д.П. Коренев, вед. программист НТЦР ДМРЛ ЦАО;
Н.А. Ерошкина, инженер-метеоролог НТЦР ДМРЛ ЦАО;
В.А. Охрименко, вед. инженер-метеоролог НТЦР ДМРЛ ЦАО;
А.В. Козырев, вед. инженер-метеоролог НТЦР ДМРЛ ЦАО;
А.В. Травов, вед. программист НТЦР ДМРЛ ЦАО;
А.А. Шумилин, вед. программист НТЦР ДМРЛ ЦАО;
Т.А. Белякова, вед. инженер НТЦР ДМРЛ ЦАО;
В.П. Пылаев, зав.отделом НТЦР ДМРЛ ЦАО;
В.И. Лукьянов., начальник лаборатории Гидрометцентра РФ;
<u>Б.Е. Песков, к.г.н., в.н.с. Гидрометцентра РФ</u> ;
Т.Г. Дмитриева, гл. спец. Гидрометцентра РФ;
Е.В. Васильев, гл. спец. Гидрометцентра РФ;
А.Г. Ушаков, гл. спец. Гидрометцентра РФ;
Т.К. Кулик, зам. начальника ГАМЦ Росгидромета;
Л.А. Булгак, главный синоптик ГАМЦ Росгидромета;
Ж.И.Белятко, главный метеоролог ГАМЦ Росгидромета. |
| 3 ВНЕСЁН | ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория» |
| 4 УТВЕРЖДЁН | Руководителем Росгидромета А.В.Фроловым |
| 5 ВВЕДЁН В
ДЕЙСТВИЕ | Приказом Росгидромета № 52 от 14.02.2014 г. |
| 6 ОДОБРЕН | Решениями Центральной методической комиссии по
гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам:
– от 30 мая 2014 г. (первая редакция),
– от 04 июля 2017 г. (вторая редакция),
– от 19 декабря 2019 г. (третья редакция). |
| 7 ВВЕДЁН | Взамен второй редакции методического документа
«Временные методические указания по использованию
информации доплеровского метеорологического
радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике» |

Авторы выражают благодарность за полезные замечания, высказанные при рецензировании настоящего документа, гл. научному сотруднику ФГБУ «Гидрометцентр России», д.ф.-м.н. А.Р. Ивановой.

Оглавление

Введение.....	5
1. Область применения.....	7
2. Нормативные ссылки.....	7
3. Определения, обозначения и сокращения	9
4. Общие сведения о сети ДМРЛ Росгидромета	12
4.1 Текущий состав сети ДМРЛ Росгидромета	12
4.2 Метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С	14
4.3 Режим и программа радиолокационных наблюдений на ДМРЛ-С ...	16
4.4 Метеорологическая адаптация ДМРЛ-С после ввода в эксплуатацию	20
4.5 Программное обеспечение вторичной обработки информации «ГИМЕТ-2010» метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С	23
5. Первичные радиолокационные продукты метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С	25
5.1 Радиолокационная отражаемость (Z)	26
5.2 Радиальная доплеровская скорость (V)	28
5.3 Ширина доплеровского спектра (W)	30
5.4 Дифференциальная отражаемость (Z_{dr})	31
5.5 Дифференциальная фаза (F_{dp})	33
5.6 Коэффициент кросскорреляции (ρ_{HV})	34
5.7 Удельный дифференциальный фазовый сдвиг (K_{dp}).....	35
6. Вторичные радиолокационные продукты ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С	37
6.1 Карты горизонтальных сечений первичных продуктов (CAPPI/pCAPPI).....	37
6.2 Вертикальные сечения первичных продуктов.....	38
6.3 Карта максимальной отражаемости (Z_{max})	39
6.4 Карта высоты верхней границы радиоэха (H_{BTO})	40
6.5 Карта высоты нижней границы радиоэха (H_{HBO})	41
6.6 Карта вертикально интегрированной водности (VIL)	43
6.7 Карта интенсивности выпадающих осадков (R)	44
6.8 Карты сумм накопленных осадков (Q)	46

6.9	Карта метеоявлений	47
6.10	Карта опасных метеоявлений. Контурные опасные метеоявления	50
6.11	Карты сдвигов ветра (S_g/S_v)	51
6.12	Карта зон турбулентности (ϵ)	55
6.13	Вектор переноса облачности и осадков	57
6.14	Вертикальный профиль ветра и его временная развёртка.....	60
6.15	Поле векторов горизонтального ветра (HW).....	61
6.16	Карта дальности видимости в осадках	64
6.17	Карта зон возможного обледенения	66
7.	Визуализация радиолокационной метеоинформации	67
7.1	Отображение р/л метеоинформации на экране УУВК и АП радиолокатора ДМРЛ-С.....	67
7.2	Представление информации сети ДМРЛ в Веб-ГИС «Метеорад»	69
7.3	Представление информации ДМРЛ на РС «Марс» и ПК «ГИС Метео»	78
8.	Использование радиолокационной информации в синоптической практике	78
8.1	Опасные явления погоды на картах ДМРЛ в различных ситуациях ...	79
8.2	Определение интенсивности и количества осадков и их использование для прогноза погоды	96
8.3	Диагноз метеоявлений по ДМРЛ и использование информации для разработки прогнозов погоды и штормовых предупреждений	98
8.4	Использование данных ДМРЛ для оценки качества метеопрогнозов .	106
9.	Использование радиолокационной информации для метеообеспечения авиации	106
10.	Ограничения радиолокационного метода метеорологических наблюдений	107
11.	Организация контроля качества наблюдений на сети ДМРЛ	121
Приложения		123
Приложение 1 Технические характеристики радиолокатора ДМРЛ-С.....		123
Приложение 2 Характеристики метеорологических радиолокаторов		124
Библиография		126

Введение

Современные доплеровские метеорологические радиолокаторы (ДМРЛ) являются уникальным средством метеорологических наблюдений, которое может обеспечить в режиме реального времени точную информацию о местоположении и характере перемещения зон интенсивных осадков, гроз, града, шквалов, зон турбулентности, высоких скоростей ветра и др. на больших территориях. Современные ДМРЛ имеют радиус обзора 250-300 км и позволяют осуществлять в круглосуточном автоматизированном режиме циклические наблюдения с периодичностью от 3 до 15 минут, получая данные с высоким пространственным разрешением (0,5-1 км) на площади до 300 тыс.км².

Радиолокационная информация хорошо дополняет данные метеорологических спутников, которые используют для зондирования атмосферы пассивные методы на основе радиометрических измерений, 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.

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

Основной выходной информацией радиолокационных метеорологических наблюдений является информация о местоположении, внутренней структуре, метеорологических характеристиках (тип метеоявления, интенсивность и фазовый состав выпадающих осадков, верхняя граница облачности (ВГО), доплеровская скорость) полей облачности и осадков. Наблюдение за их перемещением и эволюцией даёт возможность прогнозировать погоду на разные периоды времени – на 1-3 часа по данным одного ДМРЛ и до одних суток по картам единого радиолокационного поля (ЕРП), корректировать прогнозы, разрабатывать штормовые предупреждения, предупреждения по аэродрому, предупреждения о сдвиге ветра.

Современные метеорологические радиолокаторы решают следующие важные практические задачи:

- идентификация метеоявлений, связанных с облачностью и осадками, информационное обеспечение сверхкраткосрочного прогноза погоды и штормовых предупреждений, предупреждений по аэродрому, предупреждений о сдвиге ветра,
- измерение характеристик осадков радиолокационным методом и использование этих данных в гидрологических расчётах и прогнозах,
- обеспечение радиолокационной информацией численных моделей прогноза погоды для их инициализации и верификации.

Настоящий документ содержит информацию о назначении, технических характеристиках и характеристиках выходных продуктов радиолокатора ДМРЛ-С.

Документ даёт общие рекомендации для интерпретации радиолокационных продуктов и определяет порядок использования радиолокационной информации в синоптической практике. Применение информации ДМРЛ позволяет синоптику в сложных ситуациях оценить динамику возникновения и развития опасных метеорологических объектов, скорость и направление их перемещения, а также корректировать прогнозы, разрабатывать штормовые предупреждения, предупреждения по аэродрому, предупреждения о сдвиге ветра и уведомлять различные структуры, работа которых зависит от погодных условий.

В настоящей редакции документа учтены замечания практикующих синоптиков сети Росгидромета (УГМС, ЦГМС, АМСГ), а также дополнения ведущих НИУ Росгидромета – ФГБУ «ГАМЦ Росгидромета», ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», ФГБУ «Гидрометцентр России», ФГБУ «ГГО».

В 2017 г. опубликован документ ВМО «Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений» [62], в разделе 7 «Радиолокационные измерения» которого рассмотрены вопросы распространения радиоволн сантиметрового диапазона, ограничения радиолокационного метода метеонаблюдений и др., в связи с чем в третьей редакции настоящего документа раздел «Ограничения радиолокационного метода наблюдений» сокращён. Также в документе сокращён раздел «Использование информации ДМРЛ для анализа метеоусловий и подготовки прогнозов и штормовых предупреждений» и исключён раздел об использовании доплеровской информации для анализа синоптической ситуации – оба эти раздела содержатся в [26]. В документ добавлены рисунки, иллюстрирующие вторичные продукты ДМРЛ, и даны дополнительные пояснения по примерам.

1. Область применения

Настоящие методические указания устанавливают порядок использования информации доплеровских метеорологических радиолокаторов ДМРЛ-С с поляризационной обработкой сигналов, установленных на наблюдательной сети Росгидромета, в синоптической практике организаций Росгидромета. Документ предназначен для специалистов отделов метеорологических прогнозов погоды УГМС, ЦГМС, синоптиков АМСГ, АМЦ, ЗАМЦ, ГАМЦ Росгидромета, а также НИУ Росгидромета, использующих информацию ДМРЛ в своей работе.

По вопросам организации радиолокационных метеорологических наблюдений на радиолокаторах ДМРЛ-С, функционирующих на ГНС Росгидромета, а также вопросам, касающимся качества радиолокационной информации ДМРЛ-С и её использования в синоптической практике, необходимо обращаться в НТЦР ДМРЛ ФГБУ «ЦАО» по адресу:

ул. Первомайская, д.3, г. Долгопрудный Московская обл., 141701

тел.: (495) 408-61-13, (495) 408-77-19,

факс: (495) 576-33-27,

адрес электронной почты: dmrl@list.ru .

2. Нормативные ссылки

В настоящем документе использованы ссылки на следующие нормативные и методические документы:

- Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. Глава 7 Радиолокационные измерения. Изд.ВМО №8, 2017 г., 96 с. [61];
- Weather radar - Part 1: System performance and operation. World Meteorological Organization, 2018, 97 p. [62];
- Приказ Росгидромета № 257 от 30.09.2009 г. «О внедрении на сети Росгидромета «Порядка проведения работ для размещения доплеровских метеорологических радиолокаторов наблюдательной сети Росгидромета» [64];
- 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» [51];

- Приказ Росгидромета № 368 от 23.08.2016 г. «О введении в действие Инструкции для оперативно-прогностических и авиаметеорологических подразделений Росгидромета по использованию информации ДМРЛ в синоптической практике» [26];
- Приказ Росгидромета № 52 от 14.02.2014 г. «О введении в действие временных методических указаний по использованию доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике» [65];
- Методика валидации наблюдений доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ (коллектив авторов ФГБУ «ЦАО»), Долгопрудный, 2018 г. [57];
- РД 52.27.339-93. Руководство по диагнозу и прогнозу опасных и особо опасных осадков, града и шквалов по данным метеорологических радиолокаторов и искусственных спутников Земли [55];
- РД 52.04.285-88. Методические указания по определению шквалов с использованием данных МРЛ [66];
- РД 52.11.332-93. Методика выполнения радиолокационных наблюдений с помощью комплекса АКСОПРИ [29];
- РД 52.88.699-2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений [32];
- РД 52.04.320-91. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2 и МРЛ-5 [36];
- РД 52.27.724-2019. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. М., 2019 г. [27];
- Технический проект «Общесистемные решения по сбору, анализу, контролю и представлению радиолокационной информации от ДМРЛ-С», Росгидромет, 2014 г. [52].
- РД 52.04.567-2003. Положение о государственной наблюдательной сети [67].

3. Определения, обозначения и сокращения

АВОИ	—	автоматизированная вторичная обработка информации;
АКСОПРИ	—	автоматизированный комплекс сбора, обработки и передачи радиолокационной информации, разработанный в ЦАО;
АМРК	—	автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс;
АМСГ	—	авиационная метеостанция (гражданская);
АМТК	—	ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета»;
АМЦ	—	авиационный метеорологический центр;
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	—	верхняя граница облачности;
ВОИ	—	вторичная обработка информации;
ВП	-	вертикальная поляризация;
ВС	—	воздушное судно;
ВСВ	—	всемирное скоординированное время (UTC);
ВСС	—	ведомственная сеть связи Росгидромета;
ГАМЦ	—	ФГБУ «Главный авиационный метеорологический центр Росгидромета»;
ГГО	—	ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»;
ГИМЕТ-2010	—	программное обеспечение вторичной обработки радиолокационной информации (ПО ВОИ) ДМРЛ-С;
ГКРЧ	—	Государственная комиссия по радиочастотам;
ГМЦ РФ	—	ФГБУ «Гидрометцентр России»;
ГНС	—	Государственная наблюдательная сеть;
ГП	-	горизонтальная поляризация;
ГПС	—	грозоупонгационная система;
ДМРЛ-С	—	доплеровский метеорологический радиолокатор диапазона 5,3 см производства ЛЭМЗ;
ДНА	—	диаграмма направленности антенны;
ЕТР	—	европейская территория России;
ЕРП	—	единое радиолокационное поле (Росгидромета);
ЗИП	—	запасное имущество и принадлежности;
ЗКТ	—	здание контейнерного типа;

ИСЗ	—	искусственный спутник Земли;
КМЯ		комплекс неблагоприятных метеоявлений;
КТА	—	контрольная точка аэродрома;
ЛЭМЗ	—	АО «НПО «Лианозовский электромеханический завод»;
МАК	—	Межгосударственный Авиационный Комитет;
МА	—	Метеорологическая адаптация
МКК	—	мезомасштабный конвективный комплекс;
«МОНО»	—	режим амплитудной модуляции импульсов (в ДМРЛ-С);
МРЛ	—	метеорологический радиолокатор;
МЯ	—	метеоявления
ННС	—	наземная наблюдательная сеть Росгидромета
НТЦР ДМРЛ	—	научно-технический центр по созданию и развитию сети ДМРЛ ФГБУ «ЦАО»;
«НЧМ»	—	режим с внутренней нелинейной частотной модуляцией импульсов;
МС	—	метеостанция наблюдательной сети Росгидромета;
МЯ	—	метеорологические явления;
ОВД	—	обслуживание воздушного движения;
ОрВД	—	организация воздушного движения;
ОЯ, ОЯП	—	опасные явления (погоды);
ПК	—	персональный компьютер;
ПО	—	программное обеспечение;
ПОИ, АПОИ	—	первичная обработка информации (система), автоматизированная первичная обработка информации;
ПС	—	программная система;
ПСИ	—	Приёмо-сдаточные испытания
р/л	—	радиолокационный;
РПУ	—	радиопрозрачное укрытие;
РС	—	рабочая станция;
РЭ	—	руководство по эксплуатации;
СК	—	система координат;
СКО	—	среднеквадратическое отклонение
СПДМУ	—	система передачи данных, мониторинга и управления ДМРЛ-С;
СУАМ	—	система удалённого автоматизированного мониторинга;
ТМС	—	таблицы стандартных метеорологических наблюдений;
УВД	—	управление воздушным движением;
УУВК	—	удалённый 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;
ШП	–	штормовое предупреждение;
CAPPI	–	<i>Constant Altitude Plan Position Indicator</i> - вторичный р/л продукт - горизонтальное сечение любого вторичного продукта на постоянной высоте;
Cb	-	кучево-дождевые облака;
DSD	–	<i>drop size distribution</i> – распределение частиц по размерам;
H _{вго}	–	высота верхней границы облачности;
H _{нго}	–	высота нижней границы облачности;
pCAPPI	–	pseudo CAPPI – любой вторичный р/л продукт, отличается от CAPPI применением экстраполяции вниз для формирования значений р/л отражаемости в дальней зоне;
PPI	–	<i>Plan Position Indicator</i> - вторичный р/л продукт - коническое сечение;
PRF	–	<i>pulse repetition frequency</i> – частота следования импульсов (ЧСИ);
VAD	–	<i>Velocity Azimuth Display</i> - алгоритм обработки доплеровской информации, строящий зависимость радиальной скорости ветра от азимута;
WP	–	<i>Wind Profile</i> – вторичный радиолокационный продукт – вертикальный профиль горизонтальной компоненты ветра для текущего обзора;
VCP	–	<i>Volume Coverage Pattern</i> – стратегия (последовательность углов места антенны) радиолокационного сканирования атмосферы;
VIL	–	<i>Vertically-Integrated Liquid water</i> – вертикально интегрированная водность;
VWP	–	<i>VAD Wind Profile</i> – вторичный радиолокационный продукт, описывающий зависимость скорости горизонтального ветра, восстановленного по алгоритму VAD, от высоты и времени;

4. Общие сведения о сети ДМРЛ Росгидромета

В состав наблюдательной сети Росгидромета входит метеорологическая радиолокационная сеть [67]. В настоящее время её основу составляют современные доплеровские метеорологические радиолокаторы – ДМРЛ. Для модернизации радиолокационной сети по техническому заданию Росгидромета отечественной промышленностью был разработан метеорологический радиолокатор нового поколения ДМРЛ-С [1]. Начиная с 2012 г. на ГНС идёт планомерная замена устаревших радиолокаторов серии МРЛ на ДМРЛ-С. Установка радиолокаторов ДМРЛ-С на территории РФ проводится Росгидрометом по утверждённому Техническому Проекту [53] в рамках выполнения федеральных целевых и государственных программ:

- ФЦП «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008-2015 годы («Геофизика»);
- «Модернизация Единой системы организации воздушного движения Российской Федерации (2009-2020»;
- «Развитие транспортной системы России (2010-2021 годы)», подпрограмма «Гражданская авиация»,

Главной целью модернизации радиолокационной сети является создание Единого Радиолокационного Поля (ЕРП) Росгидромета. Выбор мест для установки радиолокаторов ДМРЛ-С определяется требованиями [65] и предполагает выполнение ряда условий:

- обеспечение максимальной зоны радиолокационного обзора;
- создание непрерывного радиолокационного метеорологического поля;
- размещение ДМРЛ на территориях с наибольшей плотностью населения, в крупнейших городах, вблизи важнейших аэропортов.

В соответствии с [53] в состав сети ДМРЛ Росгидромета входят радиолокационные позиции ДМРЛ-С, система передачи данных, мониторинга и управления ДМРЛ (СПДМУ), а также Центр сбора и обработки радиолокационной информации, расположенный в ФГБУ «ЦАО».

4.1 Текущий состав сети ДМРЛ Росгидромета

По состоянию на 01.12.2019 г. на наблюдательной сети Росгидромета радиолокационные метеорологические наблюдения в оперативном режиме проводились на двух ДМРЛ иностранного производства (Пулково, Сочи-Ахун) и 36 радиолокаторах ДМРЛ-С (рисунок 4.1):

- | | |
|------------------|-------------------------------|
| 1) Архангельск, | 19) Курск, |
| 2) Барабинск, | 20) Минеральные Воды, |
| 3) Белгород | 21) Москва (Профсоюзная) |
| 4) Брянск, | 22) Миллерово |
| 5) Валдай, | 23) Нижний Новгород, |
| 6) Великие Луки, | 24) Новосибирск, |
| 7) Владивосток, | 25) Орел, |
| 8) Владимир, | 26) Оренбург, |
| 9) Внуково, | 27) Петрозаводск, |
| 10) Воейково, | 28) Петропавловск- Камчатский |
| 11) Волгоград, | 29) Самара, |
| 12) Вологда, | 30) Смоленск, |
| 13) Ижевск, | 31) Ставрополь, |
| 14) Казань, | 32) Тамбов |
| 15) Киров, | 33) Тула, |
| 16) Кострома, | 34) Уфа, |
| 17) Котлас, | 35) Шереметьево, |
| 18) Краснодар, | 36) Элиста. |

На 34-х из них (кроме ДМРЛ «Владимир», «Орел») завершена метеорологическая адаптация, их информация передается потребителям и может использоваться в синоптической практике. Кроме ДМРЛ в Росгидромете эксплуатируются 10 радиолокаторов МРЛ-5 в УГМС/НИУ и 13 – в Военизированных Службах Росгидромета на Северном Кавказе.

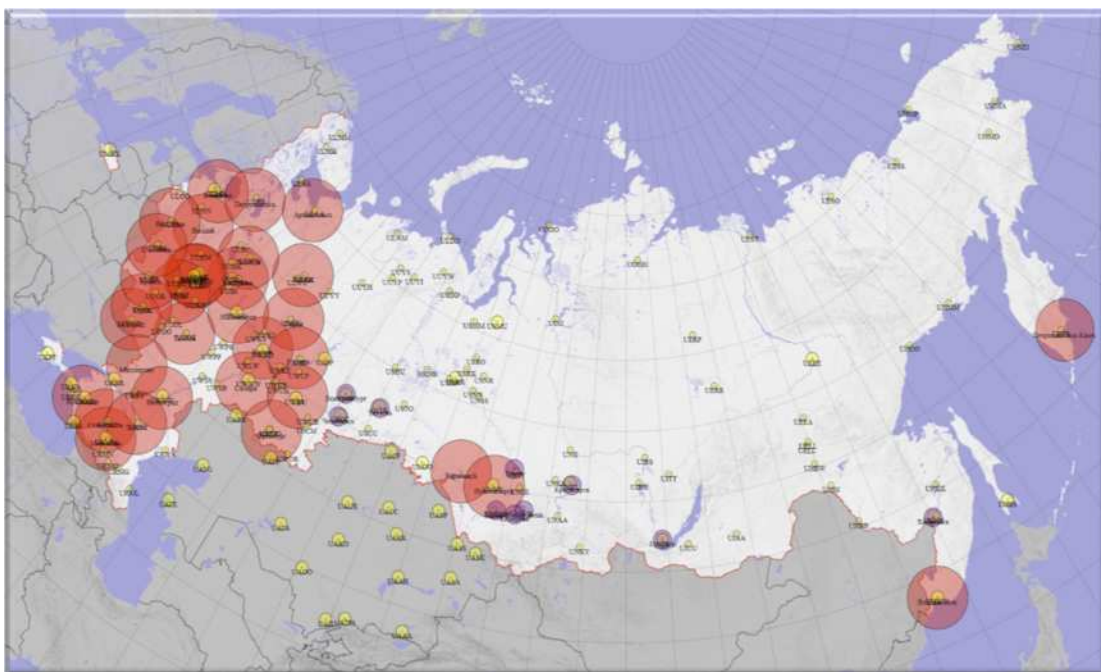


Рисунок 4.1 – Размещение радиолокаторов ДМРЛ-С на территории РФ

4.2 Метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С

Доплеровский метеорологический радиолокатор с двойной поляризацией 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]. Радиолокаторы ДМРЛ-С проводят на ГНС Росгидромета оперативные наблюдения в круглосуточном режиме в составе единой радиолокационной сети Росгидромета по единому регламенту и с использованием единого программного обеспечения [53]. Для сбора данных наблюдений, контроля и управления все радиолокаторы ДМРЛ подключаются к скоростной сети передачи данных Росгидромета.

4.2.1 Метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С – современный аппаратно-программный комплекс, включающий в свой состав следующее основное оборудование:

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

Оборудование ДМРЛ-С устанавливается на башне высотой 30 м и в аппаратном контейнере. На позиции размещается оборудование систем электроснабжения, охранной и пожарной сигнализации. На отдельных позициях предусмотрен дизель-генератор аварийного электроснабжения.

4.2.2 Контроль аппаратуры ДМРЛ-С, управление радиолокатором и вторичная обработка радиолокационной информации проводится на удалённом управляющем вычислительном комплексе (УУВК), который может размещаться удалении от башни ДМРЛ – как правило, до нескольких десятков км. Используются 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. Контроль поступления радиолокационной информации на УУВК проводят специалисты оперативных дежурных служб Росгидромета – АМСГ, АЭ, ЦГМС, УГМС.

4.2.3 ПО УУВК ДМРЛ-С включает следующее программное обеспечение:

- АСКУ ДМРЛ-С – автоматическую систему контроля и управления;
- ПО ВОИ ДМРЛ-С «ГИМЕТ-2010» - программное обеспечение, с помощью которого осуществляется обработка, архивация, визуализация и передача вторичных

продуктов по каналам связи в центр сбора в НТЦР ДМРЛ ФГБУ «ЦАО», потребителям на АП и в сеть АСПД [1].

Программное обеспечение УУВК (программа UVK1) позволяет визуализировать полный набор радиолокационных продуктов ДМРЛ-С из архива наблюдений радиолокатора.

Обеспечение передачи данных от УУВК ДМРЛ-С ведётся с помощью комплектов связного оборудования, в состав которых входит сетевое и связное оборудование (маршрутизатор, коммутатор, терминал спутниковой связи VSat) и аппаратно-программный комплекс «Модуль АСПД» на базе ПО UniMAS.

4.2.4 Для локальных потребителей информации ДМРЛ-С предусмотрена передача вторичных радиолокационных продуктов на выносные Абонентские Пункты (АП) по локальной сети. АП представляет собой персональный компьютер под управлением ОС MS Windows с установленным ПО UVKAбон из состава «ГИМЕТ-2010». На АП отображается сокращённый набор радиолокационных 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 1x1, 2x2 или 4x4 км. Однако при необходимости количество АП может быть увеличено. Для этого необходимо обратиться в ЦАО официальным письмом.

4.2.5 Технические характеристики метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С приведены в Приложении 1. В Приложении 2 приведены характеристики современных метеорологических радиолокаторов: отечественных ДМРЛ-С и семейства радиолокаторов МРЛ; зарубежных: WRM200 фирмы Vaisala (Финляндия), Meteor 500С фирмы Gematronik (Германия), DWSR 2501С фирмы EEC (США). Также для сравнения в таблицу включены характеристики радиолокатора WSR-88D, являющегося основой радарной метеорологической сети США. Анализ таблицы показывает, что ДМРЛ-С по основным параметрам не уступает зарубежным аналогам и превосходит отечественные радиолокаторы предыдущего поколения. Метеорологический радиолокатор с двойной поляризацией ДМРЛ-С использует для зондирования атмосферы нелинейно частотно-модулированный (НЧМ) сигнал [1,2] длительностью 60 и 25 мкс, что позволяет снизить импульсную мощность передатчика до 15 кВт. Высокое пространственное разрешение обеспечивается в ДМРЛ-С за счёт сжатия на этапе цифровой обработки принятых эхо-сигналов к эффективной длительности 1 мкс.

4.2.6 В каждом из приёмных каналов горизонтальной (ГП) и вертикальной (ВП) линейной поляризации используется по два приёмных устройства для расширения динамического диапазона. Использование сигналов с НЧМ привело к усложнению конструкции ДМРЛ-С. Для получения информации в ближней зоне используется сигнал без внутренней модуляции («МОНО») с длительностью импульса 1 мкс (протяжённость «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 радиоэха проводится в ПОИ ДМРЛ-С.

4.3 Режим и программа радиолокационных наблюдений на ДМРЛ-С

4.3.1 Радиолокационные наблюдения на сети ДМРЛ-С (далее: ДМРЛ) проводятся синхронно по единому регламенту на всех радиолокаторах сети ДМРЛ Росгидромета. Каждый десятиминутный цикл включает производство наблюдений в 2-х режимах: в режиме «Отражаемость» (в результате образуются файлы данных с расширением «Inr») и в режиме «Скорость» (образуются файлы с расширением «Inv»), в каждом режиме данные наблюдений записываются в т.н. «объёмный файл». Радиус зоны радиолокационного обзора в режиме «Отражаемость» составляет 250 км.

4.3.2 Радиолокационные наблюдения в режиме «Скорость» с высокой частотой повторения зондирующих импульсов ($PRF \approx 1$ кГц) обеспечивают более точное измерение доплеровских характеристик (радиальной скорости V , ширины спектра W), однако при этом сокращается дальность зондирования с 250 до 125 км.

4.3.3 В каждом обзоре радиолокатор последовательно проводит азимутальное круговое сканирование атмосферы на нескольких углах места антенны в диапазоне от 0 до 90°. В результате, в каждом режиме наблюдений р/л данные записываются в выходном «объёмном файле», в котором в сферической СК последовательно, для каждого элемента конического сечения, сохраняются координаты – дальность, азимут и угол места, а также измеренные р/л характеристики радиоэха. Иллюстрация принципа сканирования атмосферы метеорологическим радиолокатором представлена на рисунке 4.2.

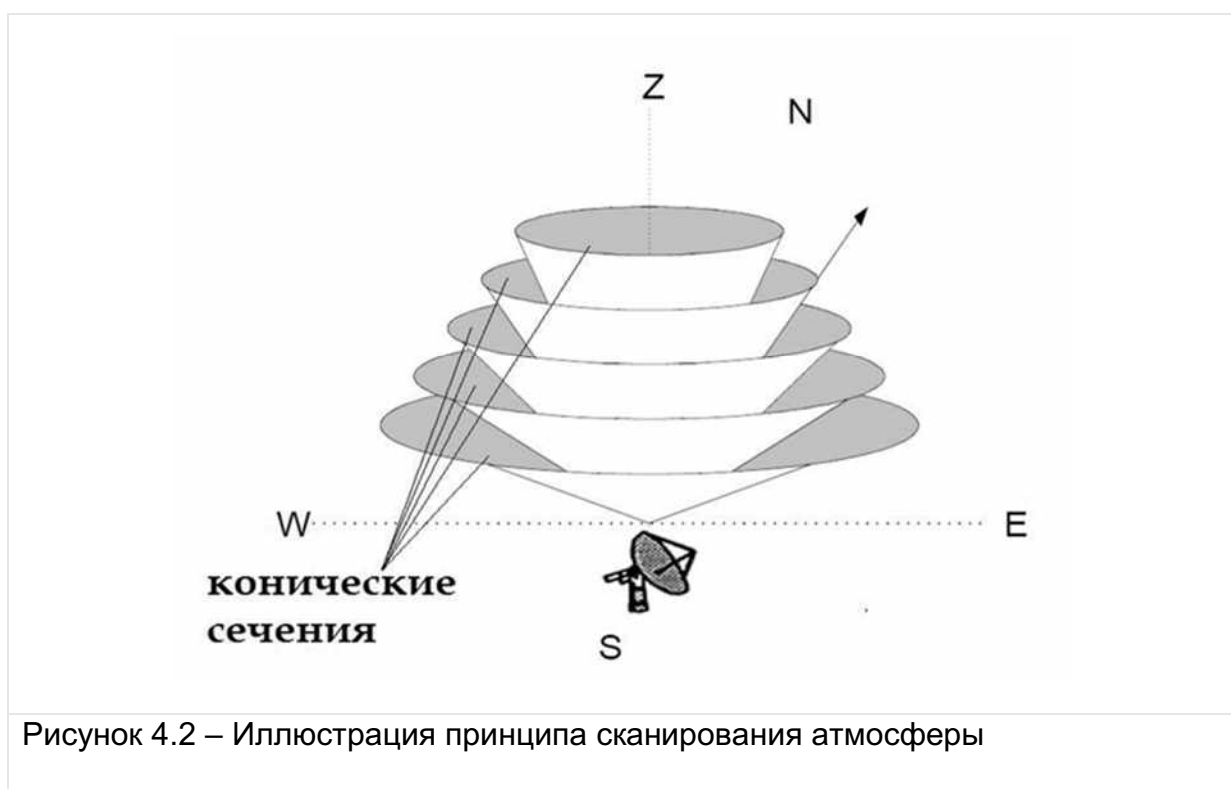


Рисунок 4.2 – Иллюстрация принципа сканирования атмосферы

4.3.4 Радиолокатор ДМРЛ-С обеспечивает одновременное определение в каждом импульсном объеме следующих радиолокационных характеристик облачности и осадков:

- радиолокационной отражаемости на горизонтальной поляризации Z_h (в литературе, как правило, используется название «радиолокационная отражаемость Z »);
- радиолокационной отражаемости на вертикальной поляризации Z_v ;
- радиальной скорости V_r ;
- ширины доплеровского спектра радиальных скоростей W ;
- дифференциальной фазы F_{dp} ;
- дифференциальной отражаемости Z_{dr} ;
- коэффициента кросскорреляции ρ_{hv} ;
- удельного дифференциального фазового сдвига K_{dp} .

Объемные файлы, хранящие координаты наблюдений и перечисленные выше измеренные характеристики, представляют собой первичные данные р/л наблюдений.

В результате компьютерной обработки объемных файлов получается трёхмерная модель облачной атмосферы в зоне радиолокационного обзора, с помощью которой строятся вторичные р/л продукты, представляющие собой набор карт метеорологических характеристик облачности и осадков. Точность построенной

модели и вторичных продуктов зависит от количества конических сечений, а также от радиального и азимутального разрешения р/л наблюдений.

4.3.5 При проведении р/л наблюдений на ДМРЛ-С используется комбинированная стратегия сканирования атмосферы (VCP) в диапазоне углов места антенны от 0,1 до 86°. Для увеличения количества сечений PPI в VCP используются следующий приём: радиолокационное сканирование начинается с нижнего угла с низкой частотой повторения PRF на дальности до 250 км. По мере подъёма антенны рабочая дистанция зондирования до верхней границы зоны обора (20 км) сокращается и появляется возможность перейти на зондирование с высокой частотой PRF на сокращённой дистанции до самого верхнего угла 86°, а информацию на этих PPI можно использовать для построения объёмных файлов обоих режимов - «Отражаемость» и «Скорость». Для завершения сбора данных в доплеровском режиме необходимо в конце цикла наблюдений повторить наблюдения на низких углах сканирования с высоким PRF.

На рисунке 4.3 показана последовательность углов сканирования (PPI) в комбинированной VCP радиолокатора ДМРЛ-С.

4.3.6 В течение 10-минутного цикла р/л наблюдений используется 4 различных режима наблюдений, отличающихся скоростью вращения антенны, частотой посылок зондирующих импульсов (PRF), их длительностью. Четыре режима наблюдений обозначены на рисунке римскими цифрами от I до IV. Данные, собранные в режимах I-II-III, используются для формирования объёмного файла с расширением Inr режима «Отражаемость», данные наблюдений, собранные в режимах II-III-IV, используются для формирования объёмного файла с расширением Inv доплеровского режима «Скорость». На рисунке горизонтальной голубой линией разделены PPI (угол места ~7,5°) режимов II и III, и режимов I и IV. При стандартной настройке режимов сканирования в объёмных файлах типа Inr содержатся данные 24 конических сечений PPI (VCP 24) в диапазоне дальностей 0÷250 км и радиальным дискретом 500 м, а в объёмных файлах типа Inv содержатся данные 22 PPI (VCP 22) в диапазоне дальностей 0÷125 км и радиальным дискретом 250 м.

На рисунке 4.3 разными цветами обозначены четыре набора углов места (I, II, III, IV), различающихся режимом р/л сканирования (PRF, скорость вращения антенны, длительность импульса). Обозначения на рисунке следующие:

по оси абсцисс – номер конического сечения (PPI); по левой оси ординат - угол места (в градусах) соответствующего PPI. Зелёная линия – продолжительность

сканирования в секундах от момента начала сканирования, правая ось ординат – время (в секундах) от начала сканирования. Синяя горизонтальная линия разделяет нижние углы сканирования до $\sim 7,5^\circ$, на которых сканирование проводится дважды, в начале и в конце каждого обзора. В каждом десятиминутном цикле р/л наблюдений сканирование занимает около 8 минут: из них – в течение 5 минут проводится сканирование в режиме «Отражаемость» и 3 минуты – в режиме «Скорость».

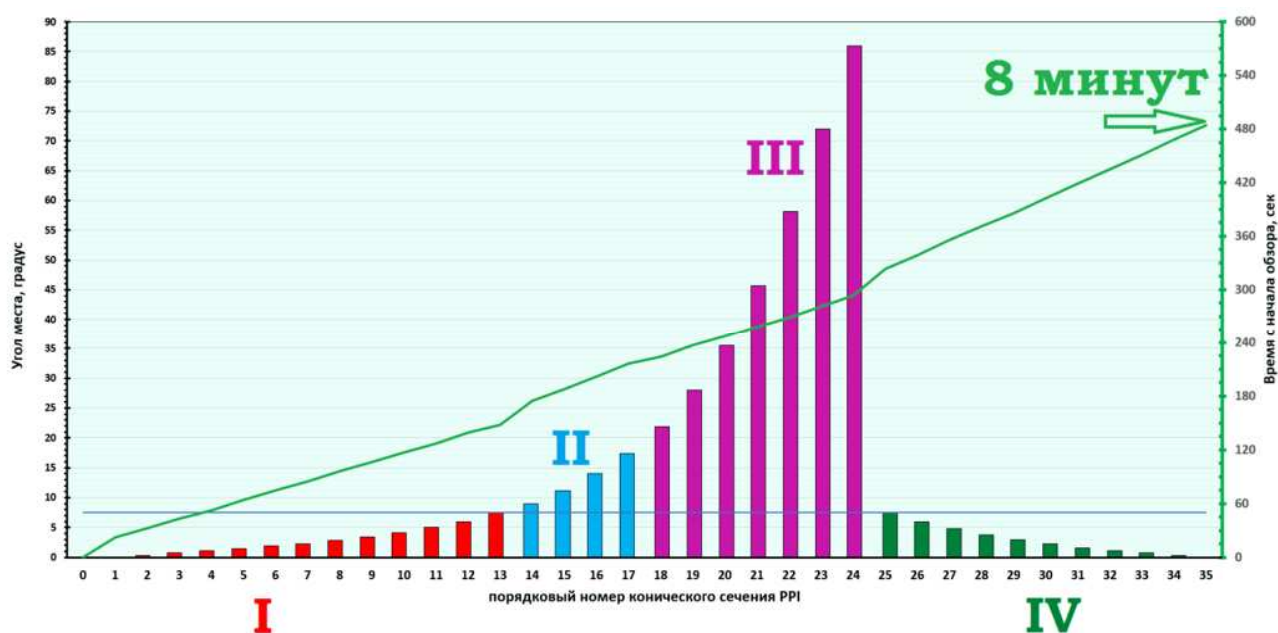


Рисунок 4.3 – Последовательность углов сканирования в стандартном 10-минутном обзоре ДМРЛ-С.

4.3.7 Общее время сканирования атмосферы в каждом цикле наблюдений составляет около 8 минут. В течение ещё ~ 20 -30 секунд радиолокатор проводит измерение собственных шумов. В каждом цикле р/л наблюдений антенна находится в покое ~ 1 минуту.

4.3.8 Номинальный срок радиолокационных наблюдений ДМРЛ-С на сети Росгидромета соответствует концу интервала наблюдений в режиме «Отражаемость». С учётом его продолжительности (~ 5 минут), синхронное начало каждого цикла р/л наблюдений ДМРЛ-С соответствует началу пятой минуты каждой десятиминутки. Таким образом, в режиме «Отражаемость» наблюдения проводятся с 5-ой по 10-ую минуту и приписываются 10-ой минуте десятиминутного интервала. Соответственно, наблюдения в режиме «Скорость» проводятся с ~ 6 -ой по 13-ую минуту и приписываются 10-ой минуте десятиминутного интервала.

4.3.9 Программа радиолокационных наблюдений на сети ДМРЛ определяет порядок производства наблюдений на отдельном радиолокаторе, входящем в сеть ДМРЛ Росгидромета. Радиолокационные наблюдения на сети ДМРЛ проводятся круглосуточно, круглогодично, в автоматическом режиме с 10-минутным интервалом обновления информации. В течение каждого 10-минутного цикла проводятся наблюдения в 2-х режимах – в режиме отражаемости *Inr* (с получением информации в радиусе 250 км от ДМРЛ) и в режиме скорости *Inv* (с получением информации в радиусе 125 км от ДМРЛ). Радиолокационные наблюдения на сети ДМРЛ проводятся с использованием единого программного обеспечения вторичной (метеорологической) обработки «ГИМЕТ-2010», прошедшего Государственные Испытания и получившего сертификат МАК [3,4]. Согласно [53], за настройки ПО ПОИ и ВОИ на всех ДМРЛ сети Росгидромета отвечает НТЦР ДМРЛ ФГБУ «ЦАО». Метеорологический радиолокатор ДМРЛ обеспечивает проведение радиолокационных наблюдений в автоматическом режиме и не требует присутствия обслуживающего персонала на позиции. Контроль процесса р/л наблюдений и управление радиолокатором производится инженером с УУВК ДМРЛ-С.

4.4 Метеорологическая адаптация ДМРЛ-С после ввода в эксплуатацию.

Метеорологическая адаптация (МА) – специальный этап эксплуатации радиолокаторов ДМРЛ-С, вводимых в состав ННС Росгидромета, во время которой проводится обновление и настройка программного обеспечения «ГИМЕТ-2010», контроль правильности установки радиолокатора бригадой завода-изготовителя, подключение к сети ВСС и к Центру сбора и обработки радиолокационной информации в ЦАО, а также сбор информации ДМРЛ для обеспечения его валидации по данным независимых эталонных наблюдений.

МА проводится НТЦР ДМРЛ ФГБУ «ЦАО» после ввода радиолокатора ДМРЛ-С в эксплуатацию, в целях: включения построенных радиолокаторов ДМРЛ-С в наблюдательную сеть Росгидромета, подготовки к началу обработки данных наблюдений нового ДМРЛ в Центре сбора радиолокационной информации ЦАО, использования информации ДМРЛ в подразделениях Росгидромета в синоптической практике, а также передачи радиолокационных данных другим потребителям.

Метеорологическая адаптация вводимых ДМРЛ продолжается не менее 3-4 месяцев и в обязательном порядке включает сбор данных р/л наблюдений в тёплый период года для контроля точности идентификации ОЯП.

В период проведения метеоадаптации вмешательство в настройки ДМРЛ, изменение режима р/л наблюдений без согласования с НТЦР ДМРЛ ФГБУ «ЦАО» со стороны организации - эксплуатанта не допускается, так как может привести к искажению результатов оценки точности р/л наблюдений.

Метеоадаптацию проводят специалисты ФГБУ «ЦАО» совместно со специалистами ЛЭМЗ и организации - эксплуатанта ДМРЛ. Метеорологическая адаптация вводимого ДМРЛ-С включает следующие организационные и методические мероприятия.

Организационные мероприятия:

- Получение идентификационных номеров ВМО, буквенных индексов радиолокаторов СССР в сети АСПД, IP-адресов для подключения УУВК и АП новых радиолокаторов ДМРЛ-С к ВСС Росгидромета;
- Согласование геоподосновы ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» для отображения р/л информации ДМРЛ у потребителей;
- Согласование пространственного разрешения р/л продуктов в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» с техническими возможностями каналов связи АП-УУВК и требованиями потребителей информации на АП;
- Согласование со специалистами УГМС списка метеостанций, информацию которых необходимо использовать при валидации наблюдений ДМРЛ-С, и порядка предоставления ФГБУ «ЦАО» данных наблюдений в требуемых форматах (ТМС);
- Оказание методической помощи эксплуатанту ДМРЛ-С в случае обнаружения помех в зоне обзора в подготовке обращения в органы Роскомнадзора с требованием ликвидации помех;

Методические мероприятия:

- Установка актуальной версии ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» на удалённый управляющий вычислительный комплекс (УУВК), центральный управляющий вычислительный комплекс (ЦУВК), абонентские пункты (АП) радиолокатора ДМРЛ-С;
- Настройка ПО ВОИ ДМРЛ-С, включая настройку идентификации радиолокатора в сети ДМРЛ, установку геоподосновы на УУВК и АП, настройку передачи данных в центр сбора, настройку передачи данных на АП в формате АП, проверку правильности передачи радиолокационной информации в коде BUFR в сеть АСПД в соответствии с требованиями Приказа № 95 Росгидромета 2004 г.,

- Конфигурирование ПО Центра сбора радиолокационной информации ФГБУ «ЦАО» для приёма и обработки данных нового ДМРЛ и его подключения к системе удалённого автоматизированного мониторинга (СУАМ);
- Проверка правильности ориентирования антенны ДМРЛ по Солнцу с помощью штатного ПО ДМРЛ-С;
- Анализ помеховой обстановки на ДМРЛ-С по данным р/л измерений осадков и анализа других вторичных продуктов ДМРЛ;
- Предварительная установка радиолокационной постоянной и критериев идентификации ОЯП в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» ДМРЛ;
- Сбор данных наблюдений ДМРЛ за относительно продолжительный период времени, в течение тёплого периода года для проведения сравнения с ННС по ОЯП;
- Сравнения наблюдений адаптируемого ДМРЛ с данными наблюдений соседних ДМРЛ по всему набору вторичных продуктов ДМРЛ для выявления существенных отличий;
- Анализ секторов закрытия ДМРЛ-С путём построения карт сумм осадков за большие промежутки времени для последующего отбраковывания ГМС, расположенных в секторах закрытий;
- Уточнение абсолютной калибровки ДМРЛ-С по данным станционных измерений осадков за интервал времени не менее 1-2 месяцев, содержащий достаточное число 12- часовых периодов с осадками;
- Оценка точности идентификации ОЯП по данным станционных наблюдений ННС.

После завершения периода метеoadaptации материалы, содержащие результаты анализа собранных данных наблюдений и выводы об успешности завершения процедуры МА, оформляются в виде отчёта ЦАО о проведении метеoadaptации рассматриваемого ДМРЛ, который утверждается Директором ЦАО.

На этапе метеoadaptации нового ДМРЛ-С его информация может передаваться локальным потребителям на АП для обучения персонала использованию р/л данных. Использование информации не прошедшего метеoadaptацию ДМРЛ в синоптической практике, в т.ч. – для метеoобеспечения аэронавигации, **запрещается**.

После завершения метеoadaptации ДМРЛ-С данные радиолокационных наблюдений могут передаваться потребителям, использоваться в синоптической практике специалистами Росгидромета, включая метеорологическое обеспечение аэронавигации.

В случае задержки завершения строительства р/л позиции и оформления разрешения на ввод в эксплуатацию, связанными с сезонностью строительных работ, при условии выполнения подключения ДМРЛ к линиям электропитания, каналам связи и завершения приёмо-сдаточных испытаний (ПСИ), для ускорения ввода радиолокатора в эксплуатацию, обучения технического персонала обслуживанию и специалистов-метеорологов – использованию информации ДМРЛ в синоптической практике, по инициативе ЦГМС может быть начата метеорологическая адаптация ДМРЛ до оформления Приказа о вводе его в эксплуатацию. В этом случае ЦГМС – будущий эксплуатант направляет в ФГБУ «ЦАО» официальное письмо с просьбой о начале метеoadaptации ДМРЛ до завершения документального оформления ввода радиолокатора в эксплуатацию. В письме должна быть подтверждена готовность ЦГМС обеспечить проведение радиолокационных наблюдений ДМРЛ в оперативном режиме.

Программа мероприятий по метеорологической адаптации новых радиолокаторов ДМРЛ-С, вводимых в эксплуатацию после завершения строительства, была рассмотрена и одобрена Учёным Советом Центральной аэрологической обсерватории 16 июля 2015 г. для внедрения на радиолокаторах ДМРЛ-С, устанавливаемых на ГНС Росгидромета.

4.5 Программное обеспечение вторичной обработки информации «ГИМЕТ-2010» метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С

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

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

В 2011 г. ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» в составе радиолокатора ДМРЛ-С прошло опытную эксплуатацию на позиции «Валдай», по результатам которой ПО ВОИ было доработано и утверждено создание версии 01 [1].

В 2013 г. Межгосударственный авиационный комитет (МАК) выдал ОАО «НПО «ЛЭМЗ» сертификат типа № 576 от 19.02.2013 года [4] 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 [3], предъявляемым к метеорологическим доплеровским

радиолокаторам, утверждённым МАК в 2010 г., и может использоваться для метеорологического обслуживания авиации. В настоящее время готовится новая версия [59].

4.5.2 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 требованиями Приказа №95 [51]. Использование сети АСПД для передачи р/л информации с целью обеспечения метеорологического обслуживания авиации предусмотрено сертификационными требованиями МАК к метеорологическому радиолокатору ДМРЛ-С.

4.5.3 ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» представляет собой комплекс программ, устанавливаемых на удалённом 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.

4.5.4 Программы UVK1 и UVKAbon предназначены для отображения р/л информации и устанавливаются, соответственно, на УУВК и на АП. Программа UVK_Generator предназначена для обработки радиолокационных данных и построения полного набора вторичных р/л продуктов в форматах ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» и в метеорологическом коде FM-94 BUFR. Остальные программы предназначены для передачи данных между ЦУВК и УУВК, а также из УУВК на АП, в сети АСПД и ВСС.

4.5.5 УУВК предназначен для контроля, управления радиолокатором ДМРЛ-С, а также для проведения вторичной обработки, включая построение вторичных продуктов, архивирование первичных данных наблюдений, отображение полного набора продуктов на операторском терминале, передачу радиолокационной информации локальным потребителям на АП и в сеть АСПД. УУВК представляет собой IBM PC - совместимый компьютер на платформе x86-64 под управлением операционной системы Linux семейства Ubuntu/Kubuntu. УУВК 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.

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

4.5.7 Абонентский пункт (АП) ДМРЛ представляет собой выносное рабочее место на базе IBM PC-совместимого ПК под управлением операционных систем MS Windows (версия не ниже 7) или Linux Ubuntu (версия не ниже 12.04), предназначенное для отображения вторичных радиолокационных продуктов радиолокатора ДМРЛ, передаваемых с УУВК по локальной сети или цифровым каналам связи (сеть АСПД) на скорости не ниже 128 Кбит/с.

4.5.8 Программное обеспечение ВОИ «ГИМЕТ-2010» создано с использованием кроссплатформенного инструментария Qt, предназначенного для разработки ПО на языке программирования C++. Назначение программ, описание алгоритмов обработки данных, интерфейс программ, начальное конфигурирование подробно изложены в руководствах [5-10].

5. Первичные радиолокационные продукты метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С

Радиолокатор ДМРЛ-С обеспечивает одновременное измерение в каждом импульсном объёме радиолокационных характеристик, перечисленных в разделе 4.3.4.

В результате первичной обработки радиолокационной информации, полученной в процессе радиолокационного наблюдения, формируются наборы 8 первичных р/л продуктов, измеренных на конических сечениях:

- радиолокационной отражаемости на горизонтальной поляризации Z_H ;
- радиолокационной отражаемости на вертикальной поляризации Z_V ;
- дифференциальной отражаемости Z_{dr} ;
- радиальной скорости V ;
- ширины доплеровского спектра W ;
- дифференциальной фазы F_{dp} ;
- удельного дифференциального фазового сдвига K_{dp} ;
- коэффициента кросскорреляции ρ_{HV} .

Первичные р/л продукты используются для оценки качества р/л информации в каждом импульсном объёме и последующего устранения неметеорологического р/эха, расчёта вторичных метеорологических продуктов, подробно описанных в разделе 6.

5.1 Радиолокационная отражаемость (Z).

Единицей измерения радиолокационной отражаемости Z является dBZ.

5.1.1 Метеорологический радиолокатор, в отличие от аэрологического зонда или самолёта-лаборатории, измеряющих *in-situ* характеристики облаков и осадков контактным способом, проводит наблюдения дистанционно, измеряя характеристики отражённого частицами облаков и осадков зондирующего радиоизлучения.

5.1.2 Радиолокационная отражаемость Z – величина, характеризующая отражающие свойства единичного объёма облаков и осадков, измеренная в канале горизонтальной (Z_h , или просто Z) или вертикальной (Z_v) поляризации [11]. Формула (5.1) связывает измеренную мощность (P_r) отражённого сигнала с метеорологической характеристикой облачности и осадков – радиолокационной отражаемостью (Z):

$$P_r = C \frac{Z}{r^2}, \quad (5.1)$$

где C – радиолокационная постоянная, зависящая от характеристик ДМРЛ;

r – расстояние от радиолокатора до облака.

Радиолокационной отражаемостью Z, $\text{мм}^6 / \text{м}^3$, называют величину, характеризующую отражающие свойства гидрометеоров в единичном объёме [11]. Она определяется по формуле (5.2)

$$Z = \sum d_i^6 \cdot \left| \frac{m_{i^2} - 1}{m_{i^2} + 1} \right|^2 \quad (5.2)$$

где d_i – диаметры отражающих частиц; $\left| \frac{m_{i^2} - 1}{m_{i^2} + 1} \right|^2$ – комплексный показатель преломления частиц (для воды ~ в 5 раз выше, чем для льда).

Суммирование ведётся по всем частицам, находящимся в так называемом «импульсном объёме» – области пространства, облучаемой радиолокационным лучом и формирующей ответное радиоэхо. Распределение частиц по размерам (DSD) в импульсном объёме определяет отражающие свойства этого объёма. 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.

5.1.3 Метеорологический радиолокатор при наблюдении облаков фиксирует каркас из немногочисленных «сверхкрупных» частиц в облаке с размерами от 100 микрон (0.1 мм) и более, которые формируют регистрируемый приёмником радиолокатора сигнал радиоэха от облака, в то время как в оптическом диапазоне отражённый сигнал формируется частицами с микронными размерами. Облака, содержащие частицы только микронных размеров и не содержащие «сверхкрупных» частиц [12], (например, Ас, Сс) на экране метеорологического радиолокатора часто не видны. В связи с тем, что диапазон изменения отражаемости Z в реальных облаках и осадках очень велик, в практике радиолокационных наблюдений используют логарифмическую измерительную шкалу, в которой Z выражается в децилогарифмах $10 \cdot \lg Z$, а соответствующая единица измерений называется dBZ («дебизет»). Отметим, что ранее использовалось другое определение радиолокационной отражаемости – $(\lg Z_a)$, без умножения на 10 и определяемое через радиусы частиц a , а не через их диаметры.

Для перевода радиолокационной отражаемости Z из единиц $\lg Z_a$ в принятые в настоящее время (и используемые в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010») dBZ необходимо использовать формулу (5.3):

$$dBZ_d = 10(\lg Z_d) + 18, \quad (5.3)$$

где Z_a – отражаемость, выраженная через радиус частиц; Z_d – отражаемость, выраженная через диаметры частиц. Более подробную информацию о принципах измерения отражаемости можно найти в [61, разделы 7.3, 7.4.1, 7.5].

Радиолокационная отражаемость Z используется как в алгоритмах фильтрации первичных данных, так и в расчётах большинства вторичных метеорологических продуктов.

Пример карты Z на уровне 1 км для ДМРЛ «Смоленск» за 14:40 ВСВ 08.08.2019 г. приведён на рисунке 5.1. Синоптик на этой карте может видеть в радиусе 250 км наличие радиоэха метеорообъектов на высоте 1 км и занятую им площадь, с помощью вектора переноса оценить скорость перемещения радиоэха и проэкстраполировать его перемещение на 1-3 часа.

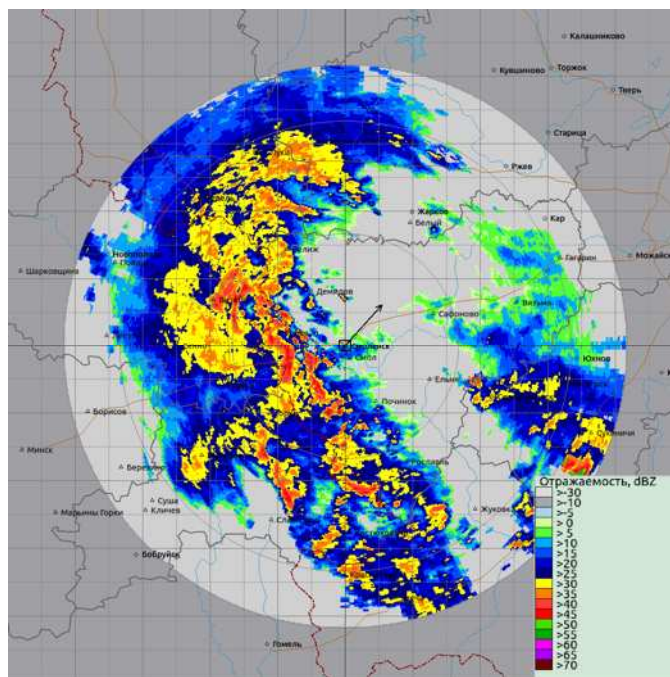


Рисунок 5.1 - Карта Z на уровне 1 км для ДМРЛ «Смоленск», 14:40 ВСУ 08.08.2019

5.2 Радиальная доплеровская скорость (V)

Единицей измерения радиальной доплеровской скорости V является **м/с**.

5.2.1 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.

5.2.2 Радиолокатор, излучающий импульсы с одной частотой PRF, может однозначно измерить скорость, определяемую т.н. «частотой Найквиста» по формуле (5.4)

$$v_{rMAX} = PRF \cdot \frac{\lambda}{4}, \quad (5.4)$$

где PRF - частота; λ - длина волны.

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]. Более подробную информацию о принципах измерения радиальной скорости можно найти в [61, разделы 7.4.2, 7.5].

5.2.3 Измеренная величина радиальной скорости V_r характеризует, как и в случае отражаемости Z, среднее значение для всего импульсного объема, определяющего характеристики отражённого сигнала. Импульсный объем ограничен эффективной длительностью зондирующего импульса и шириной ДНА. При наличии в

импульсном объёме частиц, движущихся с разными скоростями, измеренная скорость будет соответствовать среднему значению в импульсном объёме.

5.2.4 Радиальную скорость следует просматривать в режиме «Скорость» (абонентские файлы типа Inv), в радиусе 125 км от ДМРЛ [22]. В режиме «Отражаемость» (абонентские файлы типа Inr) значения радиальной скорости корректны в однородных и не подверженных влиянию помех зонах при отсутствии турбулентности и/или значительных сдвигов ветра. В остальных случаях могут наблюдаться ошибочные значения.

Радиальную скорость можно просматривать на любом из уровней от 1 до 15 км.

В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» используется цветовая палитра, в которой диапазон отрицательных значений V_r (в направлении на радиолокатор) отображается в зелёных, а положительных значений V_r (в направлении от радиолокатора) – в оранжево-красных тонах цветовой гаммы. Эти зоны разделяет линия нулевых значений скоростей V_r белого цвета. В окрестности этой линии направление движения гидрометеоров перпендикулярно направлению распространения радиолокационного луча. С помощью области нулевых значений скоростей V_r можно определить среднее направление движения совокупности гидрометеоров. Для этого необходимо через область максимальных скоростей провести прямую, перпендикулярную линии нулевых скоростей, которая и укажет направление движения потока гидрометеоров в облаке.

Радиальная скорость используется при фильтрации и для построения следующих продуктов: вертикальный профиль ветра, временной ход вертикального профиля ветра, поле векторов горизонтального ветра, горизонтальный и вертикальный сдвиги ветра.

Пример На рисунке 5.2 приведена карта пространственного распределения V_r на высоте 1 км по данным ДМРЛ «Тамбов» за 17:30 ВСВ 05.11.2019 г. Карта позволяет видеть, что движение гидрометеоров, перпендикулярное белой линии нулевых скоростей, происходит в северо-восточном направлении. Векторы горизонтального ветра в виде

стрелок с опереньем показывают также направление на СВ и скорость порядка 25 м/с.

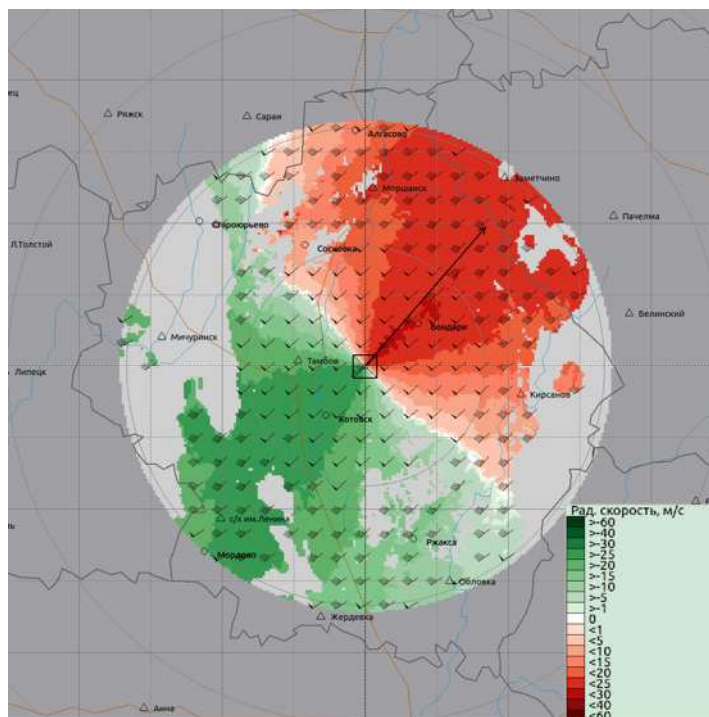


Рисунок 5.2 - Карта пространственного распределения V_r на высоте 1 км ДМРЛ «Тамбов» за 17:30 ВСВ 05.11.2019 г.

5.3 Ширина доплеровского спектра (W)

Единицей измерения ширины доплеровского спектра W является м/с.

5.3.1 Кроме скорости V_r , доплеровский радиолокатор позволяет измерить и ширину доплеровского спектра W отражённого сигнала, характеризующего диапазон разброса скоростей в импульсном объёме (далее: «Ширина спектра»).

5.3.2 Продукт «Ширина спектра» W следует просматривать в режиме «Скорость» (абонентские файлы типа Inv). С использованием ширины спектра можно оценивать величину турбулентных пульсаций в импульсном объёме, при этом следует учитывать, что возрастание ширины спектра может быть обусловлено увеличением импульсного объёма или его малой заполненностью (например, на границах облачных систем). Ширина спектра используется при фильтрации и расчёте турбулентности.

Пример карты пространственного распределения W на высоте 1 км по данным ДМРЛ «Тамбов» за 16:20 ВСВ 05.11.2019 г. приведён на рисунке 5.3. На большей части площади обзора преобладает градация от 2 до 5 м/с — характерные для однородно заполненных и перемещающихся импульсных объёмов значения.

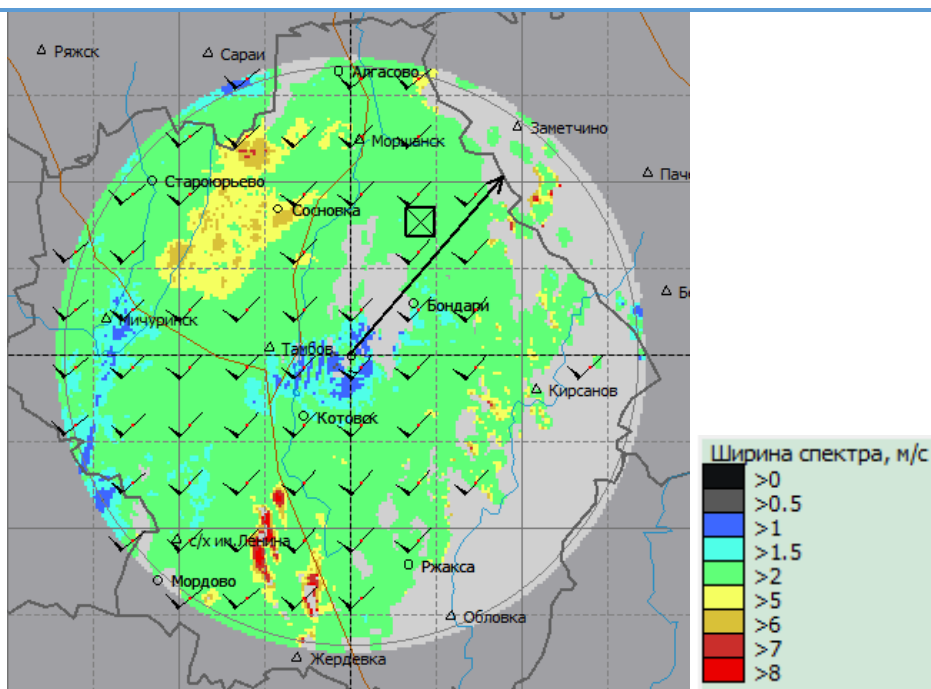


Рисунок 5.3 - Карта пространственного распределения W на высоте 1 км по данным ДМРЛ «Тамбов» за 16:20 UTC 05.11.2019 г

5.4. Дифференциальная отражаемость (Z_{dr})

Форма падающих капель дождя зависит от их размера. В процессе падения большие капли сплющиваются в потоке воздуха, в то время как малые – с диаметром $d < 2$ мм остаются сферическими. Типичные дождевые капли имеют $d=1-2$ мм, наибольший $d=6-7$ мм, максимальные измеренные капли имели $d=8$ мм. Возможность одновременного излучения и принятия сигнала на вертикальной и горизонтальной поляризации позволяет измерять средние значения радиолокационной отражаемости Z_{dr} , определённой по вертикальному dV и горизонтальному dH размерам частиц.

Величина Z_{dr} позволяет судить о форме и, следовательно, о фазовом составе гидрометеоров. Положительная величина Z_{dr} означает горизонтальную ориентацию рассеивателей, отрицательная – вертикальную. Для капель дождя характерно умеренное увеличение Z_{dr} с одновременным ростом Z_H , для града - $Z_{dr} \sim 0$ при больших значениях Z : $Z > 48$ dBZ.

Дифференциальная отражаемость Z_{dr} , (дБ) представляет собой отношение отражаемостей в каналах горизонтальной и вертикальной поляризаций:

$$Z_{dr} = 10 \cdot \lg \left(\frac{Z_H}{Z_V} \right), \quad (5.5)$$

где Z_H - отражаемость в горизонтальном канале; Z_V – отражаемость в вертикальном канале.

Схема поляризационных радиолокационных наблюдений изображена на рисунке 5.4.

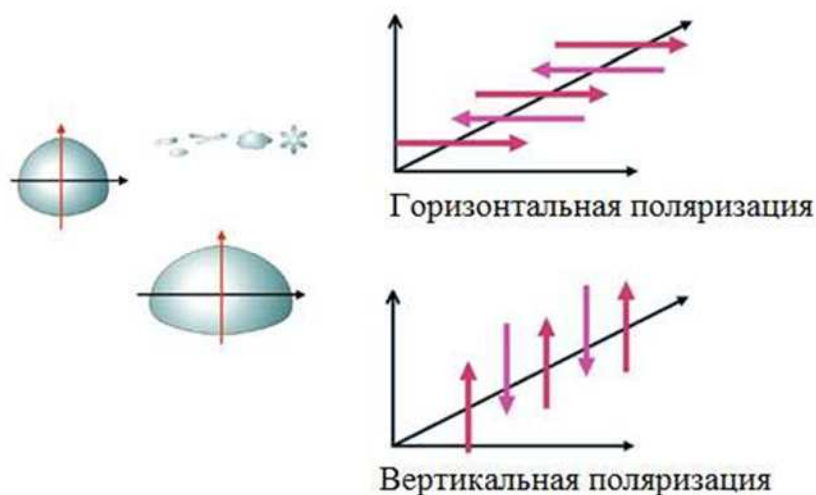


Рисунок 5.4 – Схема поляризационных радиолокационных наблюдений.

Таким образом, дифференциальная отражаемость может быть использована в поляризационных алгоритмах оценки интенсивности и сумм осадков.

Дифференциальная отражаемость используется также при фильтрации отражений от местных предметов и прочих помех.

Пример карты пространственного распределения Z_{dr} на высоте 2 км по данным ДМРЛ «Великие Луки» за 17:50 ВСВ 08.08.2019 г. приведён на рисунке 5.5. Учитывая результаты исследования [70] фазового состояния гидрометеоров в зависимости от Z_H и Z_{dr} (см. рисунок 5.6), значения высоты нулевой изотермы ~ 3 км, и величину отражаемости на высоте 2 км $Z \geq 20 \div 25$ дБZ, в областях со значениями Z_{dr} 1.0 - 2.0 дБ на рисунке 5.5 можно ожидать осадки в виде дождя.

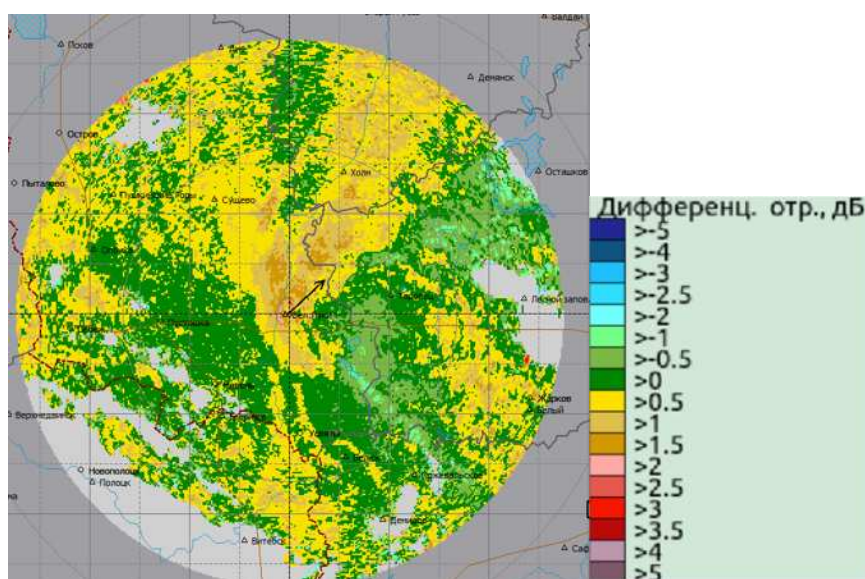


Рисунок 5.5 - Карта пространственного распределения Z_{dr} на высоте 2 км по данным ДМРЛ «Великие Луки» за 17:50 ВСВ 08.08.2019 г

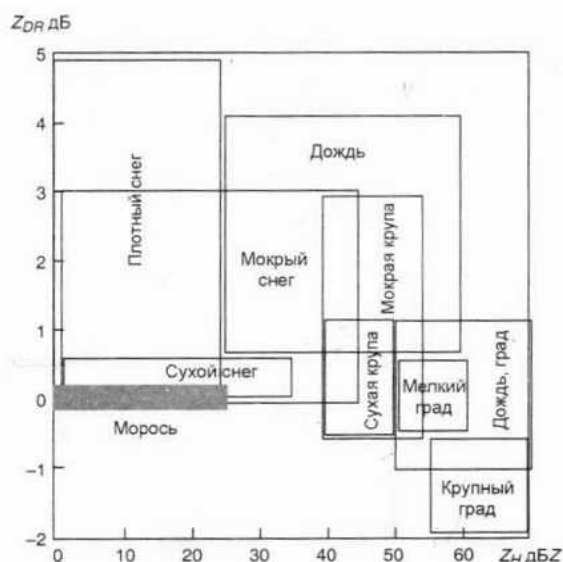


Рисунок 5.6 – Диаграмма фазового состояния гидрометеоров, построенная по результатам одновременных измерений Z_h и Z_{dr} [70]

5.5 Дифференциальная фаза (F_{dp})

Единицей измерения дифференциальной фазы является градус ($^{\circ}$). Радиолокатор ДМРЛ-С обеспечивает измерение дифференциальной фазы F_{dp} - разности (в градусах) фаз принятых зондирующих сигналов в каналах горизонтальной (F_h) и вертикальной (F_v) поляризации: $F_{dp} = F_h - F_v$, (5.6)

Дифференциальная фаза используется для фильтрации неметеорологического радиоэха. Для оценки метеорологической обстановки значения дифференциальной фазы самостоятельного значения не имеют, интерес представляет только её изменение вдоль радиального направления (см. удельный дифференциальный фазовый сдвиг). Например, при наличии секторов с заметно отличающимися (повышенными) значениями дифференциальной фазы можно судить о наличии сильного ослабления радиоизлучения в осадках и, как следствие, снижении качества информации в таких секторах.

Пример На рисунке 5.7 а) приведён пример карты F_{dp} на уровне 2 км по данным ДМРЛ «Великие Луки» за 18:00 ВСВ 08.08.2019 г. Синоптик, видя такую карту F_{dp} , должен понимать, что в секторах, где поле F_{dp} имеет синий и ярко-синий цвет, метеоявления на карте метеоявлений будут заниженными, вследствие ослабления радиоизлучения. В таких секторах реальные грозы могут идентифицироваться как ливни, а реальный град – как грозы и т.д.

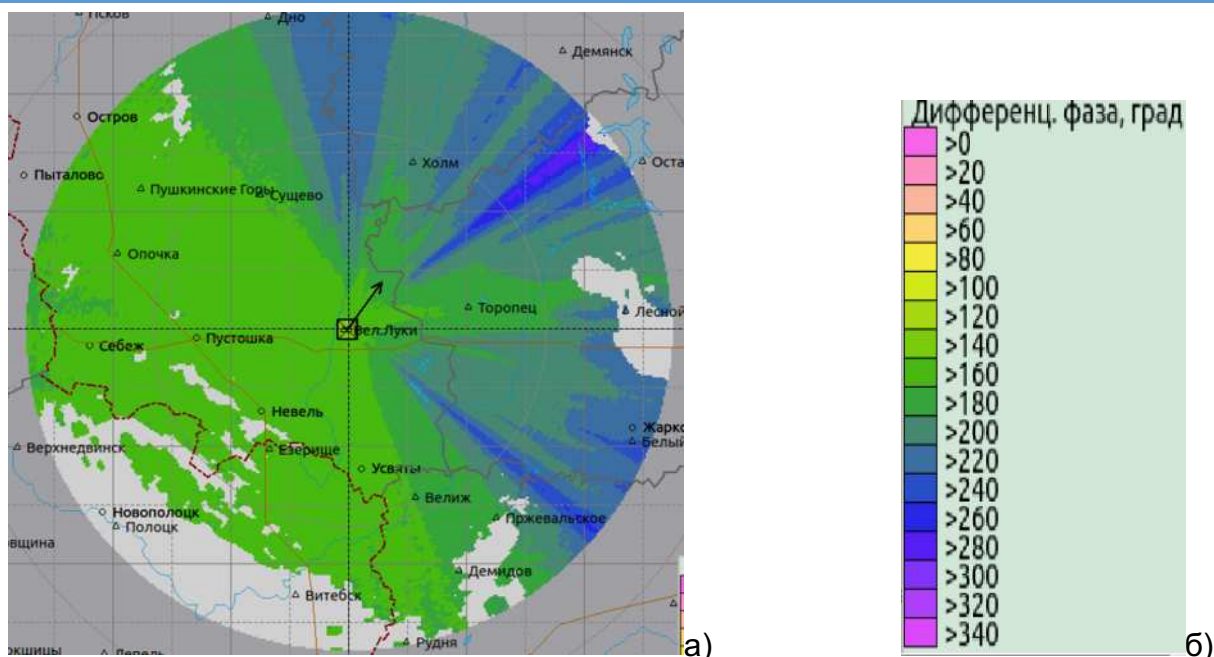


Рисунок 5.7 а) - Карта дифференциальной фазы F_{dp} на 2 км по данным ДМРЛ «Великие Луки» за 18:00 ВСВ 08.08.2019 г; б) - шкала F_{dp} .

5.6 Коэффициент кросскорреляции (ρ_{nv})

Коэффициент кросскорреляции – величина безразмерная. ДМРЛ-С обеспечивает измерение степени корреляции согласных компонентов отражённого сигнала на горизонтальной и вертикальной поляризации - коэффициента кросскорреляции ρ_{nv} . Для гидрометеоров характерны высокие значения ρ_{nv} – более 0.7 - 0.8, низкие значения характерны для отражений от «местников», радиопомех, флотирующих частиц мусора (военных уголкового отражателей – “chaff”) и отражений от оптически ненаблюдаемых объектов (от «ясного неба»).

Кроме того, локальное снижение значений коэффициента кросскорреляции может служить индикатором наличия неоднородностей в импульсном объёме (например, при турбулентности или на высоте таяния). Также низкие значения ρ_{nv} могут наблюдаться при неполном заполнении импульсного объёма: на границах зон облачности или при частичных блокировках излучения. Коэффициент кросскорреляции ρ_{nv} используется при фильтрации отражений от «местников» и помех. Синоптик по карте ρ_{nv} может оценивать наличие метеообъектов (при ρ_{nv} более 0.8), отслеживать высоту изотермы 0°C при наличии выраженной «яркой полосы».

Пример На рисунке 5.8 а) приведён пример карты коэффициента кросскорреляции ρ_{nv} по данным ДМРЛ «Великие Луки» за 17:50 ВСВ 08.08.2019 г. на 2 км, на которой поля голубого, зелёного, жёлтого цветов, соответствующих значениям ρ_{nv} более 0.8, принадлежит метеообъектам. По направлению 0 - 180° проведён вертикальный разрез (рисунок 5.8 а, красный отрезок), на котором хорошо видна «яркая полоса» примерно на высоте 3 км, совпадающая с уровнем изотермы 0°C, которая, вследствие увеличения импульсного объёма, расширяется по мере удаления от ДМРЛ (рисунок 5.8 б).

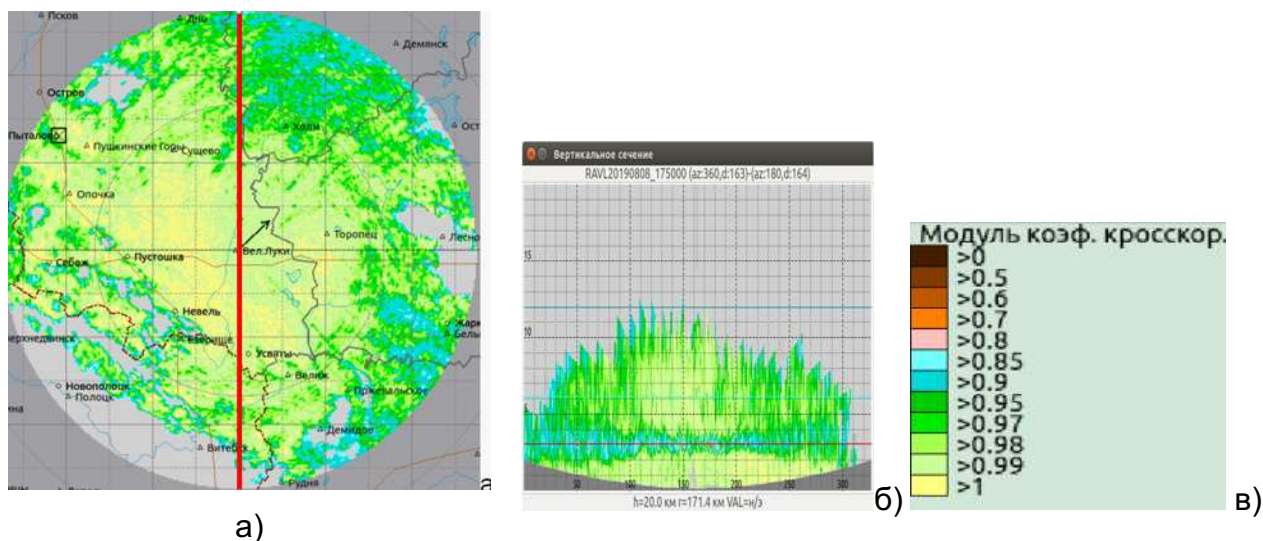


Рисунок 5.8 - Карта коэффициента кросскорреляции ρ_{NV} (а); вертикальный разрез по направлению 0 - 180° (б); цветовая шкала ρ_{NV} (в).

5.7 Удельный дифференциальный фазовый сдвиг (K_{dp})

Удельный фазовый сдвиг K_d измеряется в градусах/км ($^{\circ}/\text{км}$), рассчитывается по формуле (5.7) и представляет собой радиальный градиент дифференциальной фазы:

$$K_{dp} = \frac{dF_{dp}}{2 \cdot dr}, \quad (5.7)$$

Где dF_{dp} – изменение значения F_{dp} на расстоянии dr .

Характеристика K_{dp} , наряду с Z_{dr} , может использоваться в поляриметрических алгоритмах измерения интенсивности осадков радиолокационным способом R (Z , Z_{dr} , K_{dp}), а также для коррекции ослабления радиоизлучения в осадках [11, 25]. На рисунке 5.9 приводятся характерные значения для K_{dp} согласно [20].

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									

Рисунок 5.9 – Характерные значения $K_{др}$ ($^{\circ}/\text{км}$) для разных видов осадков [20]

Пример На рисунке 5.10 а приведён пример карты $K_{др}$ на уровне 2 км по данным ДМРЛ «Тула» за 02:00 ВСВ 16.08.2019 г., на рисунке 5.9 б – карта метеоявлений за этот же срок.

На рисунке 5.10 а) значения $K_{др}$ на уровне 2 км находятся в основном в диапазоне значений около $0^{\circ}/\text{км}$, что может соответствовать как мелкому дождю, так и крупе, и сухому снегу; в узкой полосе на северо-западе наблюдаются значения $K_{др}$ до $3^{\circ}/\text{км}$, здесь можно ожидать выпадения интенсивных осадков (крупные капли и высокая их концентрация).

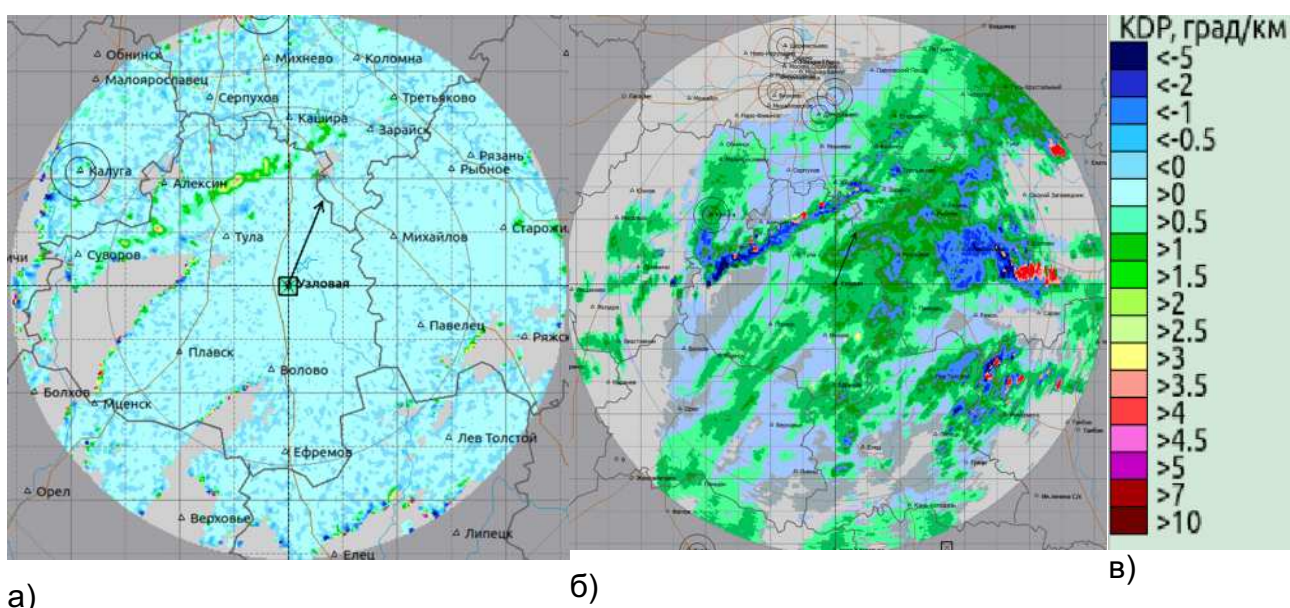


Рисунок 5.10 - Карта удельного дифференциального фазового сдвига $K_{др}$ на уровне 2 км по данным ДМРЛ «Тула» за 02:00 ВСВ 16.08.2019 г.(а); карта метеоявлений за этот же срок (б) и шкала $K_{др}$ (в)

6 Вторичные радиолокационные продукты ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С

Состав вторичных (метеорологических) радиолокационных продуктов метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С полностью соответствует техническому заданию на радиолокатор, а также требованиям сертификационного базиса МАК [3] на радиолокатор, предназначенный для метеорологического обеспечения авиации.

Вторичные продукты можно разделить на 2 категории: «объёмные» продукты и «плоские» карты.

К объёмным продуктам относятся все перечисленные в предыдущем разделе р/л характеристики, а также некоторые вторичные продукты - вертикальный и горизонтальный сдвиги ветра и турбулентность. Остальные продукты являются «плоскими» картами.

Объёмные продукты могут отображаться в виде горизонтальных сечений на постоянных высотных уровнях (CAPPI – от *constant altitude plan position indicator*) и pCAPPI – (от «pseudo CAPPI» – постоянный высотный уровень, отличающийся от CAPPI применением экстраполяции вниз для формирования значений в дальней зоне), конических сечений (PPI) или вертикальных сечений по любому выбранному пользователем направлению в зоне обзора.

Карты ПО ВОИ "ГИМЕТ-2010" горизонтальных сечений в декартовых координатах имеют разрешение 1x1, 2x2 или 4x4 км. Такое же разрешение имеют «плоские» продукты.

6.1 Карты горизонтальных сечений первичных продуктов (CAPPI/pCAPPI)

Для всех «объёмных» продуктов в автоматическом режиме строятся р/л карты горизонтальных сечений 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 отражаемости на трёх специальных высотных уровнях:

- уровень 1 (H_1) - высота определения осадков (как правило, 600 м над уровнем антенны ДМРЛ),
- уровень 2 (H_2) - высота нулевой изотермы (0°C),
- уровень 3 (H_3) - высота изотермы -15°C .

В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» используется алгоритм построения горизонтальных сечений на постоянных уровнях CAPPI и pCAPPI [11]. Схема алгоритма показана на рисунке 6.1.

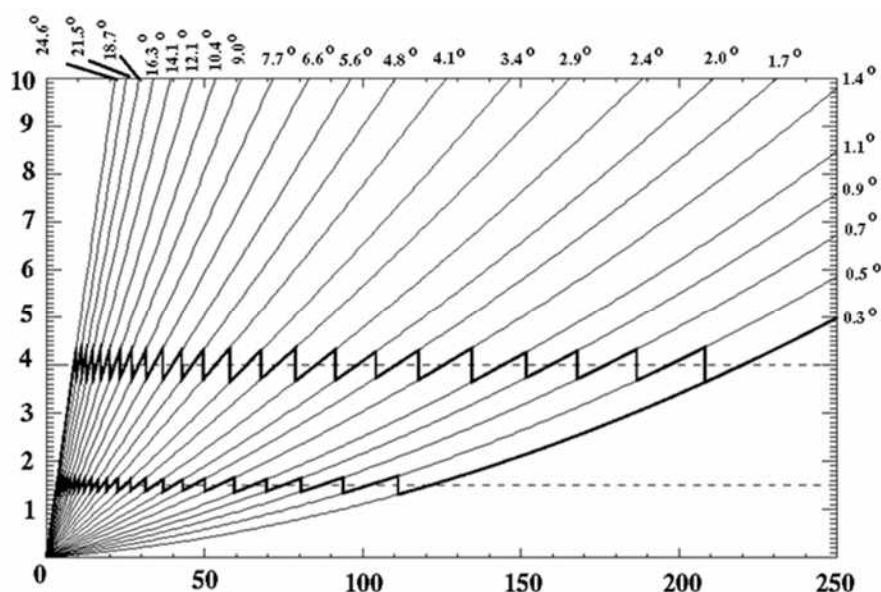


Рисунок 6.1 - Принцип алгоритма CAPPI

По горизонтали – расстояние от ДМРЛ, по вертикали – высота над ДМРЛ. Жирными сплошными линиями на рисунке показаны уровни съёма р/л параметров, которые используются для формирования горизонтальных сечений вторичных продуктов на высотах 1,5 и 4 км. Видно, что для построения горизонтальных сечений используются параметры, измеренные в некотором слое, толщина которого зависит как от используемого набора углов места, так и от высоты горизонтального сечения. Так, для формирования горизонтального сечения вторичных продуктов на высоте 1,5 км до дальности 120 км и для сечения на высоте 4 км до дальности 210 км используется информация со всех лучей (жирные пилообразные линии). Для формирования горизонтального сечения в дальней зоне – на дальностях более 120 км от ДМРЛ - для сечения на высоте 1,5 км и на дальностях более 210 км для сечения на высоте 4 км - используется экстраполяция только с нижнего луча.

6.2 Вертикальные сечения первичных продуктов

Для всех «объёмных» радиолокационных продуктов имеется возможность просматривать вертикальные сечения вдоль произвольно выбранного пользователем направления. Примечание: при вызове вертикального сечения для плоской карты (например, высоты верхней границы облаков) будет показано вертикальное сечение радиолокационной отражаемости Z.

Построение вертикальных сечений основано на принципах интерполяции CAPPI/pCAPPI, описанных в предыдущем подразделе.

Вертикальное сечение отображается в отдельном окне, верх основного окна программы, при этом на карте появляется чёрная линия, соответствующая выбранному

пользователем направлению. По горизонтальной оси откладывается расстояние (в км), отсчитываемое от начальной точки сечения, по вертикальной – высота над уровнем моря (до 20 км). Помимо координатной сетки на вертикальном сечении линиями отображаются специальные высоты: нулевой изотермы (красная), изотермы -15°C (голубая), тропопаузы (тёмно-зелёная). При перемещении курсора по вертикальному сечению отображается текущее положение курсора и значение в данной точке.

Возможность наглядного представления вертикальной структуры первичных продуктов наиболее востребована при анализе развития конвективных явлений.

Примеры различных вертикальных сечений показаны на рис. 5.7, 6.4, 6.7.

6.3 Карта максимальной отражаемости ($Z_{\max}$)

Карта максимальной отражаемости является «плоским» продуктом и рассчитывается следующим образом. Для каждой ячейки карты размером 1х1км (2х2 или 4х4 в зависимости от пространственного разрешения) рассматривается вертикальный столб отражаемости и выбирается максимум. Полученные значения могут быть некорректны при неполной фильтрации и/или частичной блокировке радиоизлучения. По карте максимальной отражаемости можно судить о наличии ОЯП (значения выше 35-45 dBZ). Значения максимальной отражаемости $Z_{\max}$ используются в критериях идентификации метеоявлений, а также при фильтрации. Пример Карты максимальной отражаемости $Z_{\max}$ и метеоявлений за 16:40 ВСВ 08.08.2019 г. по ДМРЛ «Курск» приведены на Рис. 6.2 а и б, соответственно.

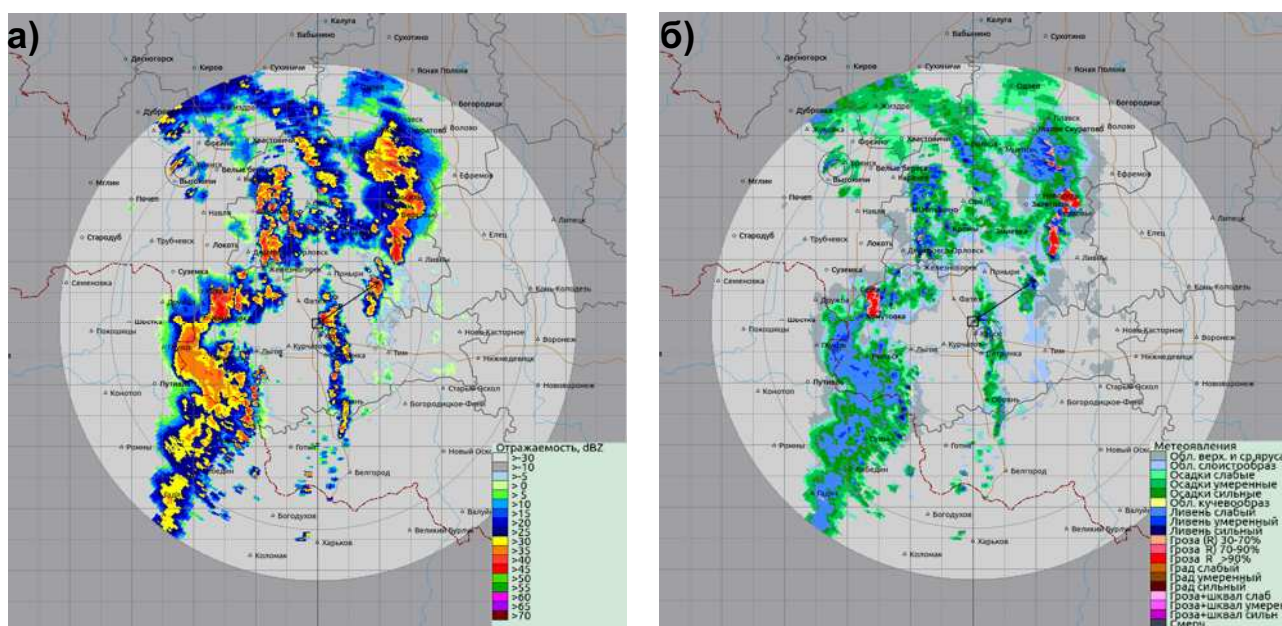


Рисунок 6.2 – Карты $Z_{\max}$ (а) и метеоявлений (б) за 16:40 ВСВ 08.08.2019 г. по данным наблюдений ДМРЛ «Курск».

На рисунке видно, что областям с $Z_{\max} = 35 \div 45$ dBZ чаще соответствуют р/л МЯ «ливни», а областям с $Z_{\max} \geq 45$ dBZ - р/л явления «грозы».

6.4 Карта высоты верхней границы радиоэха ($H_{\text{вго}}$)

За верхнюю границу облаков принимается высотный уровень, на котором значение отражаемости впервые превосходит значение - 5 dBZ при рассмотрении вертикального профиля отражаемости от больших высот к меньшим.

Определение высотного уровня всегда имеет погрешность, связанную с шириной диаграммы направленности антенны (ДНА) и расстоянием между соседними лучами (углами места). Таким образом, точность определения $H_{\text{вго}}$ снижается в ближней (до 10-15 км) и дальней (свыше 150 км) зонах; погрешность выше для больших значений $H_{\text{вго}}$. Кроме того, над кластером с максимальной отражаемостью свыше 45 dBZ значения верхней границы могут быть завышены вследствие влияния боковых лепестков в ДНА (см. раздел 10).

Высота верхней границы облаков используется при классификации метеоявлений.

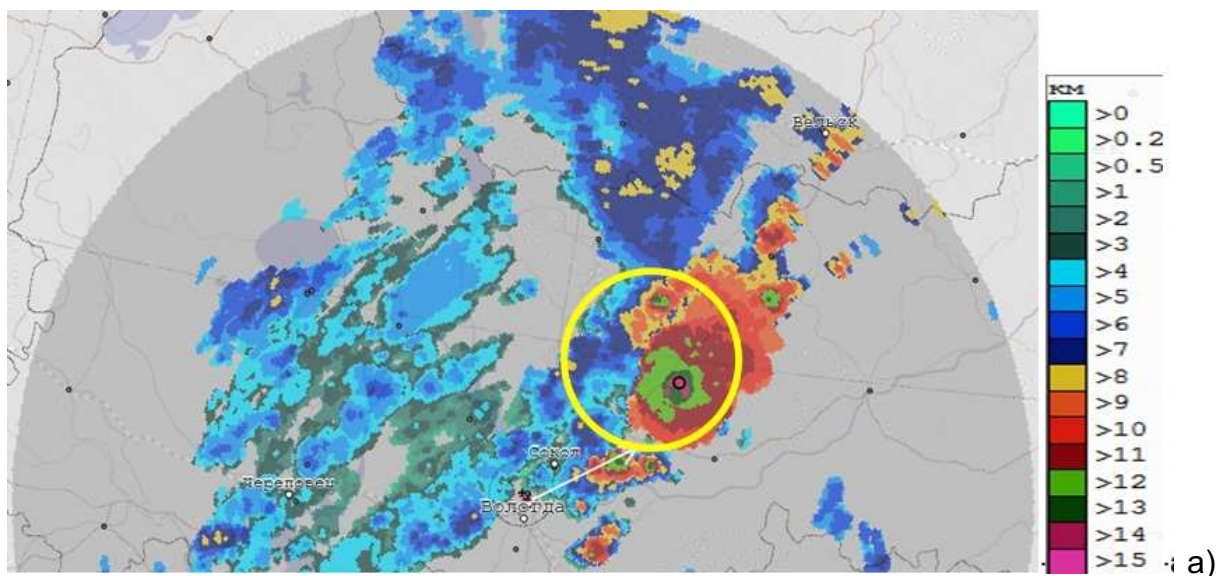
В синоптической практике $H_{\text{вго}}$ имеет важное значение как показатель степени «опасности» фронтальной облачности и развития конвективных процессов. При внедрённой конвекции на фронтах с обложными осадками по карте $H_{\text{вго}}$ можно отслеживать зоны внедрённой конвекции, где $H_{\text{вго}}$ превышает преобладающие в окрестности значения $H_{\text{вго}}$ на 1-3 ам и более. По картам $H_{\text{вго}}$ можно сразу диагностировать зоны мезомасштабных конвективных комплексов (МКК). Они имеют, как правило, почти круглую форму со значениями $H_{\text{вго}}$, превышающими преобладающее радиоэхо на 5-7 км.

Пример При прохождении холодного фронта через территорию зоны обзора ДМРЛ «Вологда» 30.05.2019 г., (Рисунок 6.3 а) в течение нескольких часов на карте $H_{\text{вго}}$ прослеживалась область округлой формы со значениями $H_{\text{вго}}$ в её центре, превышающими 14 км, которые превышали преобладающие значения $H_{\text{вго}}$ на фронте на 5-7 км. В этой области по карте $H_{\text{вго}}$ сразу можно диагностировать максимальное развитие конвекции. Действительно, в ней отмечены зоны грозы и града (рисунок 6.3 б), причём на карте $H_{\text{вго}}$ зона наиболее опасных метеоявлений выражена даже лучше, чем на карте метеоявлений.

6.5 Карта высоты нижней границы радиозеха ($H_{нго}$)

За нижнюю границу облаков принимается высотный уровень, на котором значение отражаемости Z впервые превосходит значение -5 dBZ при рассмотрении вертикального профиля отражаемости от меньших высот к большим.

В осадках радиолокатор измеряет в подоблачном пространстве отражённый сигнал на всех углах сканирования, в том числе и формируемый падающими до земли частицами осадков (с характерными размерами более ~ 100 мкм). Это соответствует значению нижней границы облачности $H_{нго}=0$ м в случае выпадения осадков. При этом в оптическом диапазоне нижняя граница облачности может определяться на высоте нескольких сотен метров по изменению оптических свойств среды, формируемых облачными частицами микронных размеров. Поэтому радиолокационная нижняя граница $H_{нго}$ облачности может не совпадать с нижней границей облачности, измеренной оптическими приборами, а в осадках радиолокационная $H_{нго}$ всегда равна нулю. При наличии в облачности нескольких слоёв за $H_{нго}$ принимается высота верхней границы верхнего слоя, а за $H_{нго}$ – высота нижней границы нижнего слоя облачности



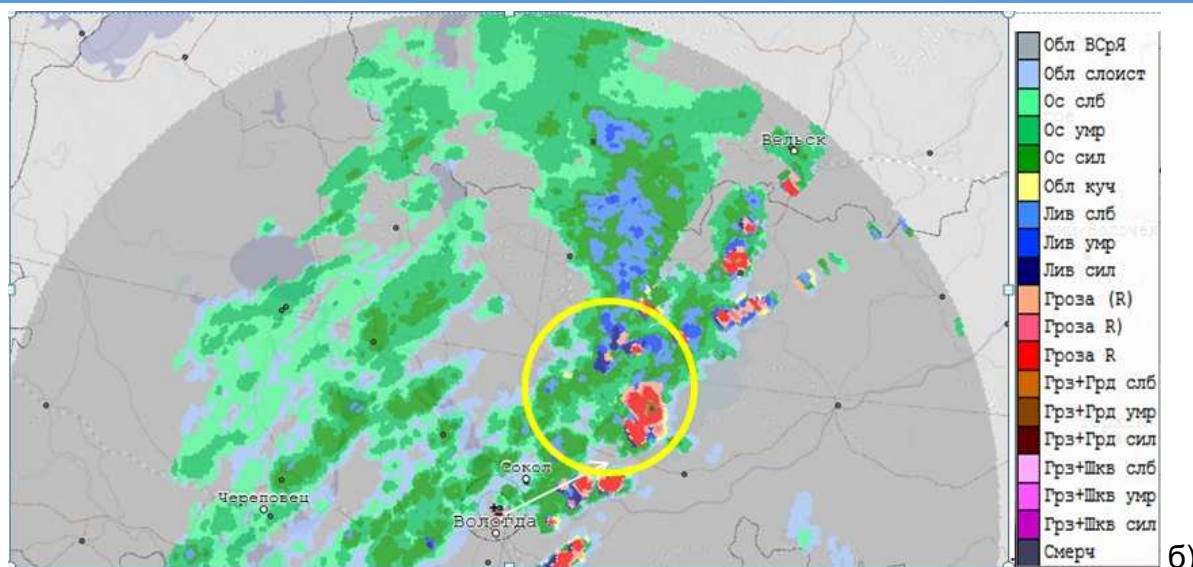


Рисунок 6.3 - Фрагменты карт ДМРЛ «Вологда» 30.05.2019 г., 09:30 ВСУ: $H_{\text{ВГО}}$ (а) и метеоявлений (б).

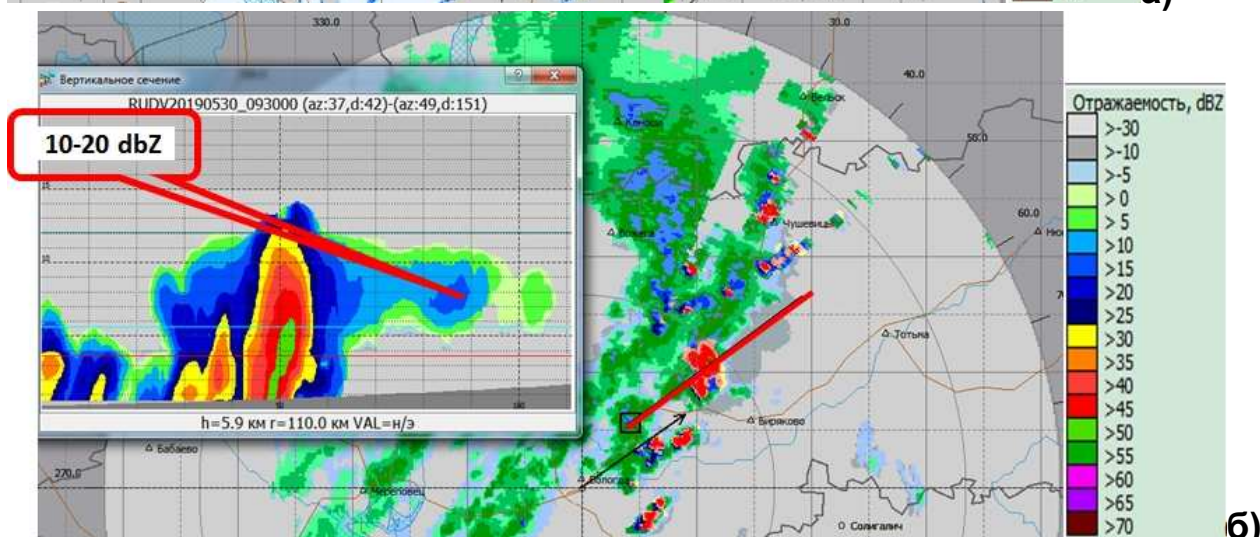
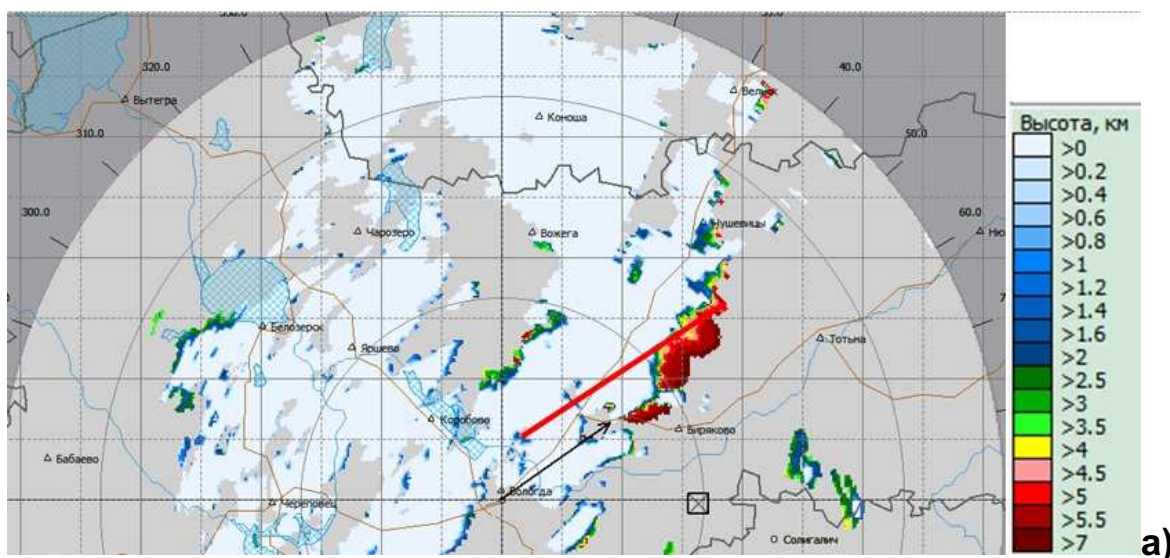


Рисунок 6.4 - Фрагменты карты ДМРЛ «Вологда» за срок 09:30 ВСУ 30.05.2019 г.: $H_{\text{НГО}}$ (а) и карта метеоявлений с вертикальным разрезом (красная линия) для оценки $H_{\text{НГО}}$ и $H_{\text{ВГО}}$ (б).

Кроме того, для $H_{\text{нго}}$ характерны такие же погрешности, как и для $H_{\text{вго}}$, связанные с шириной ДНА и расстоянием между соседними лучами (углами места) – см. разд. 10.

Высота нижней границы облаков используется при классификации метеоявлений.

Пример. На карте $H_{\text{нго}}$ синоптик сразу может видеть области с осадками (белого цвета) и области с облачностью среднего и верхнего ярусов (рисунок 6.4 а). Проведённый в интересующем синоптика направлении вертикальный разрез облачности (красный отрезок на рисунке 6.4 б) позволяет легко оценить толщину слоя облачности верхнего и среднего ярусов и «плотность» этой облачности по значениям p/l отражаемости Z в ней. Так, значения Z в облачности среднего яруса на вертикальном разрезе рисунка 6.4 б) от 10 до 20 dbZ свидетельствуют о наличии плотных облаков форм As, Ac (см. раздел 6.8).

6.6 Карта вертикально интегрированной водности (VIL)

Интегральная водность облаков, или вертикально интегрированная водность (VIL) - масса жидкой воды на единицу площади в вертикальном столбе по данным о фактическом изменении отражаемости [23].

VIL выражается в $\text{кг}/\text{м}^2$. В ПО «ГИМЕТ-2010» для расчёта VIL используется алгоритм [19]:

$$VIL = 3.44 \cdot 10^{-6} \cdot \sum \left[\frac{(Z_i + Z_{i+1})}{2} \right]^{\frac{4}{7}} \cdot \Delta h, \quad (6.1)$$

где Z_i – отражаемость на i -том выс.уровне; Δh – разность высот между уровнями i и $i+1$. Суммирование производится по всему столбу отражаемости, поэтому все ограничения в определении VIL оказывают влияние на качество продукта. Согласно [19, 23], величина VIL может быть хорошим индикатором для идентификации гроз и града.

Исследования, проведённые в 2017-19 г.г. в ФГБУ «ЦАО» показали, что нижний порог значения VIL для явления «град» в большинстве случаев составляет $12 \text{ кг}/\text{м}^2$. Если по данным МС отмечено явление «град», а значения VIL в это время вблизи этой МС не превышают $8 \text{ кг}/\text{м}^2$, это очень часто означает, что наблюдатель «круп» принял за «град». Исследования возможности использования параметра VIL в качестве предиктора явлений «град слабый» - «град сильный» продолжаются.

Пример На рисунках 6.5 приведены карты VIL (а), метеоявлений (б) и шкала VIL по ДМРЛ «Великие Луки» (в) за срок 17:20 ВСВ 08.08.2019 г. Максимальные значения VIL на карте, превышающие $4 \text{ кг}/\text{м}^2$, соответствуют областям «сильного ливня» на картах метеоявлений.

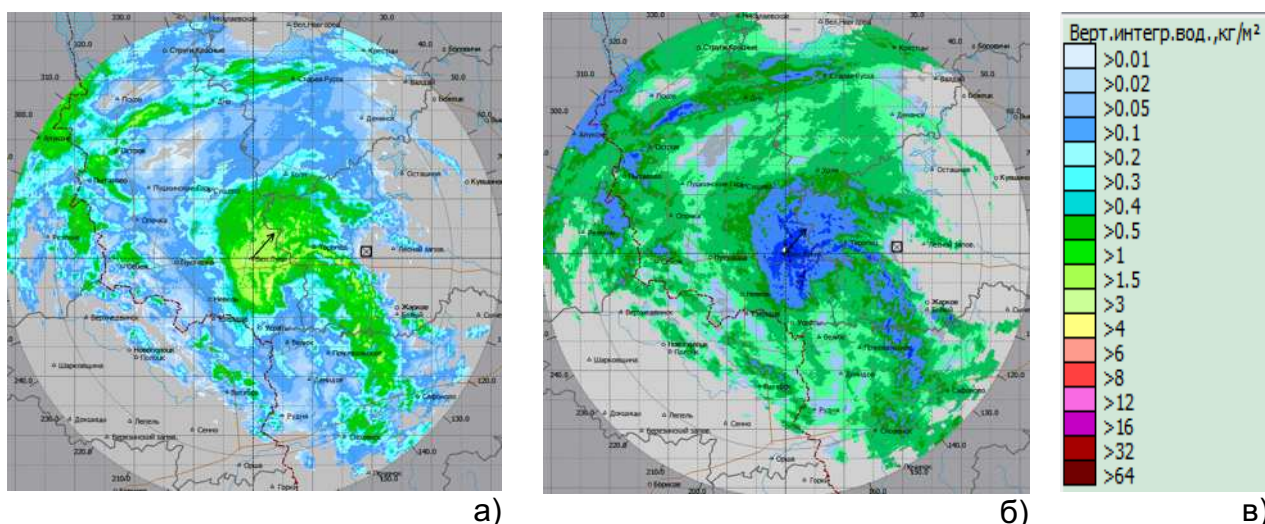


Рисунок 6.5 – Карты вертикально интегрированной водности VIL (а), метеоявлений (б) и шкала VIL (в) по данным ДМРЛ «Великие Луки» за срок 17:20 ВСВ 08.08.2019 г.

6.7 Карта интенсивности выпадающих осадков (R)

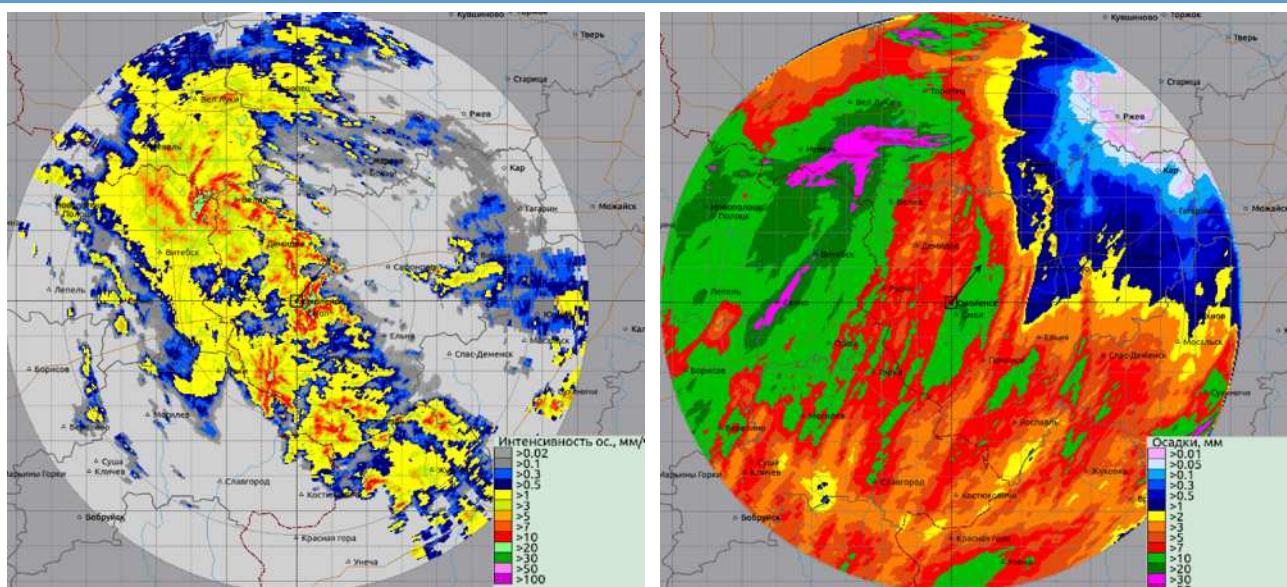
Карта интенсивности осадков ДМРЛ-С является важным информационным продуктом. Интенсивность осадков (R, мм/ч), - это слой воды, падающий на единичную площадку в единицу времени - зависит от концентрации, спектра размеров капель и скорости их падения относительно Земли. В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» алгоритм расчёта интенсивности осадков основан на использовании известного Z - R соотношения, полученного Маршаллом и Пальмером при микрофизических исследованиях частиц осадков и их распределения по размерам [11,12] – см. раздел 10:

$$Z = A * R^b \quad (6.2)$$

где R – интенсивность осадков, в мм/ч, Z – р/л отражаемость, $мм^6 / м^3$, A=200 и b=1,6 – константы. Более подробную информацию о радиолокационном способе измерения осадков можно найти также в [61, разделы 7.10.4].

На рисунке 6.6 приведён примеры карт интенсивности осадков R (рисунок 6.6 а) за 17:50 ВСВ 08.08.2019 и карта суточной суммы осадков, выпавших за сутки с 07.08 по 08.08.2019 г. (рисунок 6.6 б) по данным ДМРЛ «Смоленск».

Анализируя карту интенсивности осадков, можно отслеживать местоположение областей наиболее интенсивных осадков (не менее 30 мм/ч), дальность видимости в которых обычно снижается до значений ниже 1000 м [18].



а)

б)

Рисунок 6.6 – Карты: (а) - интенсивности осадков R за срок 17:50 ВСВ 08.08.2019 и б) - суточных сумм осадков Q , выпавших с 07.08 по 08.08.2019 г. по данным ДМРЛ «Смоленск»

Анализ карты интенсивности осадков с учётом вектора переноса позволяет прогнозировать смещение зон интенсивных осадков и рассчитывать время подхода таких зон к тому или иному населённому пункту. Однако при этом стоит учитывать ограничение области надёжной интерпретации р/л информации.

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, а на удалении 250 км, соответственно, на 3750 м. В таблице 6.1 приведены значения высоты подъёма луча на разных удалениях от ДМРЛ.

Таблица 6.1 – Высота подъёма луча в зависимости от удаления от ДМРЛ-С

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

Поскольку радиолокационная отражаемость Z_1 для расчёта интенсивностей и сумм осадков измеряется на высоте 600 м над уровнем установки ДМРЛ, понятно, что достоверно осадки определяются в радиусе порядка 100 км. За пределами 100 км измеренная Z_1 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 этой границы.

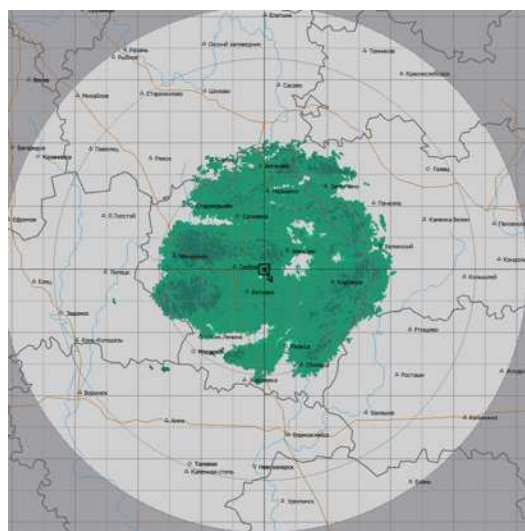
В холодный период года верхняя граница облачности в целом существенно ниже, чем в тёплый. Поэтому, если в тёплый период радиоэхо далее 100 км может быть как облачностью, так и осадками, то в холодный период радиоэхо низкой облачности далее 100 км вообще зачастую не обнаруживается.

Пример. На рисунке 6.7 приведены карты $H_{\text{вго}}$ (а), метеоявлений (б) и вертикальный разрез по азимуту 324-144 ° (в) по данным ДМРЛ «Тамбов» за 23:30 ВСВ 28.12.2018 г., в ситуации со сплошной (по спутниковым данным) низкой облачностью. Поле слоистообразной низкой облачности с $H_{\text{вго}} \sim 1.8$ км, простирающееся далеко за пределы зоны обзора ДМРЛ «Тамбов», наблюдается на ДМРЛ примерно до 100 км от радиолокатора. На большем удалении от ДМРЛ радиоэха нет, т.к. радиолокационный луч выходит из зоны облачности за счёт кривизны Земли; сказывается также неполное заполнение гидрометеорами импульсного р/л объёма.

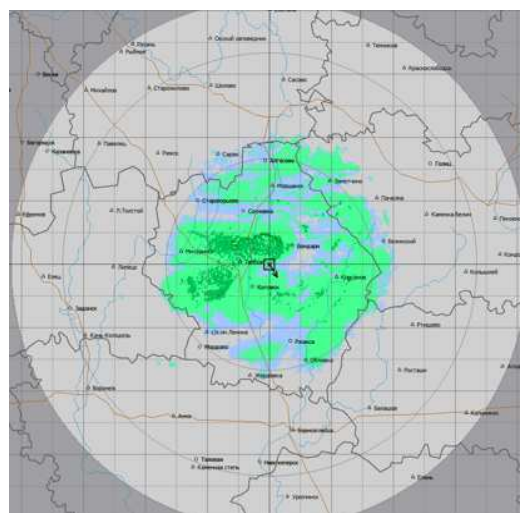
6.8 Карты сумм накопленных осадков (Q)

Сумма накопленных осадков Q измеряется в мм слоя воды, выпавшей на единичную площадку за заданный интервал времени. Суммирование осадков на ДМРЛ-С (пример на рисунке 6.6 б) предусмотрено за различные промежутки времени - 1, 3, 6, 12 и 24 часа, причём для каждого радиолокатора расчёт сумм осадков Q проводится в соответствии с их расположением по метеозонам [31]. Так, расчёт 24-часовой (суточной) суммы осадков начинается с началом метеорологических суток и заканчивается по их окончании; расчёт первой 12-часовой суммы начинается с началом метеорологических суток, второй 12-часовой суммы - спустя 12 часов; суммы осадков за 6 и 3 ч привязываются к основным и промежуточным срокам.

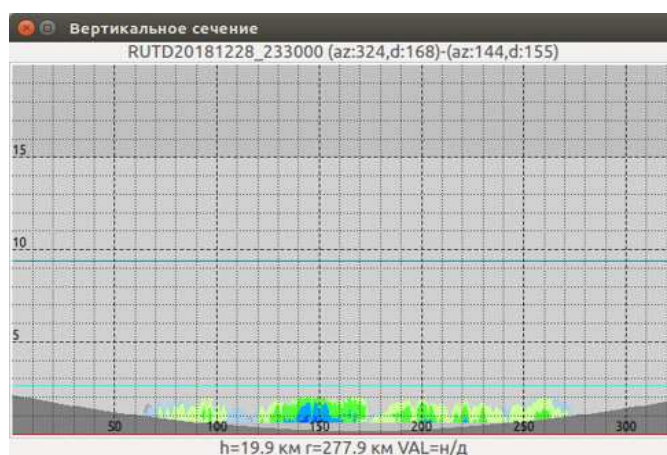
Ливневые дожди с количеством выпавших осадков не менее 30 мм/ч, жидкие или смешанные осадки в количестве не менее 50 мм, выпавшие не более чем за 12 часов, а также снег не менее 20 мм, выпавший не более чем за 12 часов, согласно [29], относятся к опасным гидрометеорологическим явлениям. Поэтому, анализируя карты интенсивности и суммы осадков за 1 час и за полусутки, можно оценить зоны с опасным количеством выпавших осадков.



а)



б)



в)

Рисунок 6.7 - Карты Нвго (а), метеоявлений (б) и вертикальный разрез по азимуту 324-144 ° (в) по ДМРЛ «Тамбов» за 23:30 ВСВ 28.12.2018 г. при сплошной низкой облачности

6.9 Карта метеоявлений

Радиолокационная отражаемость облаков зависит от их фазового состава, водности и спектра размеров облачных частиц. Различия в этих характеристиках позволяют идентифицировать тип облака. На рисунке 6.8, взятом из [14], показаны диапазоны наблюдаемых значений радиолокационной отражаемости (Z) для различных источников радиоэха, включая облачность различных типов и неметеорологические источники (птицы, насекомые, «местники» пр.) .

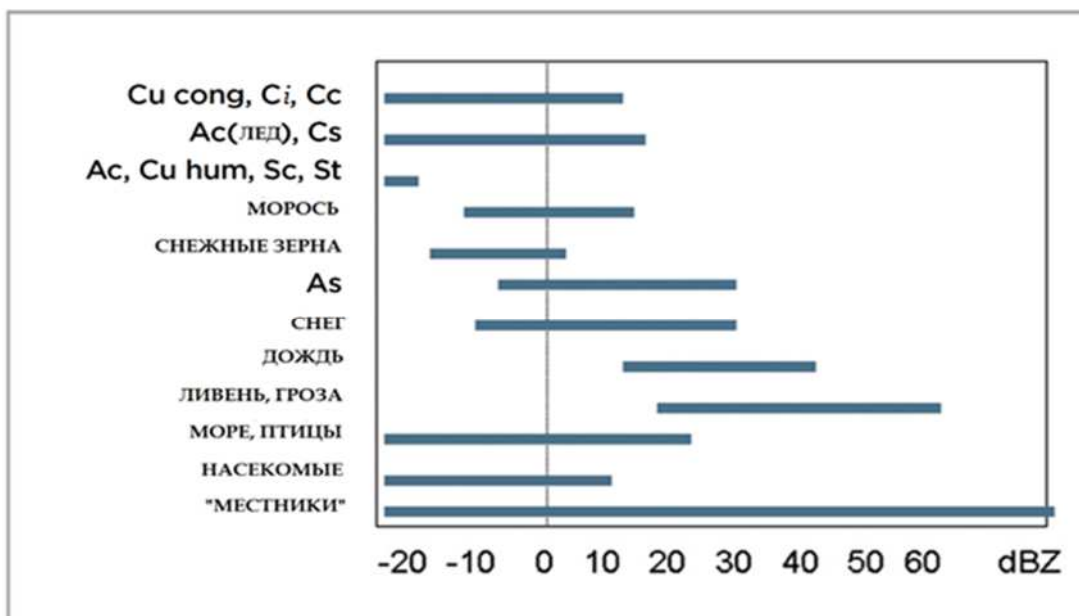


Рисунок 6.8 - значения р/л отражаемости для различного источников р/эха, [14].

6.9.1 При идентификации обложных и ливневых осадков учитывается вертикальная структура облачности: в слоистообразной теплой облачности на радиолокационных вертикальных разрезах отражаемости хорошо прослеживается т.н. «яркая полоса» - локальное увеличение Z на 5÷15 дБ в облачном слое мощностью до нескольких сотен м, лежащем на 100-300 м ниже уровня нулевой изотермы и представляющем собой слой интенсивного таяния и агрегации обводненных облачных частиц. В конвективной облачности такая слоистая структура разрушается под воздействием интенсивного вертикального перемешивания. «Яркая полоса» также отсутствует в холодных «зимних» облаках, в которых отсутствует теплая часть с положительной температурой.

Обложные осадки формируются в слоистообразной облачности, а ливневые – в конвективной облачности. В ПО ВОИ ДМРЛ-С «ГИМЕТ-2010» обложные осадки идентифицируются по величине радиолокационной отражаемости на уровне 1 (как правило, уровень 0.6 км), ливневые осадки - по высоте $H_{\text{вго}}$ и значениям Z на специальных уровнях 1 - 3, т.е. как на уровне измерения осадков, так и на вышележащих уровнях (см. раздел 6.1).

6.9.2 Радиолокационные критерии наличия грозových очагов, реализованные в ПО ВОИ ДМРЛ-С, основаны на результатах исследований 50-х и 60-х годов прошлого века [15,16]. Одним из основных условий возникновения грозы является достижение облаками S_b уровня, где температура воздуха составляет минус 20-25°C.

Для критериев грозы и града используются значения высоты верхней границы облачности $H_{вго}$ и вертикальный профиль радиолокационной отражаемости Z , а именно, её значения на специальных уровнях: высоте нулевой изотермы H_2 и на уровне H_3 – уровне интенсивной кристаллизации (уровень изотермы -15°C , превышающий, как правило, уровень нулевой изотермы на 2-2.5 км), а также максимальное значение $Z_{\max}$ в столбе Z .

6.9.3 Для интерпретации грозы со шквалом, согласно [17], используются значения Z на уровне H_3 и ΔH – превышение верхней границей облачности уровня тропопаузы.

6.9.4 Для идентификации смерчей используются значения Z_3 , ΔH , $Z_{\max}$ и dV – градиента доплеровской скорости.

6.9.5 Метеорологические явления, отображаемые на картах метеоявлений ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» в соответствии с Приказом №95, представлены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Кодирование метеоявлений в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010»

Код	Явление	Обозначение
0	Отсутствие радиоэхо	
1	Облачность верхнего и среднего яруса	Ac
2	Слоистообразная облачность	St
3	Осадки слабые	:
4	Осадки умеренные	*
5	Осадки сильные	**
6	Кучевая облачность	Cu
7	Ливень слабый	(V)
8	Ливень умеренный	V)
9	Ливень сильный	V
10	Гроза с вероятностью 30-70%	(R)
11	Гроза с вероятностью 71-90%	R)
12	Гроза с вероятностью > 90%	R
13	Гроза + Град слабый	(G)
14	Гроза + Град умеренный	G)
15	Гроза + Град сильный	G
16	Гроза+Шквал слабый	(S)
17	Гроза+Шквал умеренный	S)
18	Гроза+ Шквал сильный	S
19	Торнадо (смерч)	T
31	Отсутствующее значение (нет измерений)	Отсут. значения

6.10 Карта опасных метеоявлений. Контуры опасных метеоявлений

Кроме карты «Метеоявлений», В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» строится карта «Опасных метеоявлений», начинающихся с кода 5 (таблица 6.2) - «осадков сильных» и включающих ливни, грозы, град, шквал. Пороговое значение «осадки сильные» для выделения Опасных метеоявлений принято по согласованию с ФГБУ «ГАМЦ Росгидромета», однако оно может быть изменено пользователем в настройках программы.

В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» реализовано включение сигнализации при появлении очагов ОЯ в зоне обзора ДМРЛ. 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 загорается мигающий красный транспарант: «Опасные явления».

Порог для загорания транспаранта «Опасные явления» выбран по согласованию с ФГБУ «ГАМЦ Росгидромета» и на большинстве ДМРЛ это – (R), но он может быть изменён пользователем в настройках программы.

По согласованию с ФГБУ «ГАМЦ Росгидромета», для авиационных пользователей разработан продукт «Контуры ОЯ» и таблица штормооповещения, содержащая информацию о максимальном явлении (наиболее «опасном», в соответствии с классификацией в табл. 6.2) в каждом контуре, его азимуте и удалении, максимальном значении $H_{вро}$ в контуре (не обязательно совпадающем с максимальным ОЯ). Пример карты контуров ОЯ с таблицей штормооповещения приведён на рисунке 6.10.

Имеется возможность вывода таблицы штормооповещения на печать.

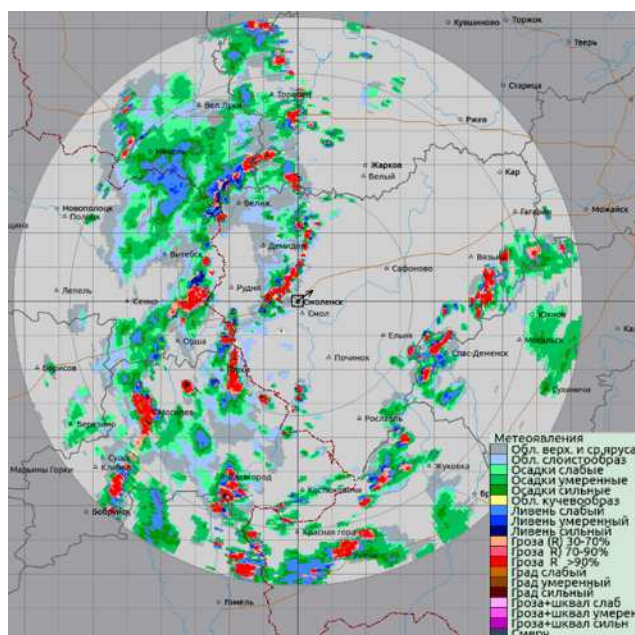
Правила построения контурного очерчивания включают в себя расчёт контуров ОЯ по карте метеоявлений с любым разрешением - 1х1, 2х2, 4х4 км в радиусе наблюдений 250 км, при этом оконтуривание очагов ОЯ производится по границе с отступом 0.5, 1, 2 км (половина линейного размера ячейки) и по любому настраиваемому порогу; по умолчанию это делается для грозы с вероятностью 30-70% - (R). Контуры ОЯ объединяются в общий контур, если они удалены друг от друга на расстояние менее размера двух ячеек.

Пример Карты метеоявлений (и вид мигающего транспаранта), «опасных» метеоявлений по ДМРЛ «Смоленск» за 12:50 ВСВ 09.06.2019 г. приведены на рисунке 6.9 (рисунки а и б, соответственно). Карта с построенными контурами и таблица штормооповещения за тот же срок - на рисунках 6.9 (в и г, соответственно).

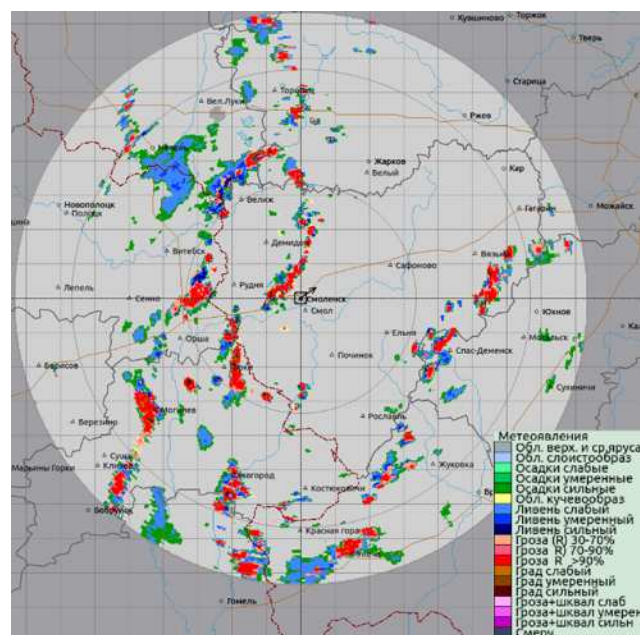
6.11 Карты сдвигов ветра (S_g/S_v)

Сдвиг ветра измеряется в м/с на 30 м высоты по вертикали (вертикальный сдвиг, S_v) и в м/с на 600 м по горизонтальной дальности (горизонтальный сдвиг, S_g) [23,50].

Наиболее общим определением сдвига ветра является следующее: «изменение скорости и/или направления ветра в пространстве, включая восходящие и нисходящие потоки воздуха» [45]. Важность сдвига ветра для авиации заключается в его воздействии на лётные характеристики воздушных судов (ВС) и, как следствие, в потенциально неблагоприятном влиянии на безопасность полётов, особенно, при взлёте и посадке ВС. Различают вертикальный сдвиг ветра, описывающий изменение ветра по вертикали, и горизонтальный сдвиг ветра – описывающий изменение ветра по горизонтали. Интенсивность сдвига ветра рассчитывается путём деления величины модуля разности между векторами в двух точках на расстояние между ними. 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.



а)



б)

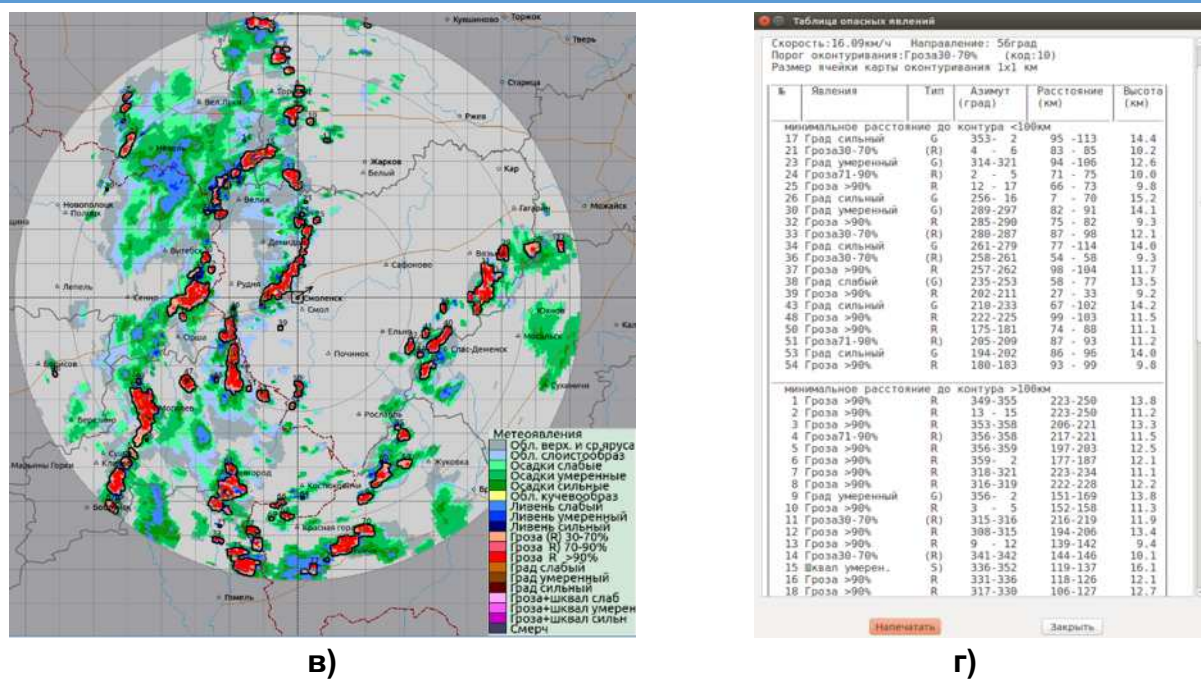


Рисунок 6.9 - Карта метеоявлений (а), опасных метеоявлений (б), контуров ОЯ (в) и таблица штормооповещения (г) по ДМРЛ «Смоленск» за 12:50 ВСВ 09.06.2019 г.

По интенсивности сдвиг ветра подразделяется на: слабый, умеренный, сильный и очень сильный [6,18]. Метод оценки величины сдвига ветра по данным радиолокационных наблюдений основан на доплеровских измерениях скорости ветра в соседних дискретах по дальности и азимуту с последующим вычислением величины сдвига. В настоящее время в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» реализовано отображение сдвигов ветра S_v и S_g на картах в грациях, согласно таблице 6.3. Величины пороговых значений в таблице соответствуют Сертификационным требованиям («Базис») МАК к радиолокатору ДМРЛ-С [3]. Это промежуточные критерии интенсивности сдвига ветра, которые были рекомендованы Пятой Аэронавигационной конференцией в Монреале в 1967 г. При этом необходимо иметь в виду, что в те годы полагали, что опасность сдвига может быть выражена в виде определённых граций градиентов скорости ветра, однако в дальнейшем выяснилось, что такой подход к классификации сдвигов ветра не является универсальным, поскольку сдвиг ветра одной и той же грации по-разному влияет на разные по категориям массы и скорости движения воздушные суда (ВС) [45,50].

Таблица 6.3 – Градации величины сдвига ветра в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» [3].

S_v , м/с на 30м или S_g , м/с на 600 м	Характеристика сдвига ветра
0 – 2	Слабый

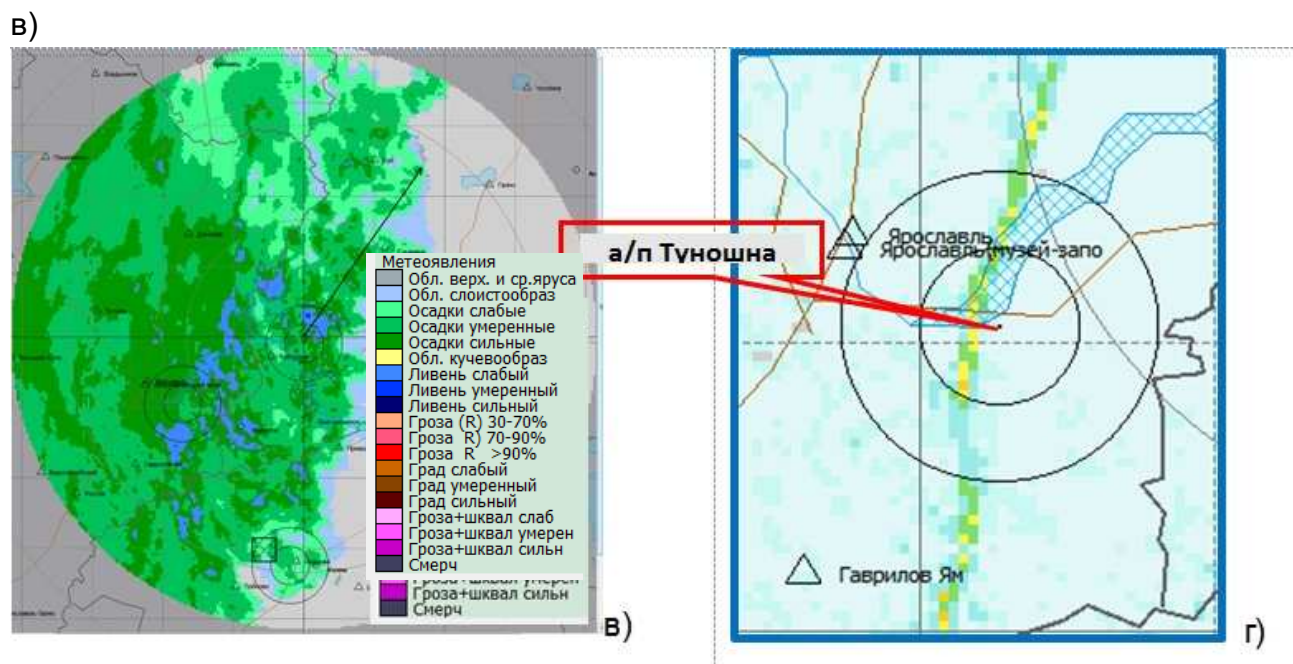
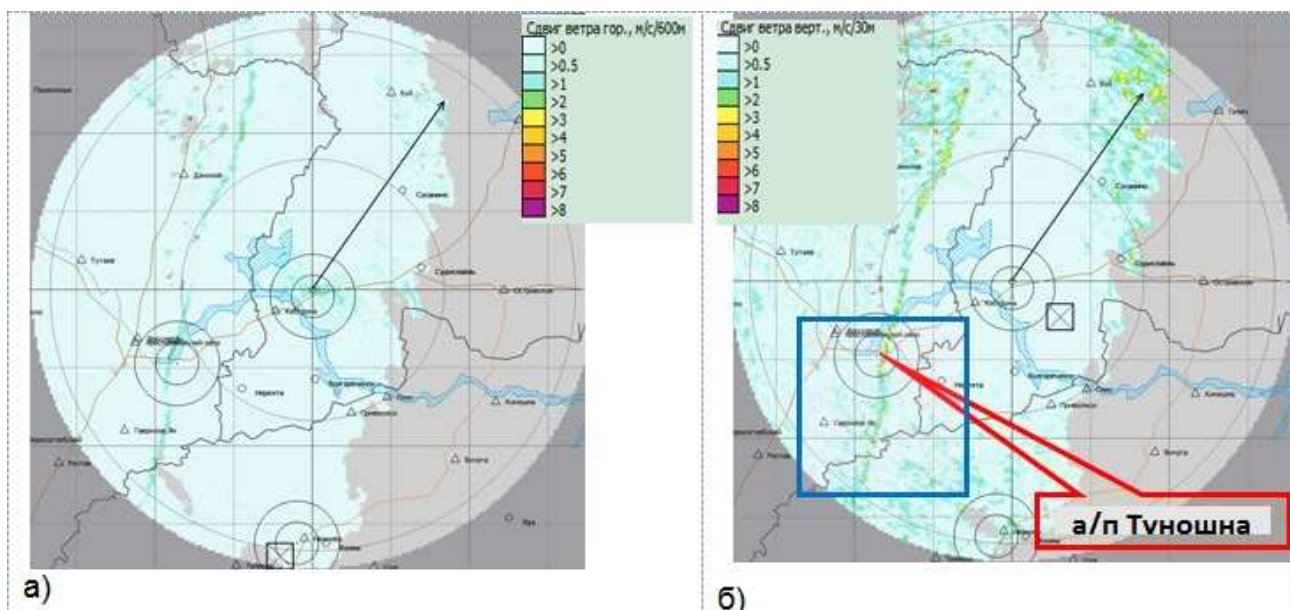
2 – 4	Умеренный
4 – 6	Сильный
Более 6	Очень сильный

В связи с увеличением импульсного объёма на больших дистанциях снижается вероятность обнаружения умеренного/сильного сдвигов ветра. Слабые сдвиги ветра невозможно обнаружить на ДМРЛ, так как в ближней зоне, как правило, имеется большое количество отражений от местных предметов, затрудняющих вычисление S_v и S_g . Также следует учитывать, что ДМРЛ не может обеспечить обнаружение короткоживущих сдвигов ветра, а также сдвигов ветра, масштаб которых сравним с размером импульсного объёма. В отдельных случаях о наличии сдвига ветра можно судить косвенно по общей картине радиальной скорости и локальному возрастанию ширины спектра.

Карты сдвигов ветра следует просматривать в режиме "Скорость" (абонентские файлы Inv), так как в режиме "Отражаемость" получить корректную картину крайне затруднительно (см. подраздел "Радиальная скорость"). При оценке наблюдаемых карт следует учитывать общую структуру полей отражаемости и ширины спектра.

Пример Карты горизонтального, вертикального сдвигов ветра и метеоявлений за 10:50 ВСВ ДМРЛ 04.10 2019 по ДМРЛ «Кострома» приведены на рисунках 6.10 а,б,в, соответственно. В это время наблюдалось прохождение холодного фронта. На картах вертикального и горизонтального сдвигов ветра отмечены преимущественно небольшие значения, однако прослеживается несколько областей с более высокими значениями S_g и S_v . Обращает на себя внимание узкая полоса значений S_v от 2 до 4 м/с/30м (соответствует умеренным сдвигам ветра), которая проходит и через аэропорт г. Ярославль (Туношна) – рисунки 6.10 б и г. Анализ погоды на МС аэропорта Туношна (рисунок 6.10 д) показал, что в это время (между 13:30 и 14:00 МСК) на МС было зафиксировано изменение направления ветра с южного на западное, увеличение скорости ветра с 4 до 9 м/с и падение температуры воздуха с 13 до 10°C.

Таким образом, в данном случае узкая полоса повышенных значений S_g и S_v соответствует полосе сдвига («поворота») ветра при прохождении фронта.



Архив погоды в Ярославле / Туношне (аэропорт),

2019г. 4 октября, пятница	15:00	9	744.4	752.3	94	Ветер, дующий с западо-юго-запада	Умеренный ветер (6 м/с)
	14:30	9	744.4	752.3	100	Ветер, дующий с запада	Умеренный ветер (7 м/с)
	14:00	10	743.8	751.6	94	Ветер, дующий с запада	Свежий ветер (9 м/с)
	13:30	13	743.0	750.8	94	Ветер, дующий с юга	Слабый ветер (4 м/с)
	13:00	13	743.0	750.8	94	Ветер, дующий с юга	Слабый ветер (4 м/с)
	12:30	14	742.4	750.1	88	Ветер, дующий с юга	Слабый ветер (4 м/с)
	12:00	15	742.4	750.1	77	Ветер, дующий с юга	Легкий ветер (3 м/с)
	11:30	14	742.4	750.1	82	Ветер, дующий с юга	Легкий ветер (3 м/с)

Д)

Рисунок 6.10 - Карты горизонтального (а), вертикального (б) сдвигов ветра на высоте 1 км, карта метеоявлений (в) по данным ДМРЛ «Кострома» за 10:50 ВСВ 04.10.2019. На рис. 6.10 г – увеличенная зона вокруг а/п Туношна, обозначенная на рис. 6.10 б синим контуром; на рис. 6.10 д – таблица метеоявлений по данным наблюдений АМСГ а/п Туношна с 11:30 МСК (08:30 ВСВ) до 15:00 МСК (12:00 ВСВ).

6.12 Карта зон турбулентности (Е)

Единицей измерения скорости диссипации турбулентной энергии является $\text{см}^2/\text{с}^3$. В каждом цикле р/л наблюдений ДМРЛ в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» производится расчёт скорости диссипации турбулентной энергии ε на основе радиолокационных измерений ширины доплеровского спектра скоростей, радиолокационной отражаемости и рассчитанных сдвигов ветра по формулам из [11, 24]. Соответствующий вторичный продукт носит условное название "Турбулентность". Поскольку в расчётах скорости диссипации используются доплеровские характеристики, карты продукта «Турбулентность» следует просматривать в режиме "Скорость" (абонентские файлы Inv). В настоящее время в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» для отображения скорости диссипации турбулентной энергии реализованы градации, приведённые в таблице 6.4, в соответствии с [24].

При использовании вторичного продукта «Турбулентность» необходимо иметь в виду, что в настоящее время отсутствуют данные прямых независимых измерений

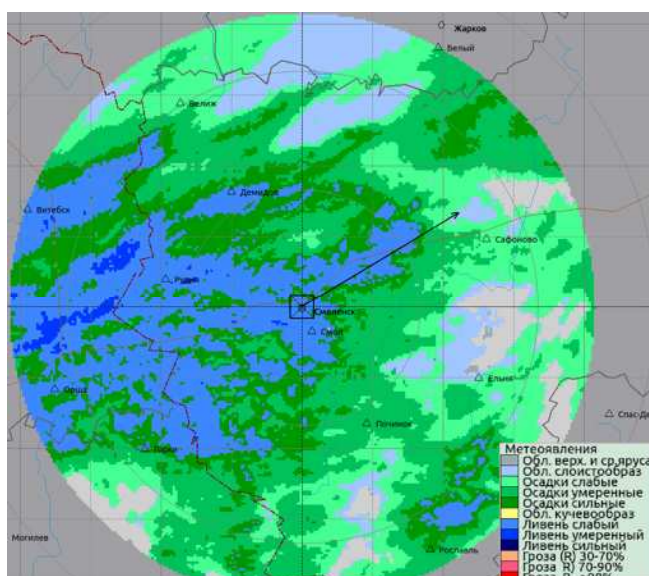
скорости диссипации турбулентной энергии в атмосфере, и валидация данного вторичного радиолокационного продукта не проводилась.

Таблица 6.4 – Градации величины скорости диссипации турбулентной энергии.

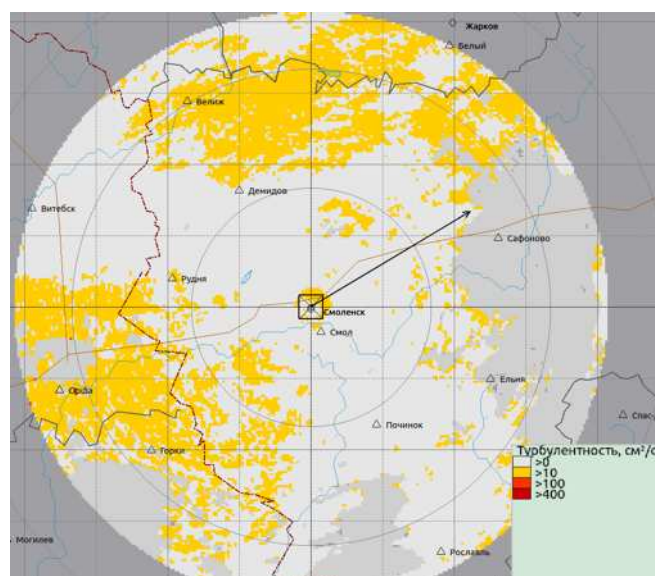
ε , $\text{см}^2/\text{с}^3$	Характеристика турбулентности
0÷ 10	Слабая
10÷100	Умеренная
100÷400	Сильная
>400	Очень сильная (опасная)

Пример карт метеоявлений и зон турбулентности, построенных для случаев обложных осадков и конвективных явлений (ливни, грозы), приведены на рисунках 6.11. На рисунках 6.11 а и б-- приведены карта метеоявлений с обложными осадками и карта турбулентности для уровня 2 км в срок 11:10 ВСВ 06.11.2019 г. по ДМРЛ «Смоленск». На карте турбулентности в слое 1-2 км значения ε существенно менее 100 $\text{см}^2/\text{с}^3$ и составляют от 12 до 32 $\text{см}^2/\text{с}^3$.

На рисунках 6.11 в и г, соответственно, приведены карты метеоявлений и ε для случая с обширной зоной ливневой, гроз и града в срок 13:50 ВСВ 09.06.2019 г. по данным ДМРЛ «Валдай». На карте ε для уровня 2 км значения ε в зонах развития конвекции, где идентифицированы р/л «грозы», превышают значения 350 $\text{см}^2/\text{с}^3$.



а)



б)

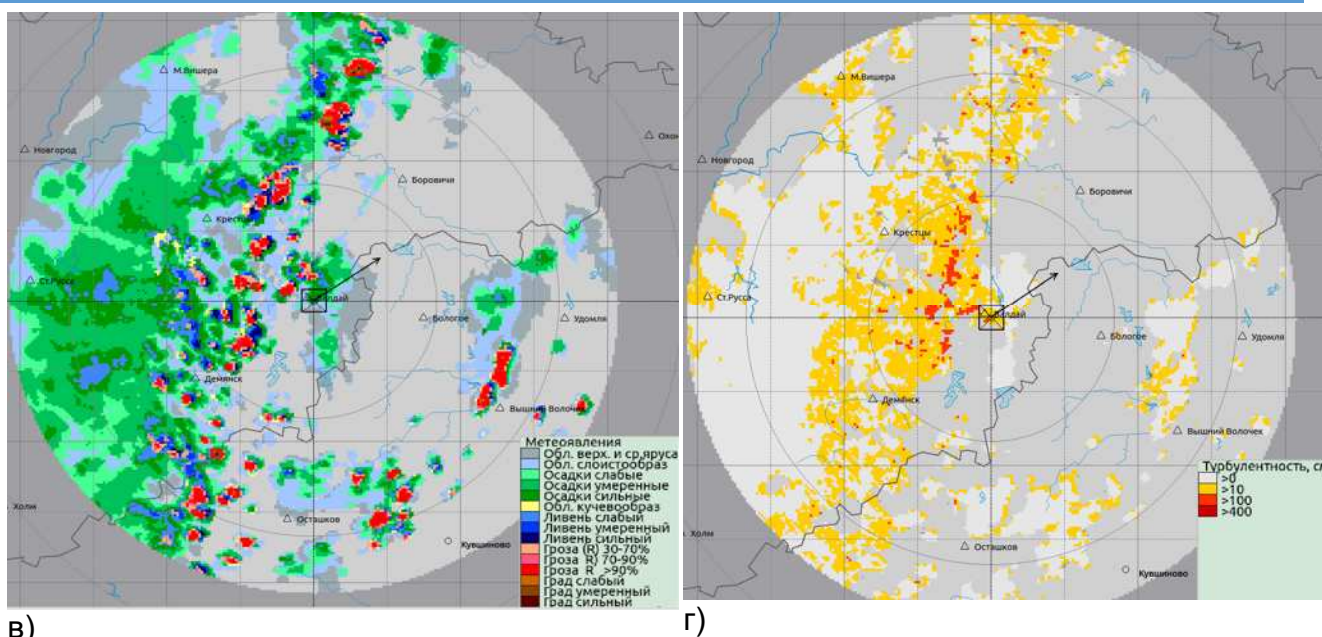


Рисунок 6.11- Карты метеоявлений и € в ситуации с обложными осадками для уровня 2 км в 11:10 ВСВ 06.11.2019 г. по данным ДМРЛ «Смоленск» (рисунки 6.11 а,б) и с ливневыми осадками (рисунки 6.11 в, г) за 13:50 ВСВ 09.06.2019 г. по ДМРЛ «Валдай».

6.13 Вектор переноса облачности и осадков

Для характеристики переноса облачных систем в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» рассчитывается вектор переноса (перемещения) по максимуму коэффициента корреляции между двумя последовательными картами максимальной отражаемости $Z_{\max}$. Вектор переноса характеризует как собственно пространственный перенос облачности, так и трансформацию её границ в процессе её эволюции. Вектор переноса отображается на всех картах ДМРЛ-С и представляет собой отрезок, берущий начало в месте расположения ДМРЛ-С. Вектор указывает направление перемещения, а его длина соответствует расстоянию, на которое перемещается поле облачности в зоне радиолокационного обзора за 1 час. При малом количестве пикселей со значениями $Z_{\max}$ вектор не рассчитывается, при этом в правом верхнем углу карты метеоявлений под словами «Скор. и направл. перемещения» будет написано «Н/О» - не определено.

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

Высокие значения скорости переноса, отмечающиеся в течение периода от нескольких десятков минут до нескольких часов, зачастую являются признаком расположения вблизи данного ДМРЛ верхнетропосферного струйного течения со

скоростями ветра, превышающими 100 км/ч (30 м/с), что является важной информацией, особенно для авиационных синоптиков.

Пример На рисунке 6.12 приведены карты ДМРЛ «Великие Луки», на которых 04.02.2018 г. с 00:20 до 01:20 ВСВ отмечались высокие значения скоростей переноса облачности и осадков – от 30 до 40 м/с. Так, в срок 00:30 ВСВ скорость переноса составила 34.2 м/с (Рисунок 6.12, а).

В это время над районом Великих Лук располагалась ветвь струйного течения со скоростями ветра на 300 гПа, превышающими 30 м/с (Рисунок 6.12,б) - Великие Луки указаны красной стрелкой (Интернет - ресурс: <http://weather.uwyo.edu/upperair/uamap.shtml>). По данным АЭ «Великие Луки», на высотах 5 -7 км отмечены скорости ветра 70-80 узлов (~ 35 – 40 м/с) – Рисунок 6.12 в).

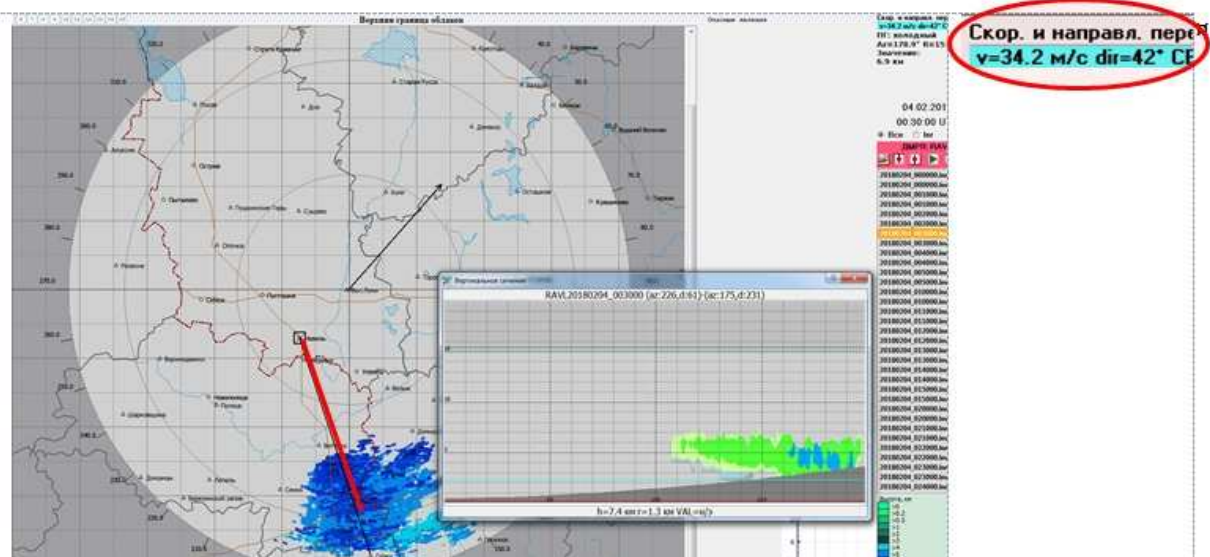
Таким образом, в этом случае вектор переноса был рассчитан по облачности верхнего и среднего ярусов, которая перемещалась со скоростью 35-40 м/с, близкой к скорости ветра на высотах радиоэха облачности.

Примечание. Бывают случаи, когда из-за низкой корреляции параметры вектора переноса облачных систем (азимут Az и скорость V) определить невозможно. При этом значения соответствующих идентификаторов Az и V в BUFR-сообщениях будут состоять **из одних единиц**.

На следующем рисунке 6.12 приведены следующая информация:

- а) - карта Нвго ДМРЛ «Великие Луки» за 04.02.2018 г 00:20 ВСВ с вертикальным разрезом поля отражаемости в направлении Невель - Горки (отрезок красного цвета). Приподнятая облачность с Нвго до 7 км, скорость переноса 34.2 м/с;
- б) - данные АЭ-зондирования на АЭ «Великие Луки» 04.02.2018г. за срок 00 час ВСВ. Красным цветом выделены уровни скоростей ветра свыше 30 м/с, совпадающие с высотами радиоэха облачности;
- в) – карта геопотенциала 300 гПа (модель) с отображением струйных течений. Вблизи г.Великие Луки скорости ветра 30 - 40 м/с (светло-сиреневый цвет)

а)



б)

26477 ULOL Velikie Luki Observations at 00Z 04 Feb 2018

PRES hPa	HGHT m	TEMP C	DWPT C	RELH %	MIXR g/kg	DRCT deg	SKNT knot	THTA K	THTE K	TSTV K
1000.0	85									
998.0	106	-5.7	-6.0	98	2.46	20	4	267.6	274.3	268.0
977.0	271	-5.2	-5.5	97	2.61	55	14	269.8	277.0	270.2
960.0	408	-4.7	-5.1	97	2.74	53	17	271.6	279.2	272.1
925.0	696	-7.3	-9.1	87	2.09	50	23	271.8	277.7	272.2
923.0	713	-7.5	-9.2	87	2.07	50	23	271.8	277.7	272.2
914.0	789	-8.3	-9.9	88	1.98	47	23	271.7	277.4	272.1
896.0	944	-8.3	-9.9	88	2.02	42	22	273.3	279.0	273.6

543.0	4677	-29.9	-42.9	27	0.16	301	46	289.6	290.2	289.6
526.0	4902	-29.5	-42.5	27	0.17	289	50	292.7	293.4	292.8
510.0	5121	-31.5	-44.5	27	0.14	278	54	292.9	293.4	292.9
500.0	5260	-32.5	-44.5	29	0.15	270	56	293.4	293.9	293.4
467.0	5741	-35.5	-48.5	25	0.10	248	65	295.4	295.8	295.4
442.0	6127	-34.9	-47.9	25	0.11	231	72	300.8	301.3	300.9
414.0	6581	-38.8	-49.9	30	0.10	210	80	301.5	301.8	301.5
400.0	6820	-40.9	-50.9	33	0.09	225	80	301.8	302.1	301.8

В)

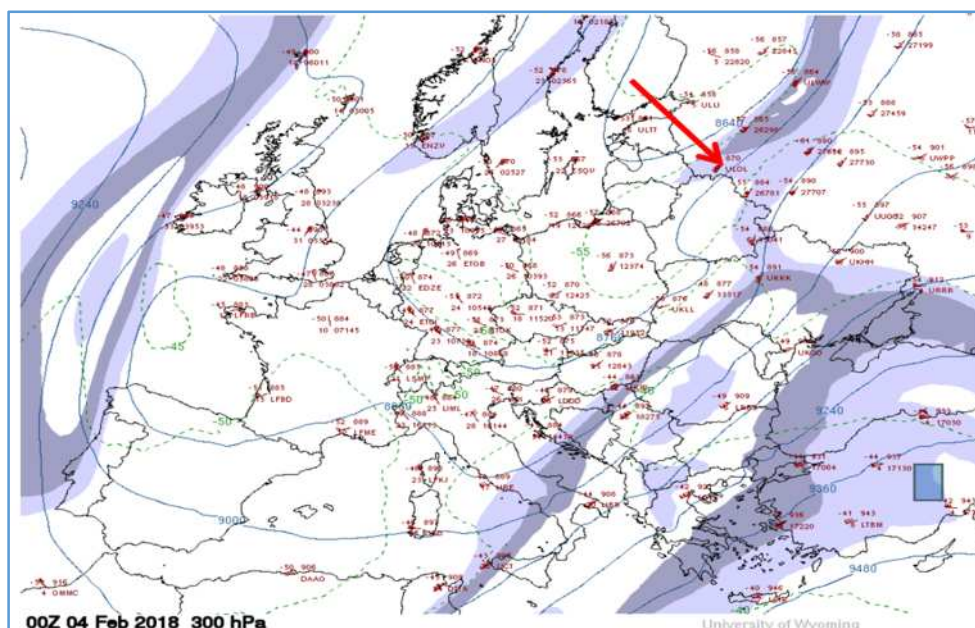


Рисунок 6.12 – Иллюстрация смысла вектора переноса облачных систем и осадков.

6.14 Вертикальный профиль ветра и его временная развёртка

За каждый срок в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» строится карта вертикального профиля горизонтального ветра WP (*Wind Profile*). Осреднение данных проводится по всей зоне радиолокационного обзора.

Пример На рисунке 6.13 а) приведена карта метеоявлений по данным ДМРЛ «Курск» за 12:00 ВСВ 04.10.2019 г., во время прохождения холодного фронта. На рисунке 6.13 б) - графики вертикального профиля скорости (синего цвета) и направления (красного цвета) ветра в этот срок. На рисунок 6.14 приведена карта продукта VWP (*VAD Wind Profile*) – описывающего зависимость вектора горизонтального ветра, восстановленного по алгоритму VAD, от высоты (ось Y) и времени (ось X), т.е. временная развёртка WP за последние 2 часа. Шкала слева на рисунке 6.14. означает погрешность определения скорости ветра в м/с.

Наилучшим образом профили ветра WP и профили, полученные по данным АЭ, совпадают при однородном потоке в зоне радиолокационного обзора ДМРЛ во всей толще тропосферы, содержащей метеообъекты. Иллюстрацией этого служит пример на рисунке 6.13 б, где на графиках профилей скорости и направления ветра, полученных по ДМРЛ «Курск» за 12:00 ВСВ 04.10.2019 г., нанесены крупные точки (красные на профиле скорости и синие на профиле направления ветра) на высотных уровнях, кратных 500 м, до 2 км и кратных 1 км – от 2 до 8 км, полученные по

результатам аэрологического зондирования на АЭ «Курск» за тот же срок. Видно, что профили ветра по данным ДМРЛ и АЭ очень хорошо согласованы.

Вектор переноса на карте метеоявлений в большинстве случаев также согласуется с ветром на высотах 3 - 5 км (на уровне ведущего потока). В приведенном на рисунке 6.13 примере: вектор переноса имеет скорость 18 м/с и направление 222°. Значение средней скорости горизонтального ветра на высотах 3-5 км по данным АЭ составляет примерно 18 м/с, а среднее значение направления – 220°.

Анализ рисунка 6.14 показывает, что в течение 2-х часов до анализируемого срока 12:00 ВСВ скорость ветра на самом нижнем уровне (примерно 250 м) возросла с 5 до 7 м/с; в слое от 250 м до 1 км ветер произвёл левый поворот примерно на 80°. Как известно, левый поворот ветра в приземном слое приводит к адвекции холода [63]. Действительно, на МС аэропорта Курск приземная температура воздуха при прохождении холодного фронта понизилась с 14.7° (в 12 ч МСК) до 9.7 (в 15 ч МСК).

При наличии вихревых процессов часто наблюдается несовпадение значения ветра WP с данными АЭ, поскольку горизонтальный ветер рассчитывается по алгоритму VAD [6,11], предполагающему равные скорости по кругу с центром в месте установки ДМРЛ и не учитывающему неоднородности поля.

6.15 Поле векторов горизонтального ветра (HW)

При нажатой кнопке меню HW на картах, в т. ч. и на карте метеоявлений, отображается дополнительный графический слой – поле векторов горизонтального ветра, которое 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.

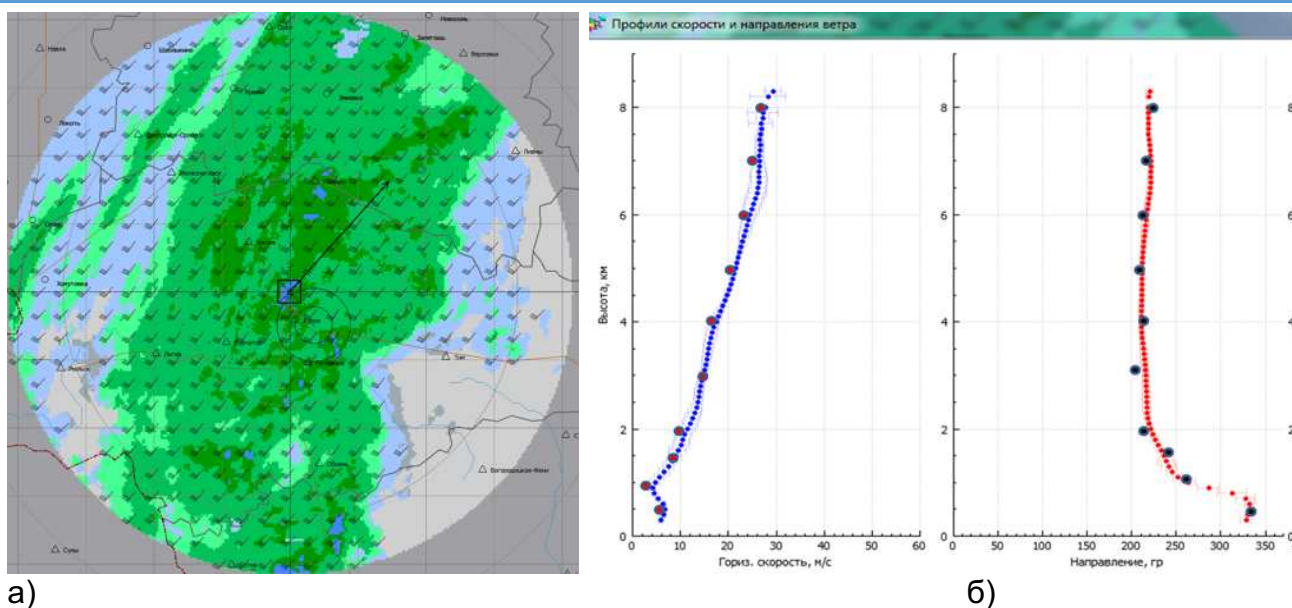


Рисунок 6.13 – а) - Карта метеоявлений по данным ДМРЛ «Курск» за 12:00 ВСВ 04.10.2019 г., б) - графики вертикального профиля скорости (линия синего цвета) и направления ветра (линия красного цвета) в этот срок по ДМРЛ «Курск»; кружки большего размера на графиках рисунка 6.13 б) получены по результатам аэрологического радиозондирования на АЭ «Курск» за тот же срок 12:00 ВСВ 04.10.2019 г.

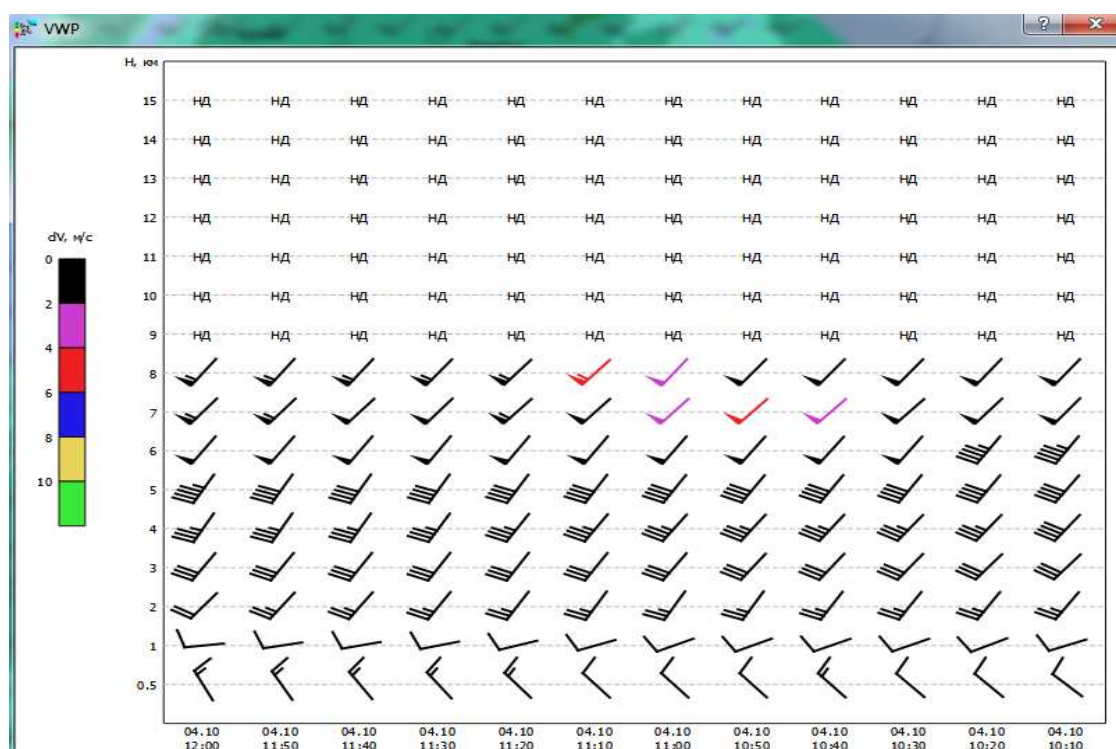


Рисунок 6.14 - Временная развёртка вертикального профиля ветра VWP по данным ДМРЛ «Курск» за 12:00 ВСВ 04.10.2019 г. (нд – «нет данных»)

Как правило, в случае однородного переноса облачности в зоне обзора ДМРЛ характеристики вектора переноса облачности, определённого методом корреляционного анализа, хорошо согласуются и с полем HW.

Пример На рисунке 6.15 а приведена карта метеоявлений за срок 17:50 ВСВ 05.11.2019 г. по данным ДМРЛ «Тамбов» во время прохождения через зону обзора ДМРЛ «Тамбов» холодного атмосферного фронта, с однородным переносом в тропосфере (рисунок 6.15 в). Вектор переноса имеет скорость 23 м/с и направление 39° - перенос происходит на северо-восток. Средние значения скорости векторов поля горизонтального ветра HW на высотах 2 - 4 км (стрелочки с оперением) составляют 20-27 м/с, направления – $210 - 225^\circ$ (перемещение в направлении на северо-восток), т.е. вектор переноса и векторы поля горизонтального ветра HW в среднем совпадают.

При наличии вихревых процессов часто наблюдается несовпадение значений векторов поля горизонтального ветра HW с вектором переноса, поскольку горизонтальный ветер рассчитывается по алгоритму VAD [6,11], предполагающему равные скорости по кругу с центром в месте установки ДМРЛ и не учитывающему неоднородности поля.

Пример На рисунке 6.15 б) приведена карта метеоявлений за срок 10:20 ВСВ 25.12.2018 г. по данным ДМРЛ «Белгород» во время прохождения через зону его обзора центра циклона – в этой ситуации вектор переноса имеет скорость 5.5 м/с и направление переноса 28° (на север-северо-восток), при этом векторы поля горизонтального ветра имеют скорость и направление, отличное от вектора переноса: скорости горизонтального ветра в среднем по полю составляют 13-15 м/с, направление ветра $\sim 115^\circ$, т.е. при вихревых процессах в атмосфере вектор переноса и поле векторов HW в большинстве случаев разнонаправлены – вплоть до противоположных направлений.

Синоптик должен знать особенности получения этих продуктов, чтобы верно их интерпретировать.

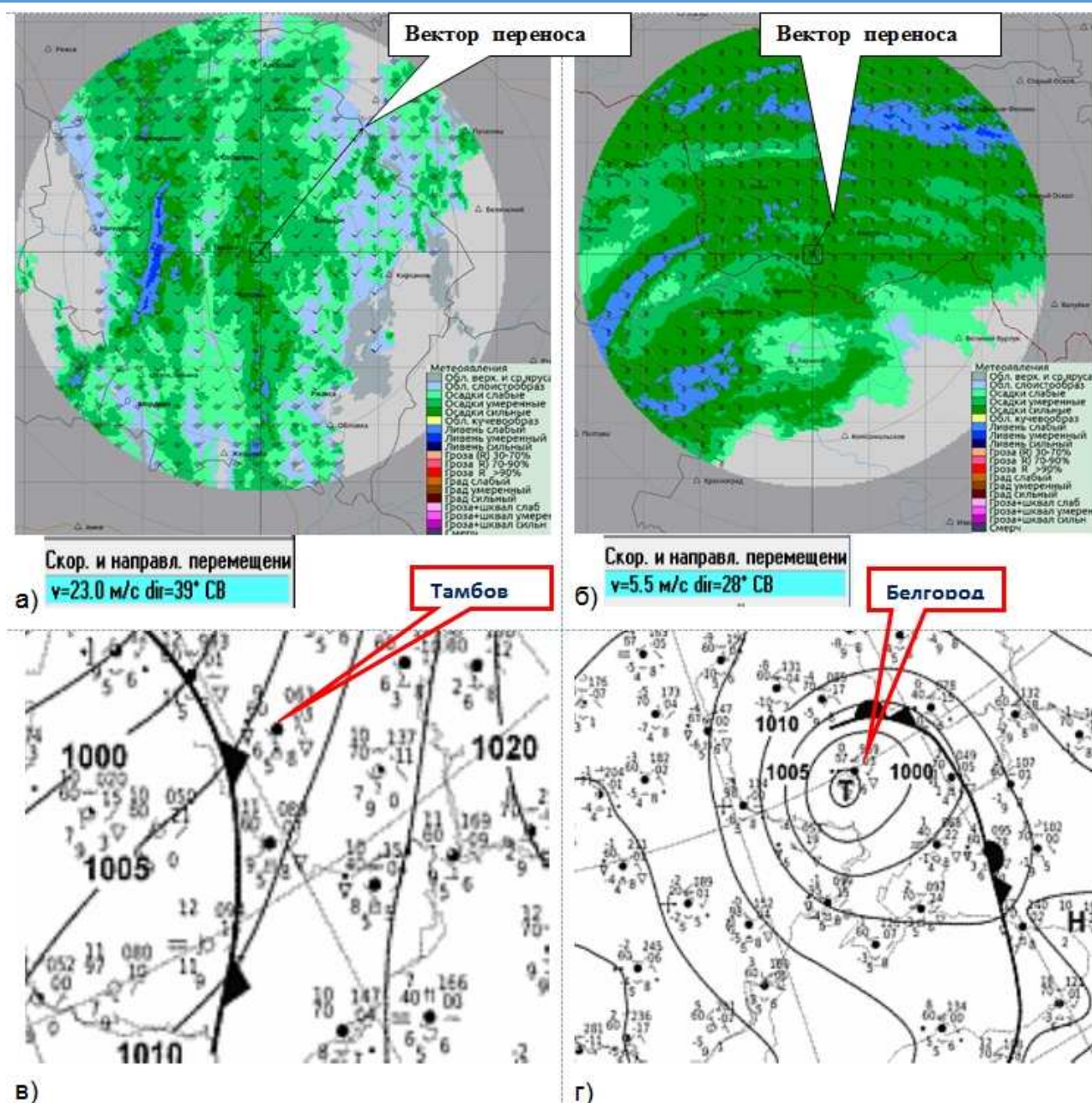


Рисунок 6.15 – а) Совпадение вектора переноса и векторов горизонтального ветра HW за срок 17:50 ВСВ 05.11.2019 г. по данным ДМРЛ «Тамбов» в условиях однородного переноса во всей тропосфере – рисунок 6.15 в) – синоптическая карта за срок 17:50 ВСВ 05.11.2019 г. б) - Несовпадение вектора переноса и векторов горизонтального ветра HW за срок 10:20 ВСВ 25.12.2018 г. по данным ДМРЛ «Белгород» в условиях циклонической циркуляции – рисунок 6.15 г) – синоптическая карта за 12:00 ВСВ 25.12.2018 г.

6.16. Карта дальности видимости в осадках

За каждый срок в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» строится «Карта дальности видимости в осадках» (Видимость в осадках), на которой отображаются значения дальности видимости в осадках у поверхности земли, рассчитываемые по р/л отражаемости на уровне измерения осадков Z_1 . Для расчётов используются графики зависимости

видимости от интенсивности жидких и твёрдых или смешанных, приведённые в [46, 47, 58]. На картах использованы 5 градаций видимости, соответствующих градациям шкалы видимости из Наставления [31]: менее 500 м, от 500 м до 1 км, от 1 км до 2 км, от 2 до 4 км, от 4 до 10 км.

Пример На рисунке 6.16 приведены: пример карт метеоявлений в тёплый период (рисунок 6.16 а) и видимости в осадках (6.16 б); а также аналогичные карты для зимнего периода года (рисунки 6.16 в и г). При одинаковых значениях отражаемости Z в снеге дальность видимости существенно ниже, чем в дожде, в силу меньшей «радиопрозрачности» твёрдых осадков по сравнению с жидкими.

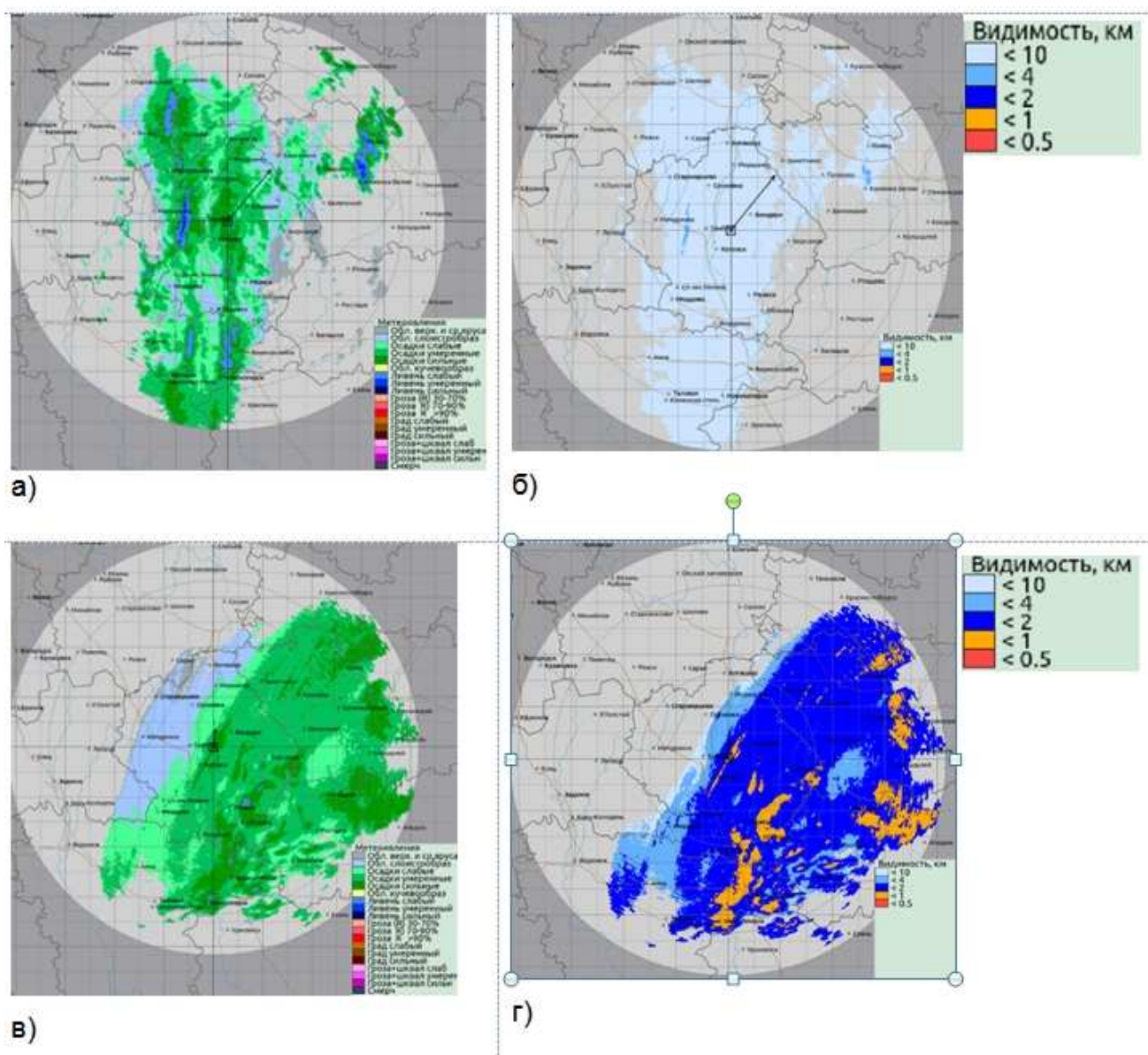


Рисунок 6.16 а) - Метеоявления в тёплый период; б) - видимость в осадках для этого случая; в) - метеоявления в зимний период; г) - видимость в осадках для зимнего случая.

6.17 Карта зон возможного обледенения

На карте ДМРЛ «Обледенение» отображаются зоны возможного «слабого», «умеренного» или «сильного» обледенения. Обледенение для самолётов с дозвуковыми скоростями возможно, главным образом, в переохлаждённых капельных (или смешанных) облаках, зонах мороси, мокрого снега, переохлаждённого дождя за счёт их столкновения с поверхностью самолёта и замерзания на ней [46,47]. Обледенение ВС определяется не только водностью и температурой облаков, размерами капель, но и аэродинамическими характеристиками ВС, скоростью и временем полёта его в зоне вероятного обледенения. Поэтому с помощью данного продукта можно оценить только потенциальную возможность обледенения.

В 2016 г. в состав ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» в экспериментальном порядке включён продукт «Карта зон возможного обледенения» («Обледенение»). С учётом выводов, изложенных, в частности, в [30], расчёт обледенения проводится по величине VIL в высотном слое между изотермами 0°C и -15°C . Карта строится от ДМРЛ до дальности, на которой нижний луч радиолокатора пересекает высоту нулевой изотермы. Поэтому, в тёплый период года при высокой N_0 карта возможных зон обледенения может охватывать всю зону обзора ДМРЛ, а в холодный и переходный периоды, период, когда N_0 близка к поверхности земли, карта зон возможного обледенения строится в радиусе до 100 км от ДМРЛ.

Пример На рисунке 6.17 приведены карты ДМРЛ «Великие Луки» за 19:30 ВСВ 08.08.2019 г.: метеоявлений (а), зон возможного обледенения (б), шкалы степени обледенения (в), слоя возможного обледенения (г), который можно оценить по графику расположения изотерм 0°C и -15°C , размещающегося справа от карты зон возможного обледенения.

Результат оценки зон обледенения визуализируется в виде «плоской» карты зон возможного обледенения с градациями "слабое", "умеренное", "сильное".

Высотный слой на рисунке 6.17 г) между красной линией (изотерма 0°C) и голубой линией (изотерма -15°C) - слой, по которому рассчитывается степень обледенения и в котором обледенение наиболее вероятно.

Синоптик, глядя на карту зон возможного обледенения, должен понимать, что в выделенных на карте зонах вероятность обледенения будет максимальна в высотном слое от 0°C до -15°C , в данном примере – в слое 3 – 6 км.

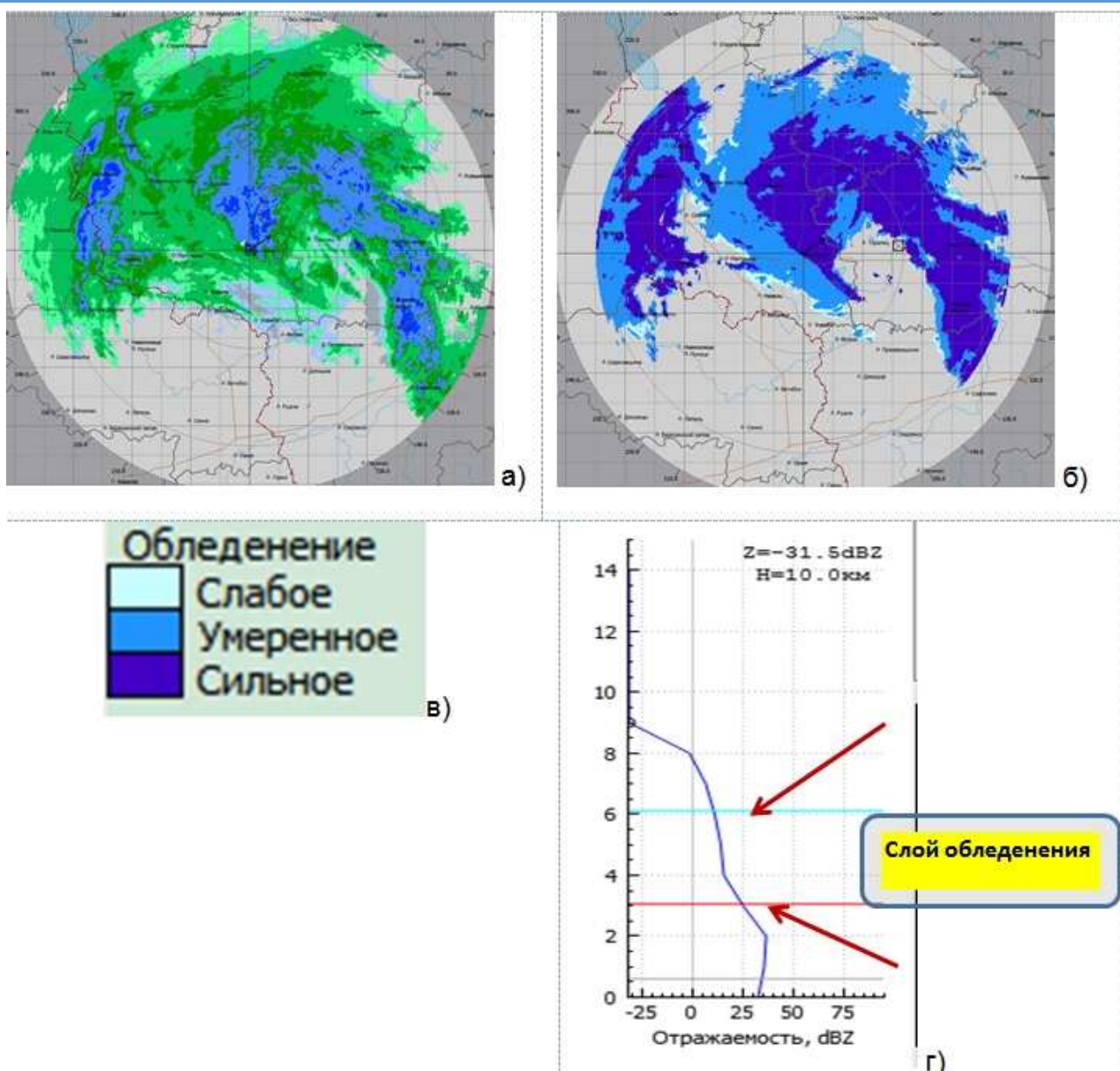


Рисунок 6.17 Карты ДМРЛ «Великие Луки» за 19:30 ВСВ 08.08.2019 г.:
а) Метеоявления, б) - зоны возможного обледенения, в) - шкала степени обледенения,
г) - слой возможного обледенения.

7 Визуализация радиолокационной метеоинформации

7.1 Отображение р/л метеоинформации на экране УУВК и АП радиолокатора ДМРЛ-С

При работе с информацией ДМРЛ на УУВК (с программой UVK) или абонентском пункте (АП) - с программой UVKAbon - синоптик получает доступ ко всему комплексу информации данного радиолокатора. В обоих случаях для отображения информации используется ПО «ГИМЕТ-2010» [5 10].

Программное обеспечение, установленное на АП, осуществляет приём и отображение файлов от УУВК, с представлением информации в виде карт распределения метеообъектов и их радиолокационных характеристик с соблюдением цветовых градаций и принятых обозначений метеоявлений.

Рабочее окно АП ДМРЛ имеет следующие опции:

- главное меню;
- инструментальная панель;
- функциональные кнопки;
- главное окно с отображаемыми картами метеоявлений;
- окно вертикального профиля отражаемости;
- окно условных цветов и градаций.

Инструментальная панель даёт возможность получать необходимую информацию как за определённый срок наблюдения, так и в режиме анимации. Просмотр файлов в режиме анимации позволяет проследить за эволюцией и перемещением облачных систем и опасных явлений, связанных с ними.

Для оптимального использования информации ДМРЛ рекомендуется выполнение следующих действий:

1) Перед началом работы - уточнить разрешение получаемых радиолокационных карт. На АП возможно установить одно из пространственных разрешений - 1х1, 2х2, 4х4 км. Оно устанавливается на УУВК данного ДМРЛ, исходя из характеристик каналов связи между ним и АП. Рекомендованным разрешением является 1х1 км, т.к. в нем применяются цифровые фильтры, улучшающие качество информации, и сохраняется оптимальная физическая взаимосвязь между метеоявлениями и другими характеристиками облачности;

2) Дважды в сутки, после поступления аэрологической информации в 00:00 и 12:00 ВСВ, проверять в меню «Окна» - «Параметры обзора» объективность введённой информации, касающейся:

- высот изотерм 0°C, -15°C, -22°C, нижней границы тропопаузы, обновляемых автоматически по данным ближайшего к ДМРЛ пункта аэрологического зондирования;
- приземной температуры воздуха, получаемой каждые 3 часа по данным ближайшей к ДМРЛ наземной метеорологической станции;
- периода года (тёплый, переходный, холодный), определяемого по значениям приземной температуры (T_{ground}) и высоты нулевой изотермы $H_{0^{\circ}\text{C}}$.

К тёплому периоду относятся все случаи с: $T_{\text{ground}} > 3^{\circ}\text{C}$ и $H_{0^{\circ}\text{C}} > 0,5$ км; холодным считается период, когда $T_{\text{ground}} < -1^{\circ}\text{C}$ и $H_{0^{\circ}\text{C}} \leq 0,2$ км; в остальных случаях период года

идентифицируется как переходный. При этом в качестве $H_0^{\circ}\text{C}$ выбирается высота самой высокой нулевой изотермы, если их наблюдается несколько (в случаях наличия инверсионных слоёв).

В случае обнаружения ошибок в перечисленных данных метеоролог должен сообщить об этом в НТЦР ДМРЛ ФГБУ «ЦАО» (эл.почта: dmrl@list.ru, телефон: (495) 408-6113, (495) 408-7719), т.к. использование некорректных данных может привести к неправильной автоматической идентификации метеоявлений.

Работа синоптика с радиолокационными данными осуществляется через интерфейс ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», где ему доступны продукты, описанные в разделах 5 - 6.

В оперативной работе синоптика наиболее информативными и востребованными являются карты метеоявлений, высоты верхней границы облачности, интенсивности осадков и накопленных сумм осадков. Эти карты позволяют синоптику быстро оценить метеорологическую обстановку и проследить её эволюцию через каждые 10 минут. В отдельных случаях, наряду с отражениями от гидрометеоров, на р/л картах может появляться радиоэхо от неметеорологических отражателей, таких как радиопомехи, отражения от «местников», отражения в условиях аномальной рефракции, и др. Если у пользователя возникают сомнения в адекватности отображаемой картины, необходимо обратиться к первичным радиолокационным данным (картам горизонтальных сечений Z и вертикальных разрезов Z_h , ρ_{hv} , V_r , W). Отличить метеорологические объекты от «шума» позволяет карта "Модуль коэффициента кросскорреляции" (ρ_{hv}). Выявление объектов на карте ρ_{hv} со значениями менее 0,7 указывает на их неметеорологический характер - это может быть результат сверхрефракции, отражения от «местников», помех (см. раздел 10).

7.2 Представление информации сети ДМРЛ в Веб-ГИС «МЕТЕОРАД»

Практика использования радиолокационной метеоинформации оперативными подразделениями Росгидромета показала, что её информативность многократно возрастает при создании композитных радиолокационных карт. У специалиста при этом появляется возможность наблюдения в режиме квазиреального времени (с темпом обновления информации 10 минут) процессов синоптического масштаба (циклонов, атмосферных фронтов, линий шквалов, зон осадков), использования радиолокационной информации для уточнения сверхкраткосрочного прогноза погоды

и повышения заблаговременности штормовых предупреждений, предупреждений по аэродрому, предупреждений о сдвиге ветра.

Разработанная в ФГБУ «ЦАО» Программная система (ПС) Веб-ГИС «МЕТЕОРАД» [21] обеспечивает отображение в веб-браузере на ПК, подключённом к сети Интернет, на единой картографической основе метеорологической радиолокационной информации, полученной от всех введённых в эксплуатацию и прошедших метеорологическую адаптацию ДМРЛ сети Росгидромета, с возможностью изменения масштаба отображения карт (от территории РФ до зоны обзора отдельного ДМРЛ). В Веб-ГИС для отображения используется наклонная стереографическая проекция.

Полный доступ к Веб-ГИС «МЕТЕОРАД» предоставляется зарегистрированным пользователям системы Росгидромета, для получения доступа организациям Росгидромета необходимо обратиться с официальным письмом в ФГБУ «ЦАО».

7.2.1 Пользователи Веб-ГИС «МЕТЕОРАД» в режиме реального времени имеют доступ к следующей информации:

- объединённым картам метеоявлений (S), высоты верхней границы облачности (H), интенсивности осадков (SRI) с пространственным разрешением 1x1 км;
- архиву объединённых карт сети ДМРЛ продолжительностью около 2 лет;
- картам S, H, SRI отдельных ДМРЛ сети Росгидромета за последние 24 часа,
- картам S, H, SRI радиолокаторов МРЛ-5 сети военизированных служб Росгидромета на Северном Кавказе,
- графику поступления информации от ДМРЛ сети Росгидромета в Архив [21].

Пользователи имеют возможность на объединённых картах ДМРЛ:

- определять географические координаты и значения радиолокационных параметров под курсором;
- измерять расстояния между любыми пунктами на карте с учётом кривизны Земли;
- накладывать на радиолокационные карты отметки молниевых разрядов, зарегистрированных в течение соответствующего 10-минутного интервала времени следующими ГПС: «АЛБЕС» (ГГО), Вайсала-Нальчик LS-8000 (ВГИ и НИЦ «Планета»), WWLLN (США), нажав кнопку R;
- накладывать на радиолокационные карты спутниковые снимки облачности в ИК-диапазоне по территории РФ, предоставляемые НИЦ «Планета»;
- строить вертикальные разрезы объединённого поля р/л отражаемости по произвольному направлению с возможностью получения значения Z на разрезе и с контролем положения курсора на объединённой карте;
- работать с архивом объединённых карт сети ДМРЛ Росгидромета;
- анализировать развитие метеорологической ситуации во времени в режиме анимации.

Краткую справку по Веб-ГИС «МЕТЕОРАД» можно вызвать кнопкой , расположенной в правом верхнем углу карты.

На рисунке 7.1 приведены примеры объединённых карт метеоявлений для ЕТР с наложением спутниковой (а) и грозопеленгационной (б) информации и построенным вдоль линии А-Б вертикальным разрезом Z.

7.2.2 На рисунке 7.2 представлен вид окна меню «Карты» сайта Веб-ГИС «МЕТЕОРАД», в котором зарегистрированному пользователю предоставляется доступ к следующей информации:

- объединённой интерактивной карте сети ДМРЛ (рисунок 7.3),
- объединённой карте данных в коде BUFR (рисунок 7.4),
- объединённой карте сетей ДМРЛ и BALTRAD (рисунок 7.5),
- анимированной объединённой карте метеоявлений ДМРЛ на ЕТР за последние 3 часа (в форматах GIF и APNG) (рисунок 7.6),
- картам отдельных ДМРЛ, прошедших метеoadaptацию и введённых в эксплуатацию приказами соответствующих УГМС (рисунок 7.7),
- объединённым картам МРЛ-5 сети военизированных служб Росгидромета на Северном Кавказе.

7.2.3 Кнопкой меню «Объединённая карта сети ДМРЛ» вызывается объединённая карта сети «Метеоявления» в реальном времени, рисунок 7.3.

На правой нижней панели карты для обновления карт необходимо установить флажок «автоматическое обновление». Стрелками «↑», «↓», «→», «←» на клавиатуре можно перемещать области обзора карты, кнопками «+» и «-» в левом верхнем углу карты – изменять масштаб карты. Кнопками «<» и «>» в правой нижней панели карты можно перемещаться по архиву назад или, соответственно, вперёд.

7.2.4 На картах нанесена сетка параллелей и меридианов через 5 градусов. В правом нижнем углу под курсором указываются текущие координаты точки. Для разворота карты вокруг центра необходимо зажать клавиши «alt» и «shift» на клавиатуре и, зажав левую кнопку мыши, повернуть карту мышью.

7.2.5 В настоящее время в Веб-ГИС «МЕТЕОРАД» отображаются объединённые карты трёх вторичных продуктов: «Метеоявления», «Интенсивность осадков», «Высота ВГО», для переключения между которыми можно использовать клавиши, соответственно, (S), (R) и (H).

7.2.6 На перечисленные р/л карты можно наложить карту плотности облачного покрова (рисунок 7.1 а), поступающую каждый час из НИЦ «Планета» по данным

наблюдений 6-ти геостационарных ИСЗ в ИК-диапазоне. Для наложения используется кнопка «**Sat**» в левом верхнем углу карты.

7.2.7 На объединённой р/л карте любого продукта можно построить вертикальное сечение поля радиолокационной отражаемости Z между произвольными точками. Для этого левой кнопкой мыши необходимо нажать кнопку «**VC**» в левом верхнем углу карты, затем появившийся круглый курсор подвести мышью к первой точке предполагаемого вертикального разреза, щёлкнуть левой кнопкой мыши, затем мышью (без нажатия кнопок) провести линию, вдоль которой необходимо построить разрез, и вновь щёлкнуть левой кнопкой мыши. На разрезе отобразятся значения Z вдоль линии разреза, причём в любой точке разреза можно видеть значение Z , удаление этой точки от начальной, высоту. На рисунке 7.1 а) представлен пример карты с сайта «Метеорад» с вертикальным разрезом (жёлтая линия) вдоль фронта.

7.2.8 На любую карту Веб-ГИС «Метеорад» можно наложить данные 3-х систем грозопеленгации: WWLLN, Vaisala, Алвес за предшествующий сроку наблюдений 10-мин интервал времени. На рисунке 7.1 б) показана карта метеоявлений с активированными данными грозопеленгаторов (отметки грозовых разрядов покрывают всю область фронта с грозами, показанными на рисунке 7.1 а).

7.2.9 На любой объединённой карте можно измерить расстояние между любыми двумя точками. Для этого с помощью кнопки с изображением линейки  левой клавишей мыши активируется режим измерения расстояний, затем появившийся круглый курсор надо подвести мышью к первой точке, щёлкнуть левой кнопкой мыши, затем мышью (без нажатия кнопок) провести линию, вдоль которой необходимо измерить расстояние, и вновь щёлкнуть левой кнопкой мыши.

7.2.10 В Веб-ГИС «Метеорад» предусмотрен режим анимации – для этого нужно включить кнопку «|>» на правой нижней панели. Для остановки анимации следует использовать кнопку . В архиве необходимо выбрать срок начала анимации, установить на него курсор и нажать кнопку  для начала анимации. Анимация прекращается или при нажатии на кнопку , или при достижении последнего срока, за который на Веб-ГИС «Метеорад» поступили карты, или при достижении последнего за сутки срока (23:50 ВСВ).

7.2.11 На объединённой карте интенсивности осадков (рисунок 7.8) можно видеть области наиболее интенсивных осадков (в соответствии со шкалой в левом нижнем

углу карты) и их перемещение, в соответствии с векторами переноса.

7.2.12 На объединённой карте $H_{\text{вг}}$ (рисунок 7.9) можно выявить области наибольшего вертикального развития облачности, со значениями $H_{\text{вг}}$ более 12 км, а также их перемещение (векторы всех ДМРЛ в зоне фронта на рис. 7.8 - 7.9 показывают перемещение примерно вдоль линии фронта - на северо-восток).

7.2.13 В строке меню Веб-ГИС «МЕТЕОРАД»: «Карта метеоявлений» представлена анимация карт метеоявлений за последние 3 часа (рисунок 7.6).

7.2.14 В строке меню Веб-ГИС «МЕТЕОРАД» «Радиолокационные карты метеоявлений, интенсивности осадков, высоты верхней границы облачности по информации ДМРЛ» (рисунок 7.7) представлены карты отдельных ДМРЛ – метеоявлений, интенсивности осадков и $H_{\text{вг}}$ за последние 24 часа с возможностью перемещения по архиву кнопками «<» и «>», с временным шагом 10 минут.

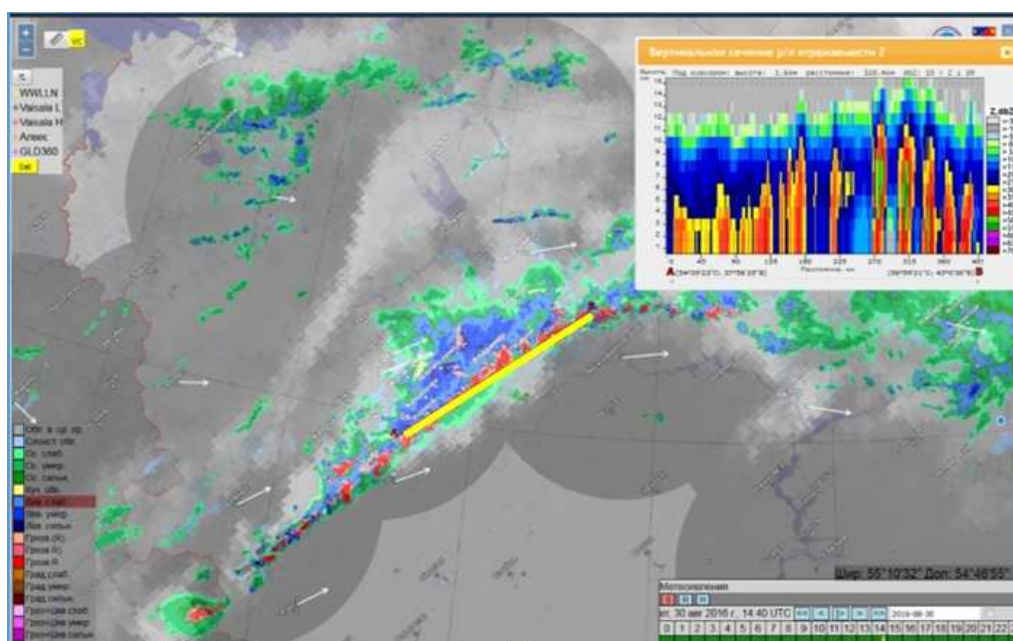


Рисунок 7.1а Объединенная карта Веб-ГИС «МЕТЕОРАД» метеоявлений на ЕТР за 30 августа 2016, 14:40 ВСВ, построенная по данным наблюдений сети ДМРЛ, с наложением спутниковой информации и построенным вдоль линии А-Б (жёлтая линия) вертикальным разрезом поля радиолокационной отражаемости (Z).

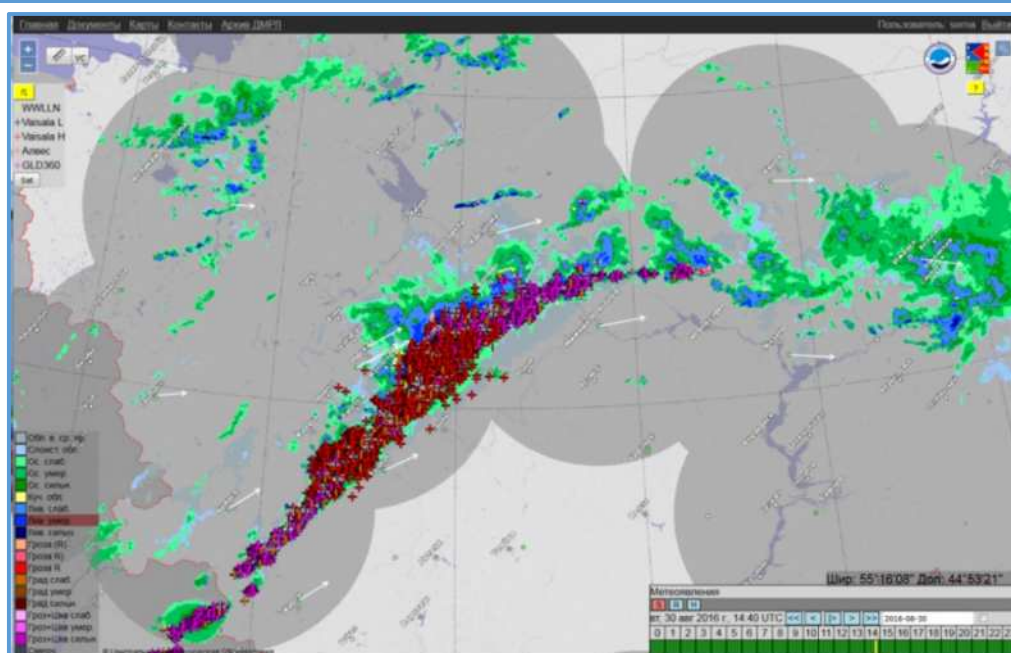


Рисунок 7.1 б) То же, что и на рис. 7.1а, но с наложением на данные ДМРЛ грозопеленгационной информации (кресты – отметки молниевых разрядов за последние 10 минут по данным различных ГПС).

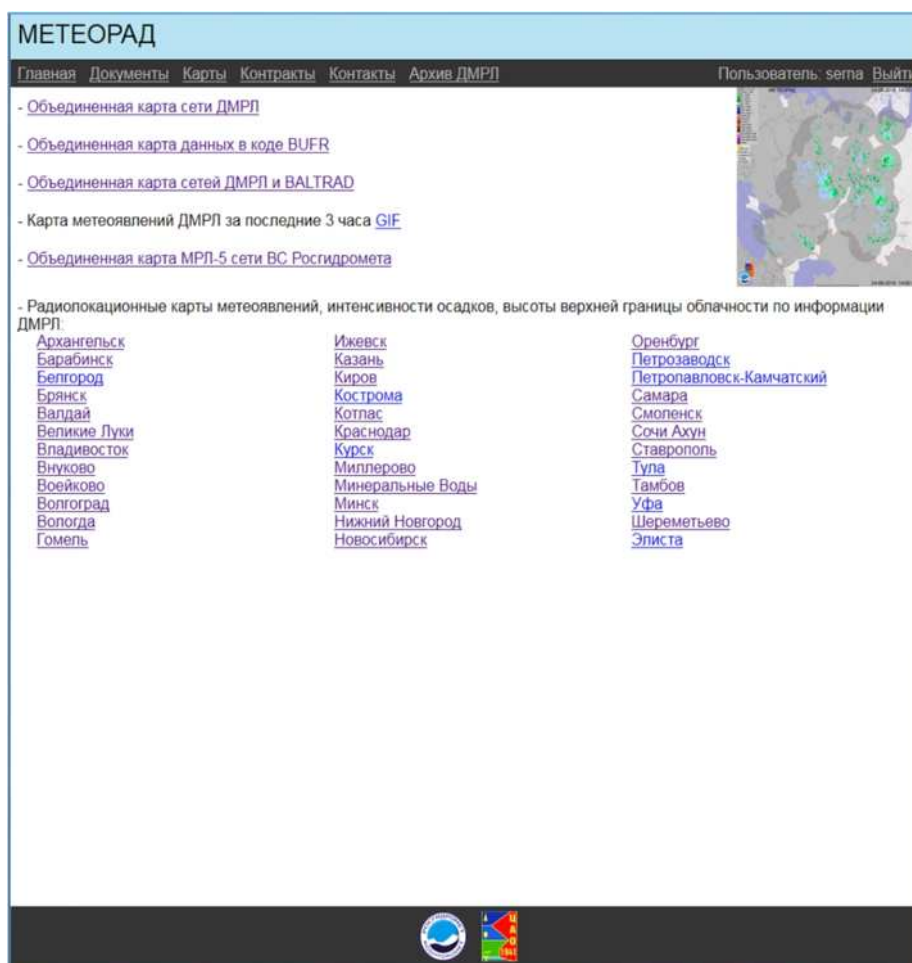


Рисунок 7.2 - Окно меню «Карты» Веб-ГИС «МЕТЕОРАД»

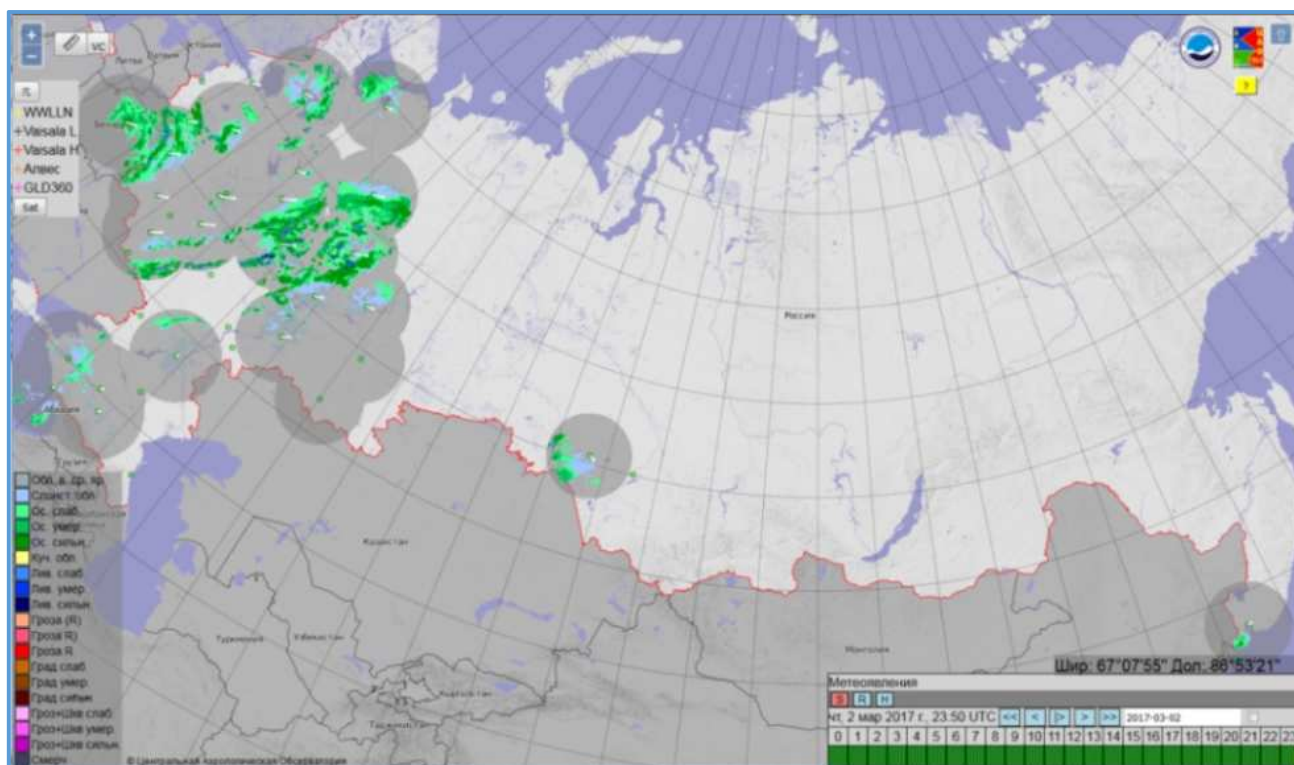


Рисунок 7.3 - Объединённая интерактивная карта сети ДМРЛ (метеоявления)

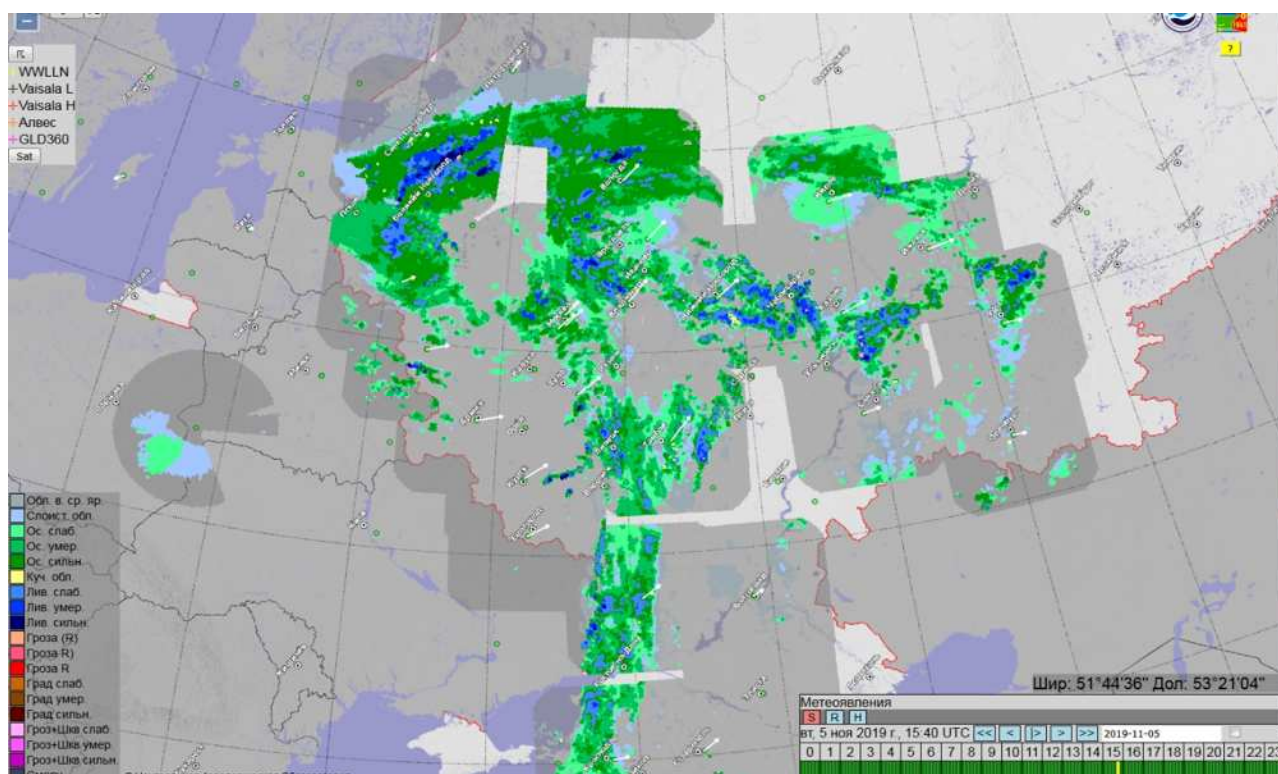


Рисунок 7.4 - Фрагмент объединённой карты в коде BUFR (метеоявления)

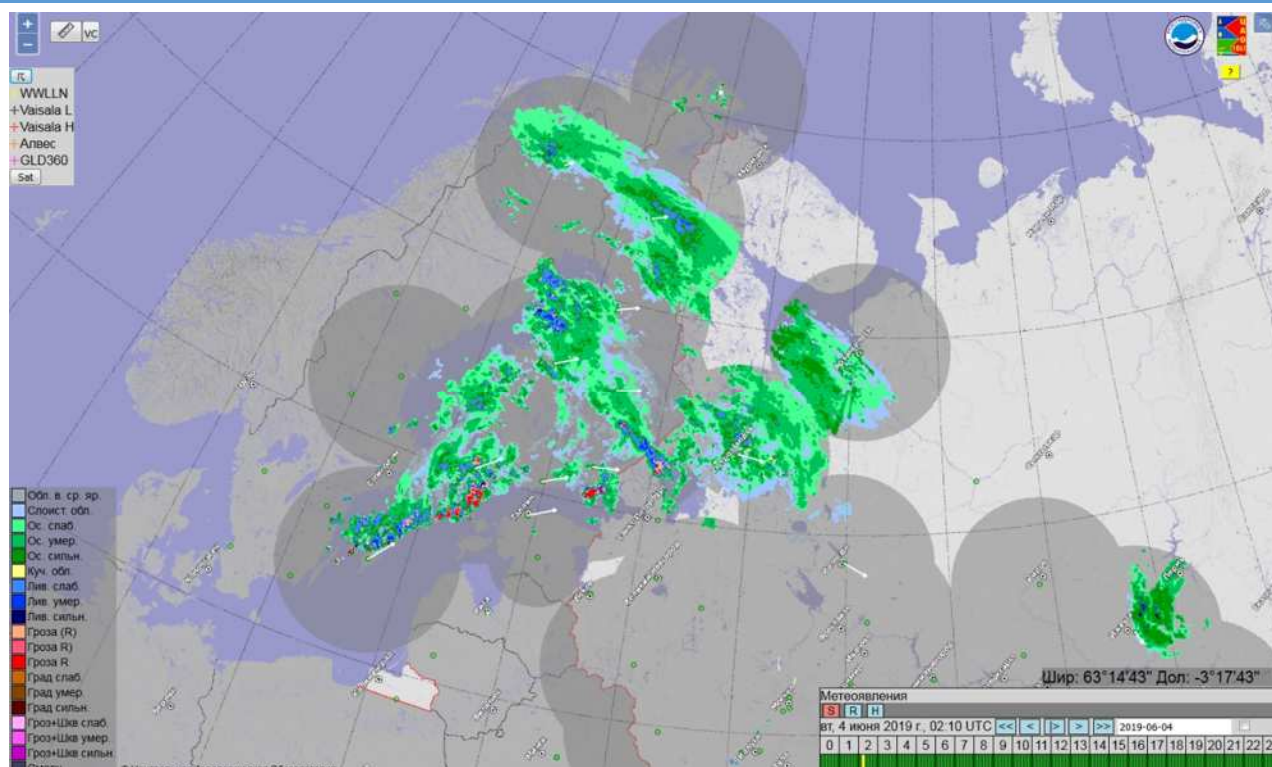


Рисунок 7.5 – Фрагмент объединённой карты метеоявлений сетей ДМРЛ и БАЛТРАД

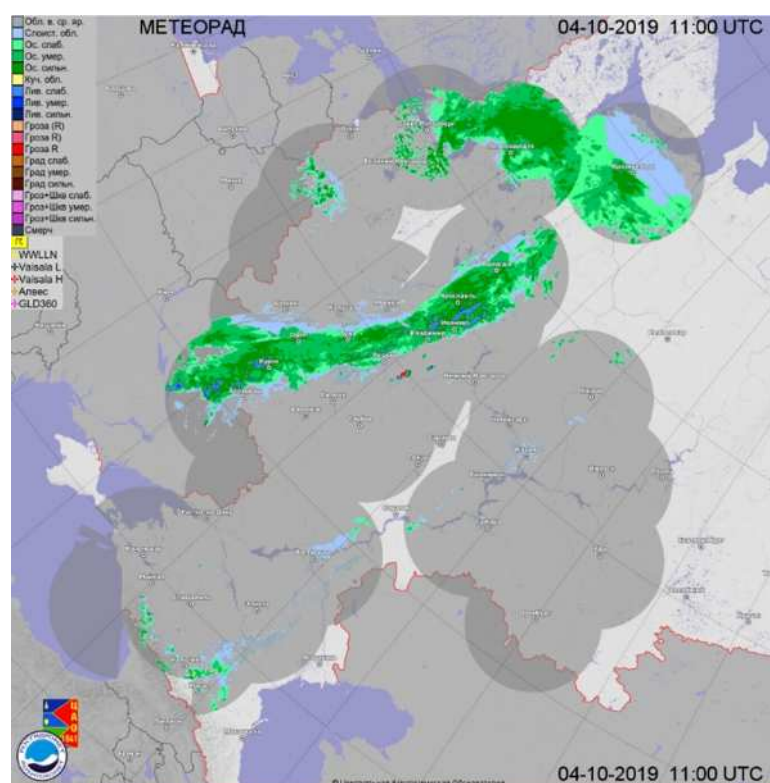


Рисунок 7.6 - Анимированная карта метеоявлений за последние 3 часа



Рисунок 7.7- Карта ДМРЛ «Великие Луки» за срок 08:50 ВСВ 16.11.2019

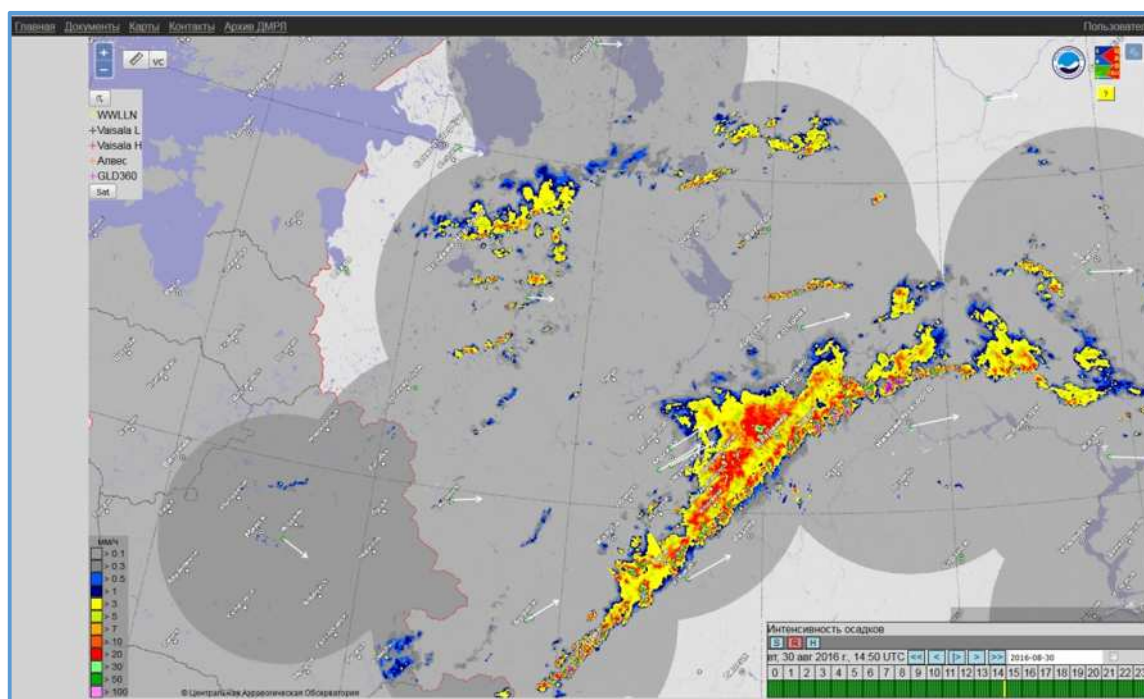


Рисунок 7.8 - Объединённая карта интенсивности осадков за 14:50 ВСВ 30.08.2016

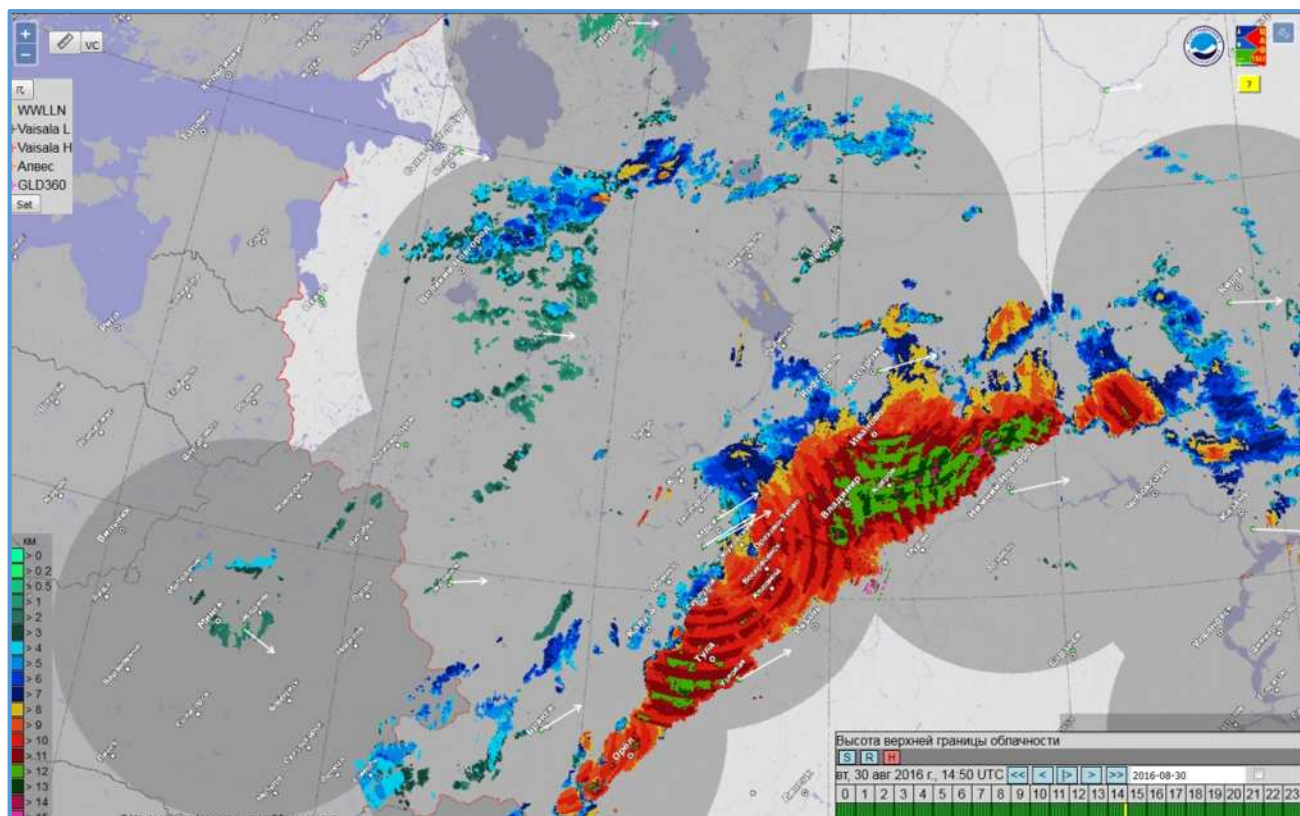


Рисунок 7.9 - Объединённая карта H_{vro} за 14:50 ВСВ 30.08.2016

7.3 Представление информации ДМРЛ на РС «Марс» и ПК «ГИС Метео»

Информация ДМРЛ, как и АМРК, входящих в наблюдательную сеть Росгидромета, передаваемая по сети АСПД в коде BUFR с пространственным разрешением 4x4км, может отображаться на рабочей станции (РС) «МАРС», производства ЗАО «ИРАМ», широко используемой авиационными метеорологами, а также на персональных компьютерах оперативных подразделений Росгидромета с установленной ВЕБ-ГИС системой «ГИС Метео», производства НПЦ «МЭП МЕЙКЕР», при наличии компоненты «Радар».

В РС «МАРС» отображаются объединённые карты радиолокационных характеристик облачной атмосферы, ведётся оперативный архив. Имеется возможность изменять масштаб отображения, получать координаты и цифровые значения параметров в точке под курсором, проводить вертикальные разрезы поля р/л отражаемости по выбранному направлению. Информация о возможностях РС «МАРС» содержится на сайте http://iram.ru/iram/all_main.php?js=1&list_par=12-0 ООО «ИРАМ»

В ПК «ГИС Метео» с установленной компонентой «Радар» доступны следующие объединённые радиолокационные карты:

- метеоявления и тип облачности;
- высота верхней границы радиоэха;
- интенсивность и суммы осадков за 1, 3, 6, 12, 24 ч .;
- горизонтальная р/л отражаемость по слоям (0-1, 1-2, ..., 10-11 км).

Эту информацию можно накладывать на другие карты: карту приземной погоды с синоптическим анализом, поля геопотенциала и др., изменять масштаб отображения.

8 Использование радиолокационной метеоинформации в синоптической практике

Успешное использование данных сети ДМРЛ для анализа синоптической обстановки и разработки прогнозов погоды должно осуществляться синоптиком в составе всего комплекса доступной фактической и прогностической метеорологической информации: синоптической, аэрологической, спутниковой.

К достоинствам радиолокационных метеорологических наблюдений следует отнести уникальную возможность проведения мониторинга облачной атмосферы на большой территории с относительно высоким пространственным разрешением в режиме, близком к режиму реального времени. Однако необходимо учитывать, что радиолокационный метод имеет ограничения, подробно рассмотренные в [1, 2, 5, 10, 29], поэтому информация об ОЯ, получаемая с помощью ДМРЛ, имеет вероятностный характер, особенно на краях его зоны обзора. В таблице 8.1 приведены «максимально возможный» ($R_{\max}$) и «эффективный» ($R_{\text{эф}}$) радиусы обнаружения облаков и связанных с ними явлений на ДМРЛ в тёплый период года, подтверждённые в ходе работы с информацией ДМРЛ. В холодный и переходный периоды года значения $R_{\max}$ и $R_{\text{эф}}$ ниже, чем в тёплый. Под «эффективным радиусом» понимают расстояние, на котором ДМРЛ обнаруживает облака и явления с достаточно высокой вероятностью (более 80%). Перечень радиолокационных продуктов, используемых в оперативной практике для составления краткосрочных прогнозов на срок до 12 часов, подробно изложен в разделе 3 «Инструкции...» [26].

Таблица 8.1 Метеообъекты и радиусы их обнаружения с помощью ДМРЛ в тёплый период года

Радиолокационная информация	Максимально возможный радиус, $R_{\max}$, км	Эффективный радиус, $R_{\text{эф}}$, км
Облака: - прослойки и границы (кроме нижней границы облаков с выпадающими осадками);	250	200

скорость и направление перемещения;	250	125
Осадки, связанные с кучево-дождевыми и слоисто-дождевыми облаками:		
- тип осадков (ливневой, обложной);	250	100
- мгновенная интенсивность осадков;	250	100
- накопленная сумма осадков;	250	100
Опасные явления, связанные с кучево-дождевыми облаками:		
- вид явления (град, гроза, шквал);	250	220
- верхняя граница облаков;	250	250
Доплеровская скорость ветра	250	125

8.1 Опасные явления погоды на картах ДМРЛ в различных ситуациях

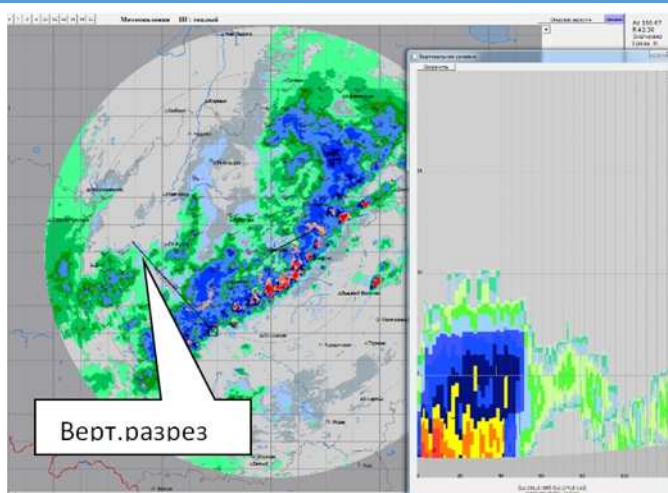
Карты метеоявлений, Нвго, интенсивности осадков и их накопленных сумм позволяют синоптику оценить обстановку, соотнеся метеоявления на карте с синоптической ситуацией, и наблюдать в режиме реального времени за развитием ситуации: фиксировать возникновение зон опасных явлений, следить за их развитием и перемещением.

8.1.1 Зоны ОЯ на основных фронтах по картам ДМРЛ

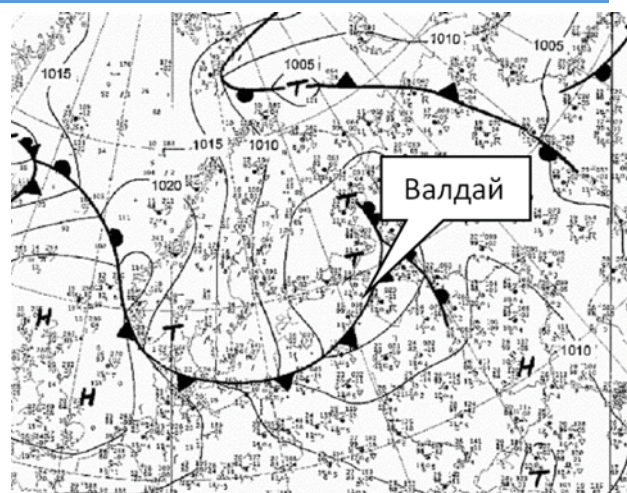
Холодный фронт Линия холодного фронта на ДМРЛ, как правило, четко выражена, облачность и осадки располагаются за ней. При прохождении быстро перемещающихся холодных фронтов летом выпадают преимущественно ливневые осадки, часто отмечаются грозы.

На рисунке 8.1 приведены карты ДМРЛ «Валдай» 19.07.13 г. при прохождении холодного участка фронта (рисунок 8.1 а). Вдоль всей линии фронта на карте метеоявлений (рисунок 8.1 а) наблюдается цепь гроз. Вертикальный разрез поперёк линии фронта (рисунок 8.1 а) показывает шлейф приподнятой облачности среднего и верхнего ярусов, расположенной в зафронтальной зоне, после массива Сб. Приведены также карты интенсивности осадков, Нвго, суммы осадков.

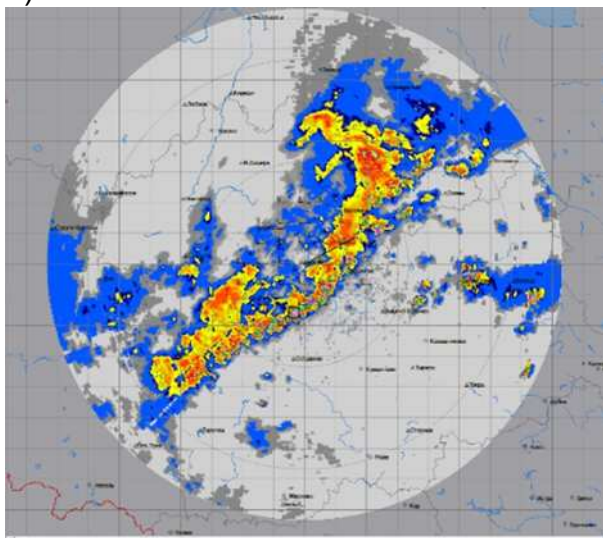
Интенсивность ливневых осадков за линией фронта (рисунок 8.1 в) превышает 80 мм/ч. Наибольшая Нвго (рисунок 8.1 г) достигает 12 км. На карте сумм осадков (Q), измеренных за 12 часов (рисунок 8.1 д), прослеживается несколько полос с максимальным количеством осадков – до 70 мм.



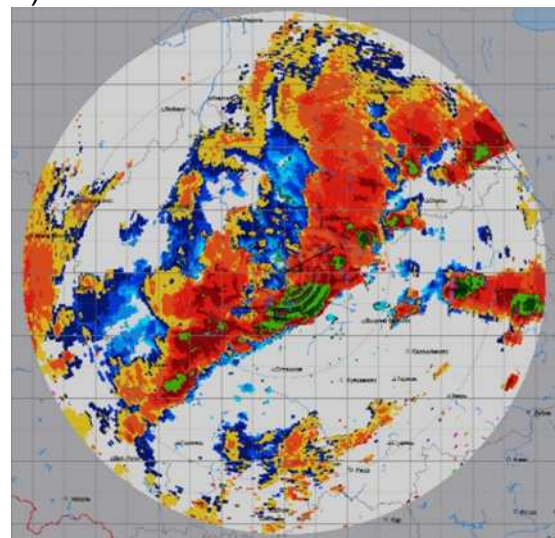
а)



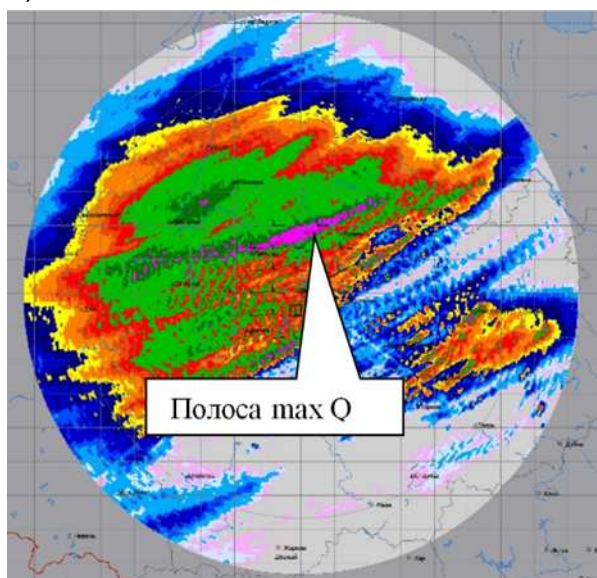
б)



в)



г)



д)

Рисунок 8.1 Прохождение холодного фронта 19.07.2013 11:30 ВСВ, сопровождающегося грозами по всей линии фронта по данным наблюдений ДМРЛ «Валдай».

На рисунке:

- а) карта метеоявлений ДМРЛ,
- б) карта приземного анализа.
- в) карта интенсивности осадков,
- г) карта $H_{вг}$,
- д) карта накопленной суммы выпавших осадков за 12 часов.

При прохождении очень быстро перемещающихся холодных фронтов (второго рода) конвективные процессы выражены наиболее сильно – их прохождение сопровождается сильными шквалами, грозами, градом.

Пример В качестве примера быстро смещающегося холодного фронта можно привести холодный фронт на ЕТР 29 мая 2017 г, двигавшийся со скоростями порядка 70-80 км/ч, по данным разных радиолокаторов ДМРЛ (по зонам обзора которых проходил фронт) - (Рисунок 8.2 а - г). Прохождение этого фронта с развившимися на нём мощными конвективными образованиями (рис.8.2 в - г) через столичный регион сопровождалось сильными шквалами, грозами, градом, многочисленными разрушениями и человеческими жертвами.

Прохождение нескольких хорошо выраженных облачных полос, связанных с холодным фронтом с большими скоростями перемещения, рассчитанными по данным ДМРЛ, часто сопровождается опасными явлениями или комплексом неблагоприятных метеоявлений (КМЯ) [27] – ливнями, градом, шквалами.

Пример На рис. 8.3 приведена карта ЕРП во время прохождения 30.05.2018 г. 09:40 ВСВ холодного фронта с несколькими параллельными линиями конвективных явлений через Нижегородскую область и Чувашию. Скорость порывов ветра при шквалах на МС Нижегородской области достигала 28 м/с (аэропорт Н. Новгорода Стригино), в Чебоксарах были отмечены порывы ветра до 21 м/с. На МС Нижегородской области были также зафиксированы многочисленные грозы. На рис. 8.4 – фрагмент приземной карты за 12 ВСВ 30.05.2018 г.

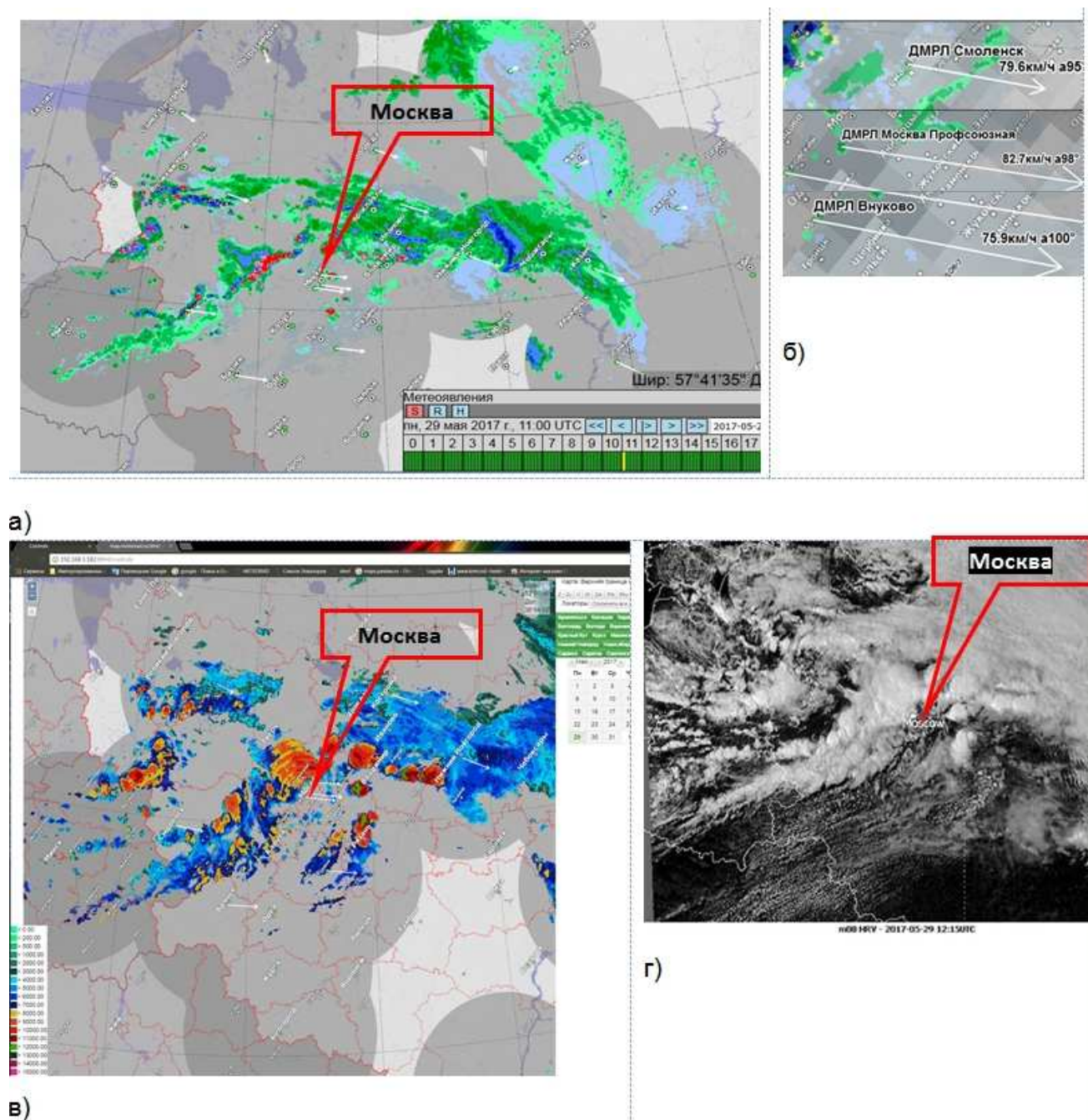


Рисунок 8.2- Карты Веб-ГИС «Метеорад», иллюстрирующие прохождение быстро смещающегося холодного фронта 29.05.2017, сопровождавшегося грозами и шквалами. а) карта метеоявлений ЕРП, б) векторы переноса по разным ДМРЛ; в) карта высоты $H_{вг}$ по ЕРП; г) спутниковая карта облачности с видимыми элементами развитой конвективной облачности в р-не Москвы

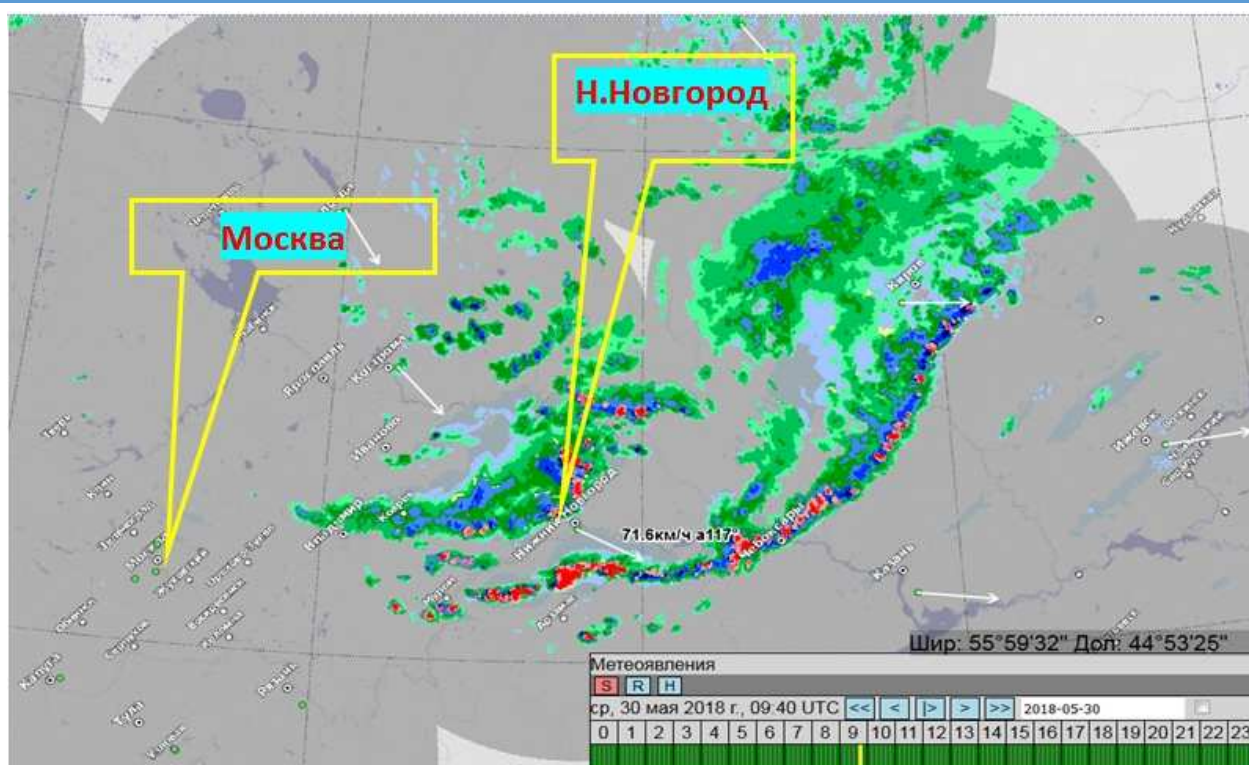


Рисунок 8.3 – Карта ЕРП за 09:40 ВСУ 30.05.2018 г - прохождение быстро смещающихся (векторы переноса более 70 км/ч) нескольких полос ХФ, сопровождавшихся шквалами в Нижегородской области и Чувашии

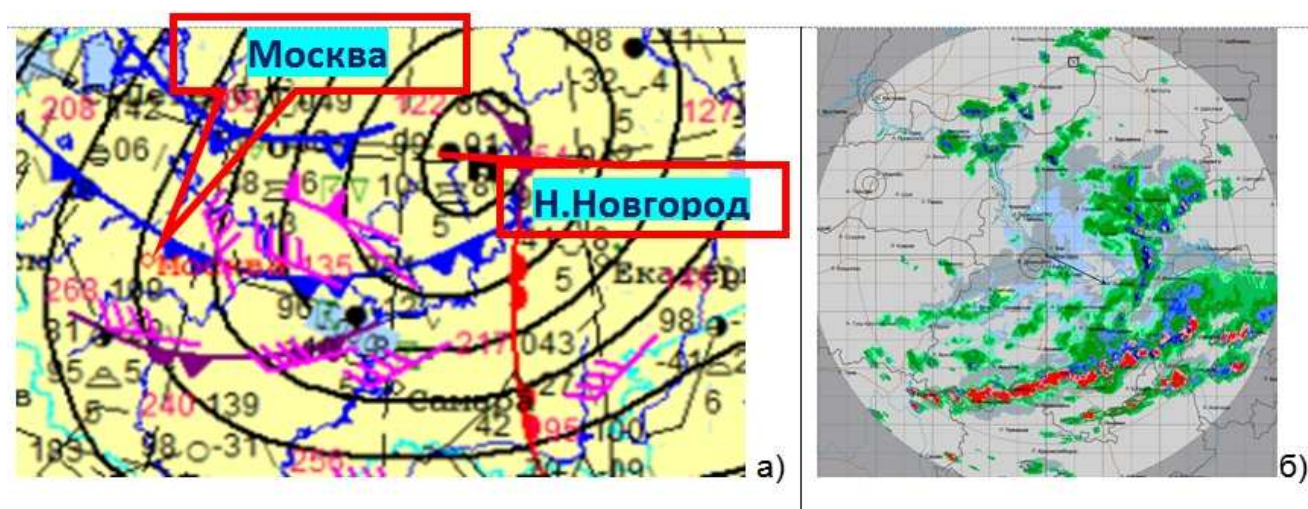


Рисунок 8.4 – а) Фрагмент приземной карты за 12 ВСУ 30.05.2018 г. с несколькими полосами ХФ в р-не Н.Новгорода и отмеченными высокими скоростями ветра на метеостанциях, иллюстрирующей прохождение нескольких фронтальных систем (фронт окклюзии в теплом секторе, основной и вторичный холодные фронты); б) – карта метеоявлений ДМРЛ «Н.Новгород» за 11:20 ВСУ 30.05.2018 г.

Тёплый фронт

В отличие от холодного фронта, на теплом фронте значительная часть облачности находится перед линией фронта [28,49]. За фронтом чаще всего располагается слоисто – дождевая облачность с осадками. Облачность тёплого

фронта занимает обширные пространства – до 700 км, при этом зона осадков занимает примерно 2/3 от зоны облачности. Осадки тёплого фронта чаще всего обложные.

На тёплых фронтах во все сезоны года прослеживается суточный ход площади радиоэха: в ночные часы площадь и интенсивность радиоэха увеличивается, а в дневные часы - размывается или исчезает; вблизи центра циклона радиоэхо может отсутствовать полностью.

Надёжным признаком тёплого фронта с зоной обложных осадков является наличие полосы таяния («яркой полосы») – зоны повышенной (на 5÷10 dBZ) отражаемости на вертикальном профиле Z толщиной порядка 300 м, располагающейся немного ниже уровня нулевой изотермы.

«Яркая полоса» возникает в районе нулевой изотермы при переходе частиц осадков из твёрдой 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 плёнкой - и воспринимаются радиолокатором как большие капли воды (у капель р/л отражаемость больше ~ в 5 раз, чем у ледяных сфер того же размера) – в результате Z резко возрастает. При дальнейшем падении происходит таяние и разделение обводнённых твёрдых частиц на отдельные дождевые капли существенно меньших размеров – в результате Z падает. Так формируется высотный максимум отражаемости Z - «яркая полоса».

Грозы над сушей на тёплом фронте могут возникать в ночные часы из-за неравномерного выхолаживания нижних и верхних слоёв облачности, при этом отдельные кучево-дождевые облака могут быть замаскированы слоистообразными облаками.

Пример На рисунке 8.5 приведены карты ДМРЛ «Валдай» при прохождении тёплого фронта. Впереди фронта располагается зона облачности среднего и верхнего ярусов – признак тёплого фронта. При проведении вертикального разреза вдоль массива Ns (рисунок 8.5 в) хорошо прослеживается «яркая полоса», указывающая, что N_0 составляет около 2.5 км. На фронте наблюдаются небольшие и немногочисленные грозовые очаги (рисунок 8.5 в), возникающие обычно на теплом фронте в ночное и утреннее время суток; вертикальный разрез очага (рисунок 8.5 в) отражает типичную вертикальную структуру ливневых и грозовых Cb – со столбом высоких значений радиолокационной отражаемости до 8 – 9 км. Интенсивность осадков (рисунок 8.5 г) на тёплых фронтах в целом меньше, чем наблюдается при прохождении холодных

фронтов. $H_{\text{вго}}$ в данном примере достигает 10 км. Вертикальный разрез в направлении передней части фронта показывает хорошо

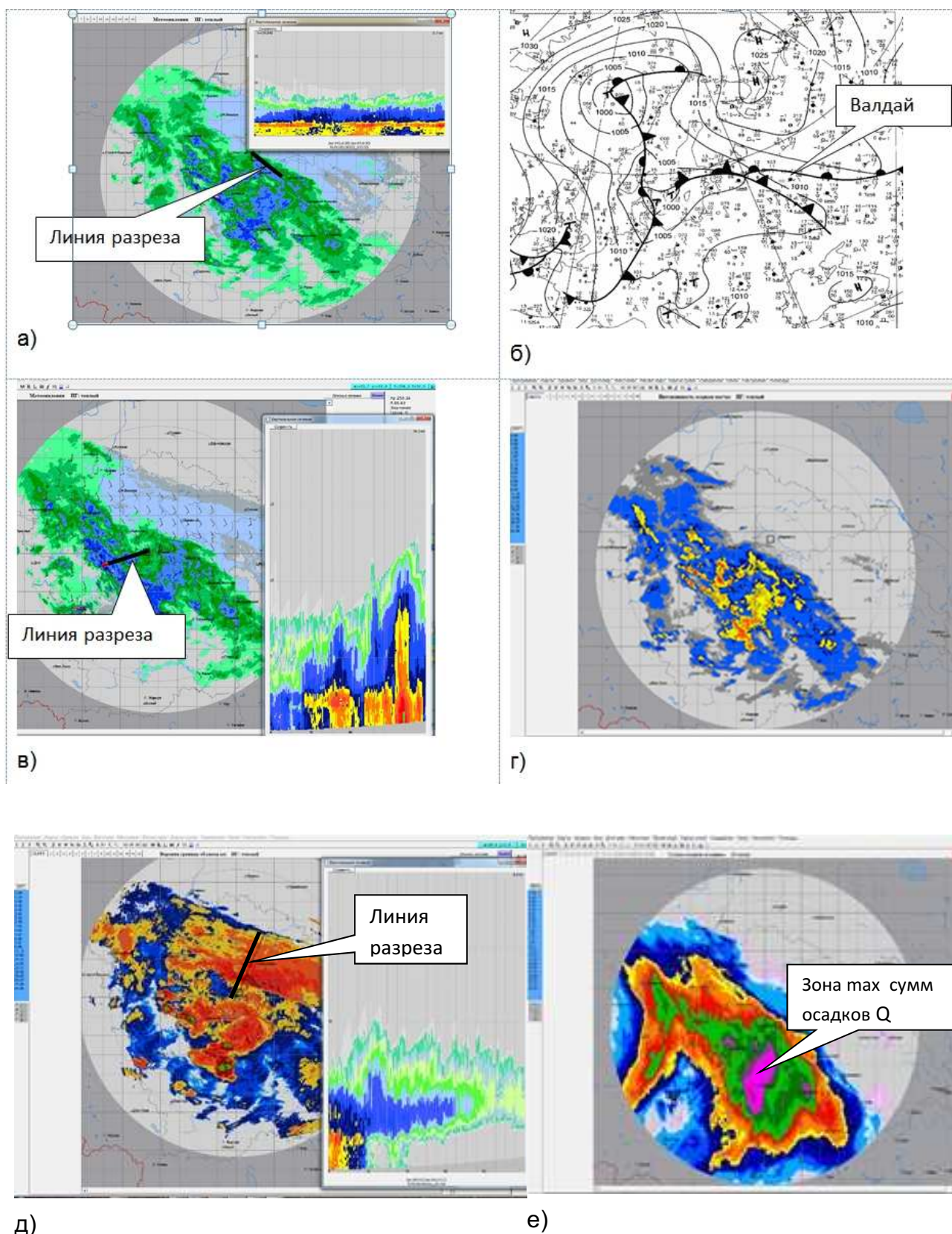
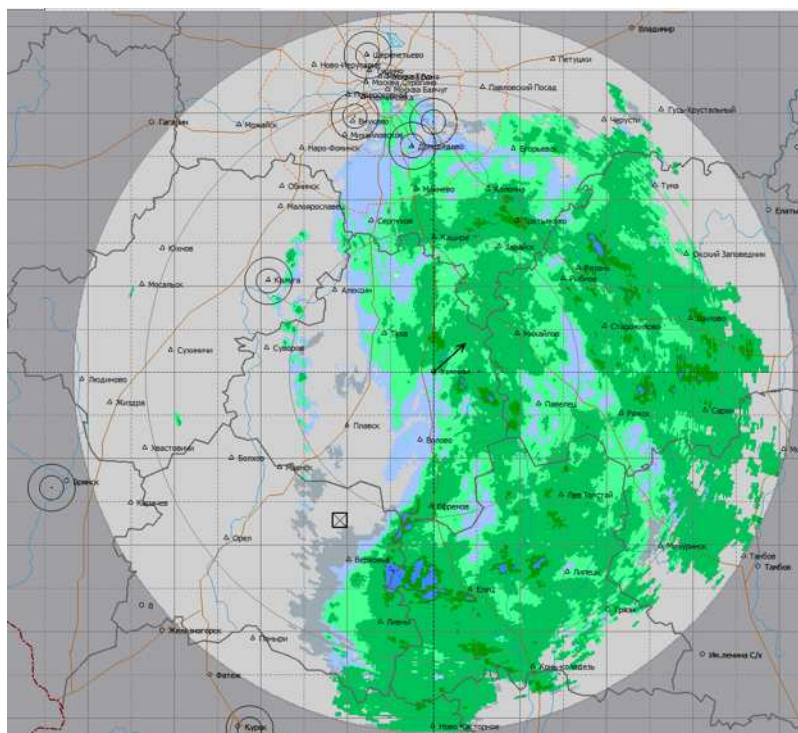


Рисунок 8.5 - Карты ДМРЛ «Валдай» для случая прохождения тёплого фронта, сопровождающегося ливневыми осадками и отдельными грозами: а) карта метеоявлений ДМРЛ с разрезом вдоль фронта, демонстрирующим наличие «яркой

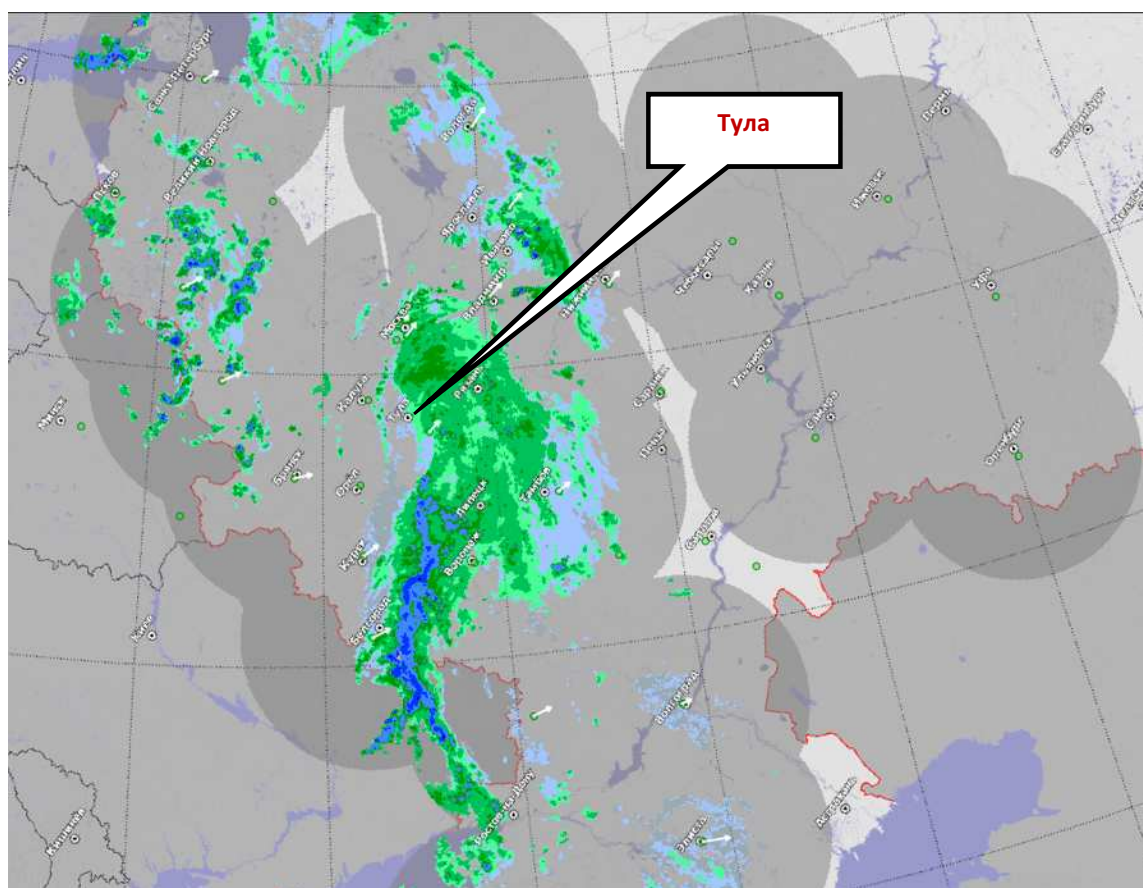
полосы»; б) карта приземного анализа; карты ДМРЛ: в) вертикальный разрез через грозовой очаг; г) карта интенсивности осадков, д) карта Нвго, е) карта суммы осадков. выраженный слой облачности верхнего и среднего ярусов, предшествующий линии фронта у земли (рисунок 8.5 д). На карте сумм осадков (Q), измеренных с 18:00 до 04:17 ВСВ (рисунок 8.5 е), прослеживается несколько областей с максимальным количеством осадков. Максимальное количество осадков в среднем при прохождении тёплых фронтов несколько меньше, чем при прохождении холодных фронтов. Для данного случая (рисунок 8.5 е) оно составило ~50 мм.

Фронт окклюзии образуется путём смыкания холодного и тёплого фронтов в результате того, что обычно холодный фронт перемещается с большей скоростью, чем тёплый. Чаще всего на картах ДМРЛ фронту окклюзии соответствуют обширные (шириной в несколько сотен км) и протяжённые зоны слоистообразной облачности и осадков, нередко с конвективными явлениями – ливнями, грозами, градами.

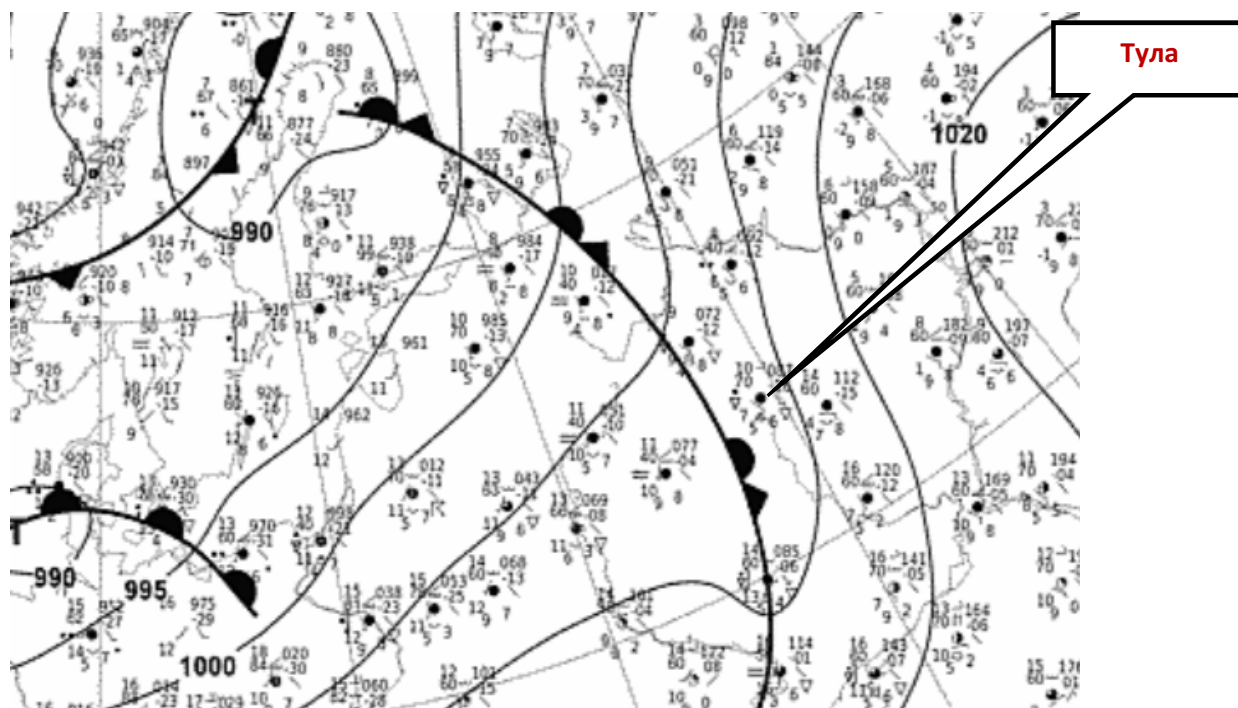
Пример На рисунках 8.6 а - в приведён пример прохождения фронта окклюзии и его изображений на картах одного ДМРЛ - «Тула» (рисунок 8.6 а) , карте ЕРП (рисунок 8.6 б) и синоптической карте за 18:00 ВСВ 29.09.2019 г. (рисунок 8.6 в)



а)



б)

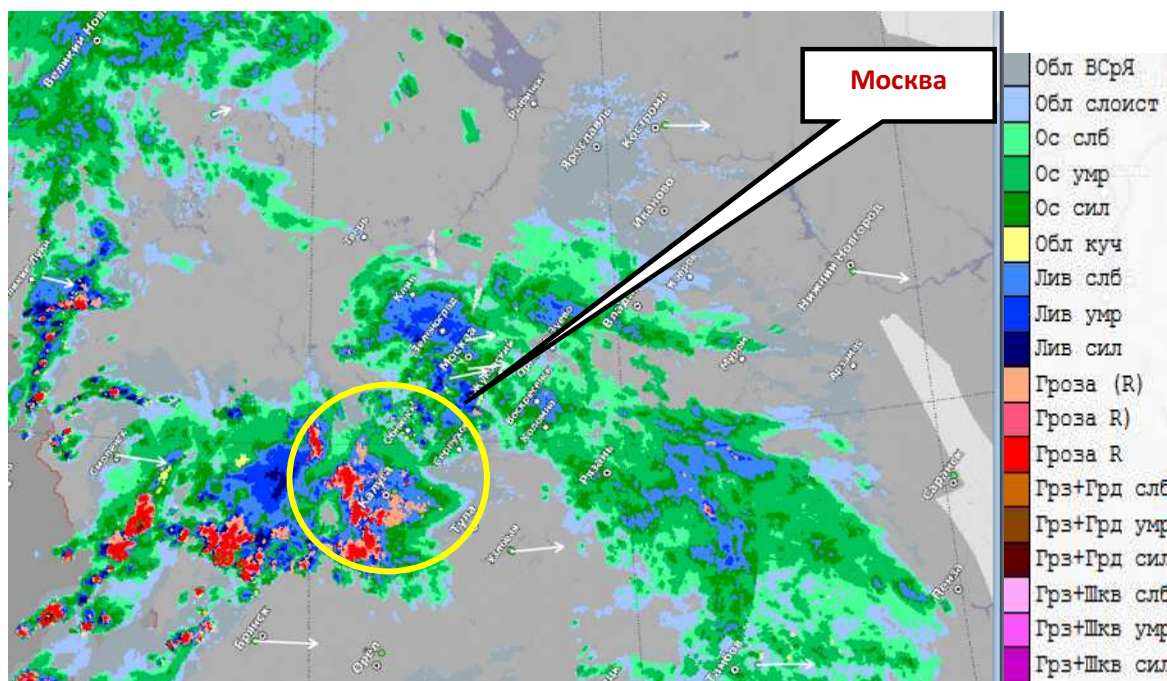


в)

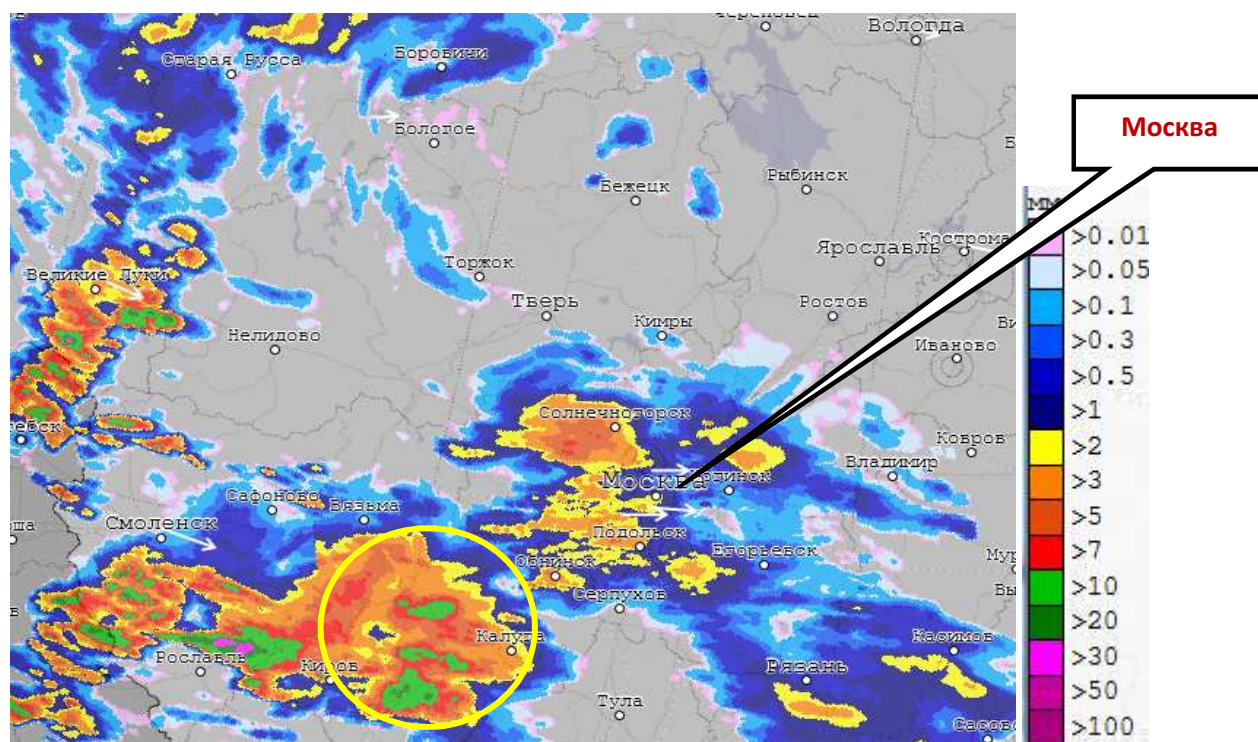
Рисунок 8.6 - Пример отображения фронта окклюзии на карте ДМРЛ «Тула» (а), - карте ЕРП (б) и синоптической карте за 18:00 ВСВ 29.09.2019 г.(в)

Высота верхней границы облачности на фронтах окклюзии достигает больших значений (до 15 км), особенно при развитии мощной конвекции. Наиболее интенсивные осадки и опасные явления (грозы, град) чаще всего отмечаются вблизи точки окклюзии.

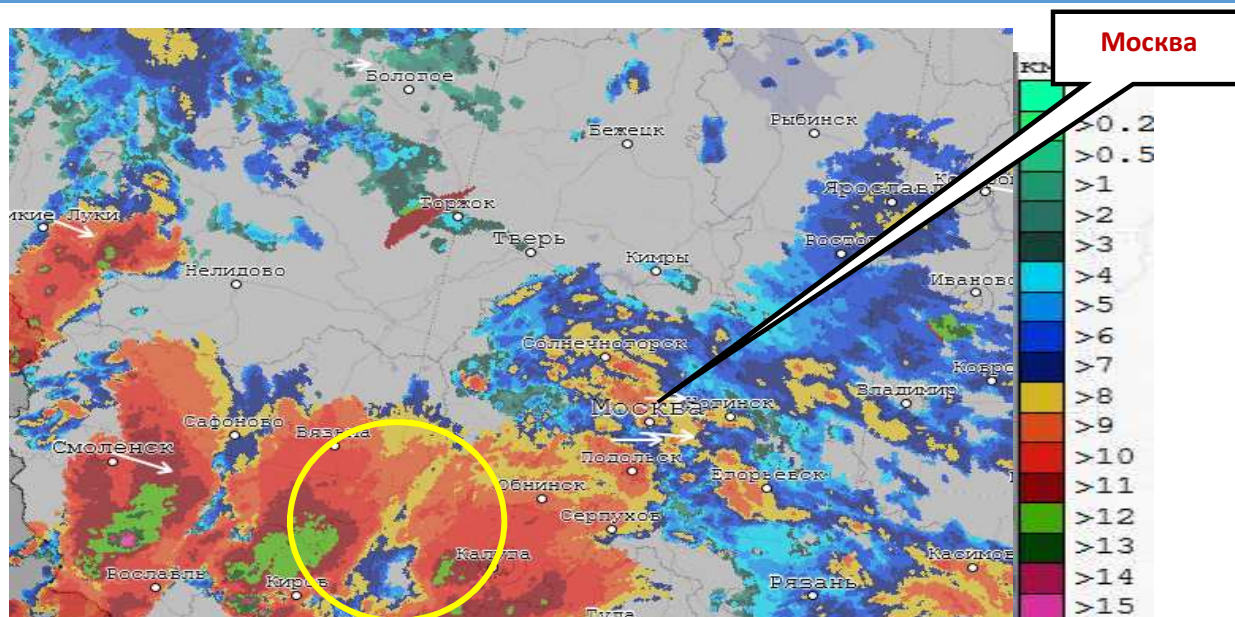
Пример 27.06.2019 г. точка окклюзии располагалась западнее Калуги (рисунок 8.7 г.; на рисунках 8.7 а – в окрестность точки окклюзии выделена жёлтой окружностью).



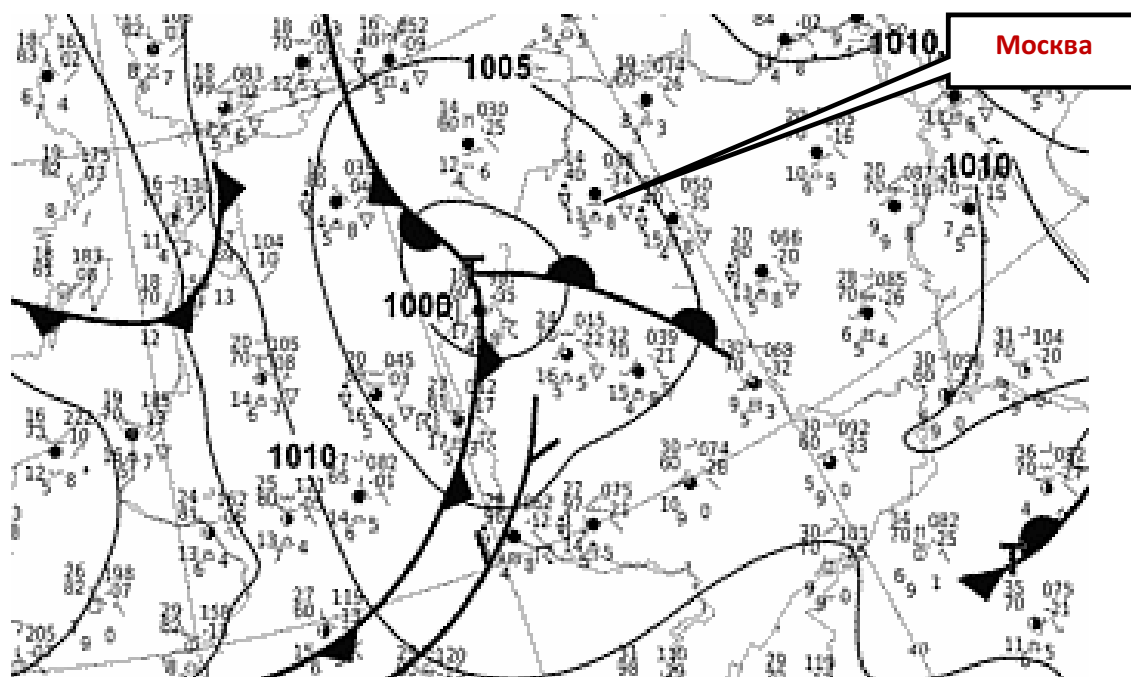
а)



б)



в)



г)

Рисунок 8.7 - Пример отображения точки окклюзии на картах ЕРП и синоптической карте за 12:00 ВСУ 27.06.2019 г. а) – метеоявления; б) – сумма выпавших осадков за 1 час; в) – Нвго, г) - фрагмент синоптической карты за этот срок

На картах ЕРП вблизи точки окклюзии отмечены наиболее интенсивные осадки (свыше 100 мм/ч), грозы, Нвго более 12 км. Значения сумм осадков, выпавших вблизи точки окклюзии за 1 час, существенно выше, чем в окрестности (рисунок 8.7 б).

8.1.2 Зоны ОЯ на вторичных холодных фронтах по ДМРЛ

Вторичный холодный фронт – «фронт внутри горизонтально неоднородной холодной в воздушной массы (полярного или арктического воздуха), за которым вторгается более «свежая» и более холодная часть этой же массы» [28], поступающая 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 протяжённость их меньше, чем на основных фронтах. На вторичных фронтах также наблюдается развитие конвективной облачности с ливневыми осадками и отдельными грозовыми очагами.

Пример На рисунке 8.4 б) приведён пример карты метеоявлений ДМРЛ «Н.Новгород» в ситуации с образованием вторичных холодных фронтов 30.05.2018 г.

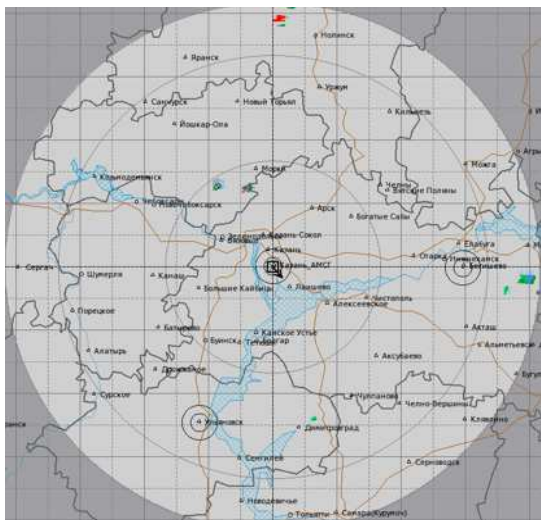
8.1.3 Внутримассовые конвективные явления по ДМРЛ

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

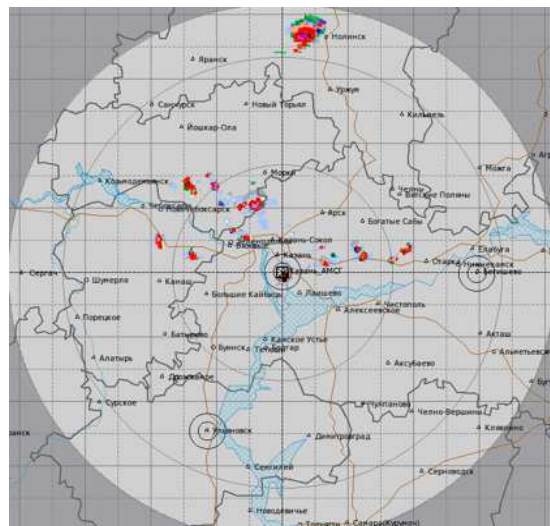
Пример Карты, иллюстрирующие развитие внутримассовой конвекции в малоградиентном поле пониженного давления по ДМРЛ «Казань», приведены на рисунке 8.9, из которого следует, что за 40 минут образовались многочисленные очаги гроз (рисунок 8.9 б), за 3 часа грозы достигли максимального развития (рисунок 8.9 в), а через 10 часов к вечеру произошло затухание конвекции (рисунок 8.9 г).

Интенсивность ливневых осадков (рисунок 8.9 д) при развитии внутримассовых процессов достигает в отдельных ячейках очень высоких значений: до 100 мм/ч и более. Значения $H_{\text{вго}}$ во внутримассовых грозовых ячейках также могут быть не ниже, чем при развитии гроз на атмосферных фронтах. В приведённом примере значения $H_{\text{вго}}$ превышают 12 км (рисунок 8.9 е). Карты интенсивности осадков и суммы выпавших осадков при внутримассовой конвекции очень «пёстрые» (рисунок 8.9 ж).

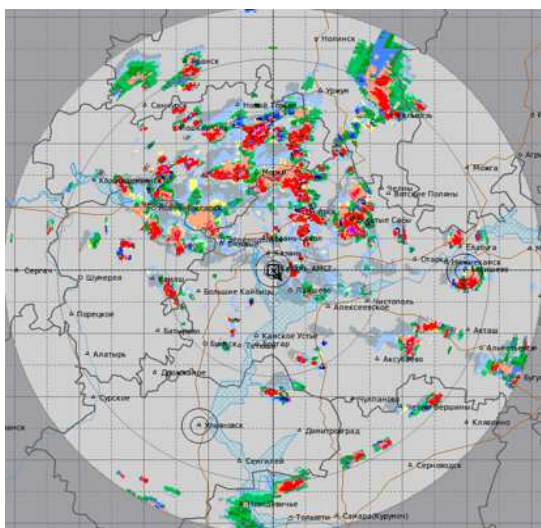
Таким образом, появление в утренние часы в малоградиентном поле или за холодным фронтом отдельных конвективных ячеек часто приводит к развитию внутримассовых гроз в послеполуденные часы.



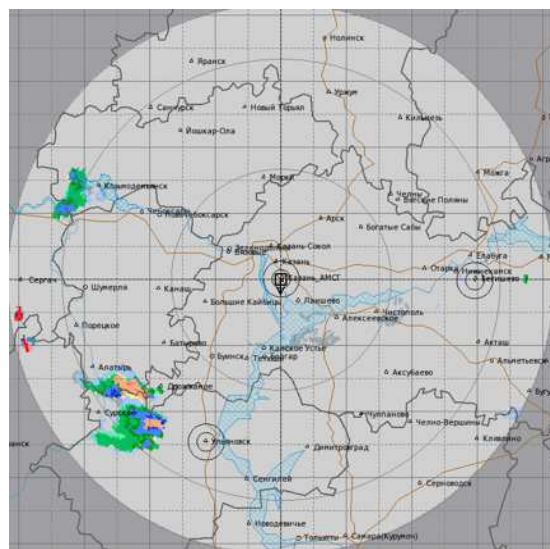
а)



б)



в)



г)

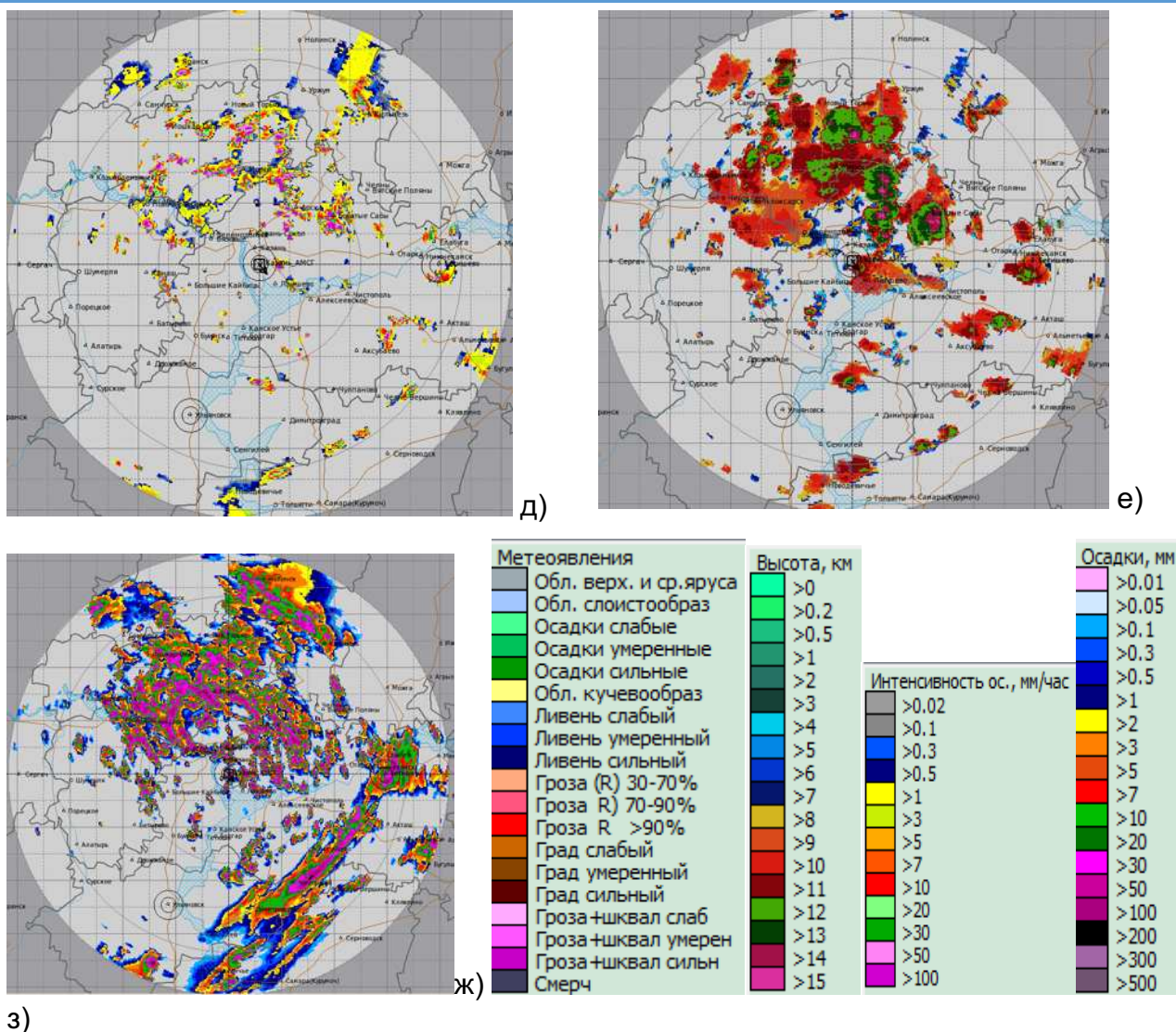


Рисунок 8.9 - Пример развития внутримассовой конвекции по данным ДМРЛ «Казань»; а) - карта метеоявлений в 07:07 ВСВ; б) - то же в 07:47 ВСВ, развитие конвективных ячеек с грозами; в) - то же в 10:27 ВСВ - максимальное развитие конвекции и гроз; г) - то же в 17:47 ВСВ - затухание конвекции в вечерние часы; д) - карта интенсивности осадков R при максимальном развитии конвекции; е) - карта $H_{вг}$ при максимальном развитии конвекции в 10:27 ВСВ; ж) - карта сумм выпавших осадков с 06:00 до 10:27 ВСВ; з) - шкалы к картам на рисунках а - ж.

8.1.4 Мезомасштабные конвективные комплексы (МКК) и «взрывное» развитие конвекции на картах ДМРЛ

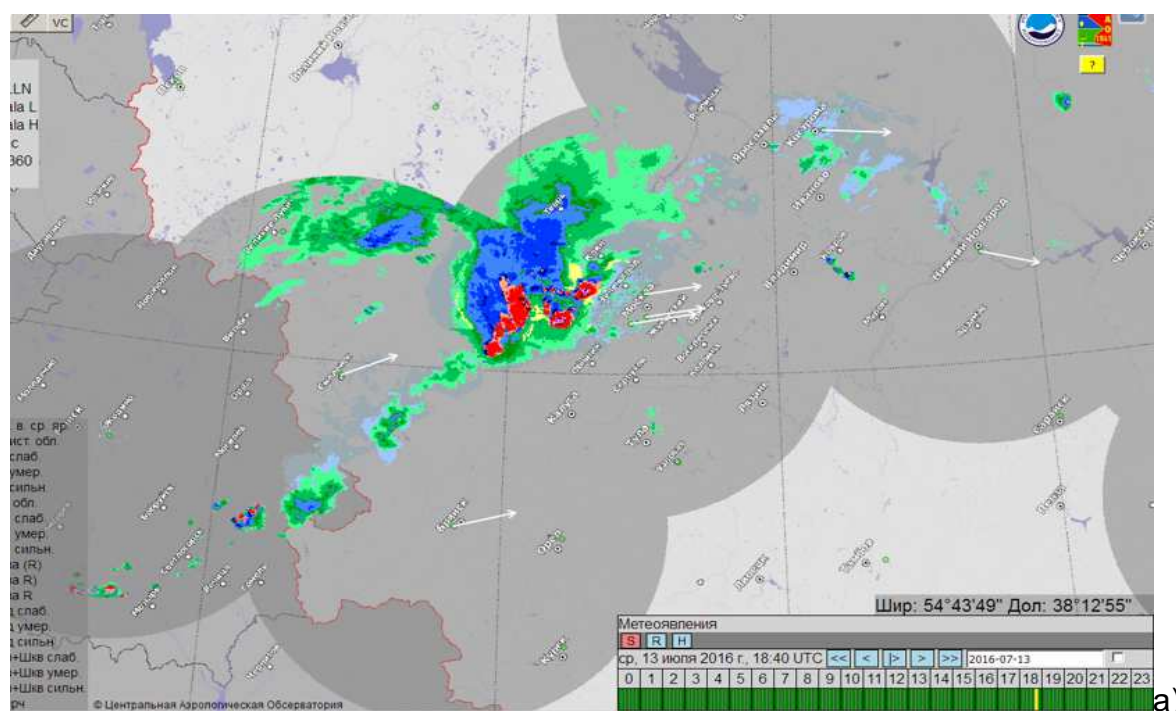
Наиболее интенсивные конвективные явления связаны с мезомасштабными конвективными комплексами (МКК) - крупными (размером порядка 200-300 км в диаметре) [69] массивами кучево-дождевой облачности, часто имеющими почти круглую форму, большую вертикальную мощность и среднюю продолжительность жизни около 10 ч, иногда до 16 – 18 ч. Отмечались случаи, когда МКК существовали ещё дольше, периодически ослабевая и усиливаясь. Они представляют наибольшую опасность, т.к. с ними часто связаны интенсивные ливни, грозы, град, порывы ветра со

скоростями более 30 м/с и даже смерчи.

Пример На рисунке 8.10 приведён фрагмент объединённой карты метеоявлений ресурса Веб-ГИС «МЕТЕОРАД» за 18:40 ВСВ 13.07.2016 г., на которой МКК, сформировавшийся на фронте окклюзии, направляется к Москве. В этом МКК вблизи Можайска $H_{\text{вго}}$ достигала 15 км (рисунок 8.10 д); отмечались р/л явления - грозы, град, шквалы (рисунок 8.10 б); интегральная водность составляла 60 - 64 кг/м² (рисунок 8.8 в); отмечались высокие градиенты доплеровской скорости (рисунок 8.10 г). В этом районе были отмечены смерчи, от которых пострадали несколько населённых пунктов Можайского района.

По ДМРЛ можно отследить примеры «взрывного» развития конвекции, когда за 10-20 минут возникают грозовые Сб.

Пример На рисунке 8.11 приведены два фрагмента карт метеоявлений: за 15:30 ВСВ и за 15:40 ВСВ 19.07.2016 г., иллюстрирующие «взрывное» развитие конвекции – из фрагментов двух последовательных карт видно, что за 10 минут на территории аэродрома Шереметьево возникло мощное грозовое облако с высотой $H_{\text{вго}}$, достигающей 9 км. Гроза была отмечена наблюдателями ГАМЦ Шереметьево и зафиксирована грозопеленгаторами.



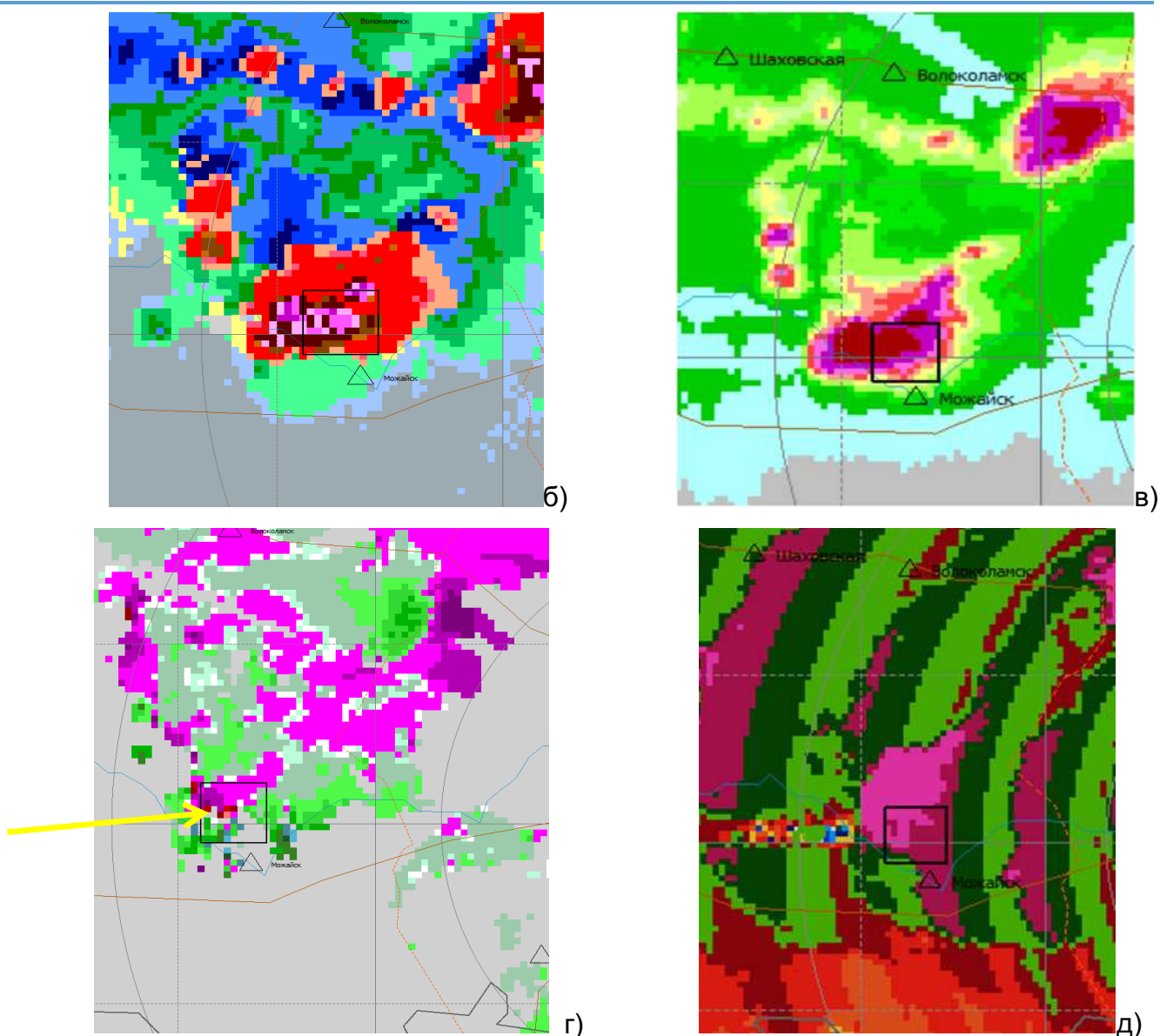
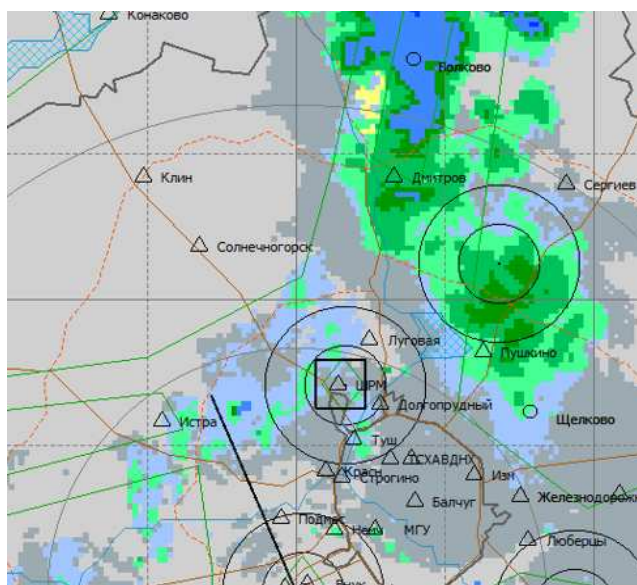
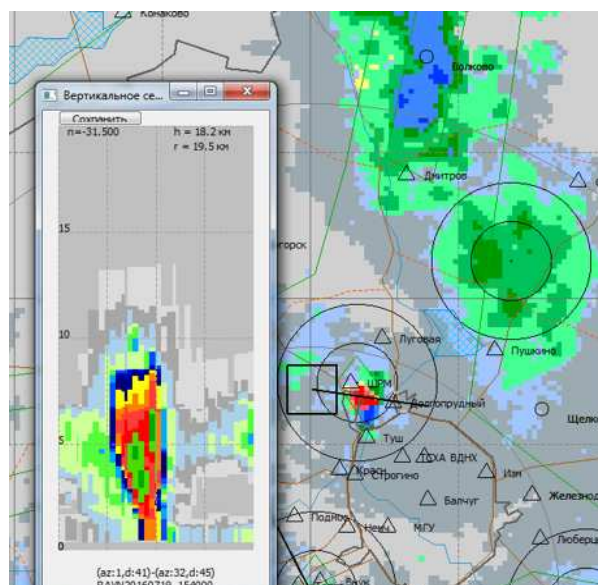


Рисунок 8.10 - Мезомасштабный конвективный комплекс на фронте окклюзии 13.07.2016 г. – проявления на различных картах ДМРЛ: а) - вид МКК на карте ЕРП Веб-ГИС «МЕТЕОРАД», 13.07.2016 г., 18:40 ВСВ; б) - ОЯП в р-не Можайска – грозы с градом и шквалами; в) - высокие значения VIL до 64 кг/м^2 ; г) градиенты доплеровского ветра – наличие рядом пикселей - 40 м/с и $+41 \text{ м/с}$; д) N_{vgo} до 15-16 км



а) 19.07.2016 г. 15:30 ВСВ



б) 19.07.2016 г. 15:40 ВСВ

Рисунок 8.11 - Пример «взрывной» конвекции с образованием на территории аэродрома Шереметьево грозового очага в течение 10 минут: а) - карта метеоявлений с облачностью без осадков и слабыми осадками в районе Шереметьева; б) – карта метеоявлений через 10 минут, с грозовым очагом и построенным через него вертикальным разрезом

8.2 Определение интенсивности и количества осадков и их использование для прогноза погоды

8.2.1 На карте «Метеоявления» ДМРЛ осадки классифицируются как ливневые и обложные. Каждый из этих двух видов осадков для 3-х сезонов года (холодный, переходный, тёплый) делится на градации в зависимости от интенсивности (слабые, умеренные, сильные). Интенсивность осадков определяется по значению отражаемости Z_1 . Градации интенсивности осадков (слабые, умеренные, сильные), реализующиеся в настоящее время в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» (таблица 8.2), незначительно отличаются от градаций, применяемых в прогнозе осадков в соответствии с [27]. При анализе осадков по карте ДМРЛ «Метеоявления» необходимо учитывать, что «эффективный радиус обнаружения» осадков, т.е. область их обнаружения с высокой вероятностью, не превышает 100 км. На больших удалениях могут возникать значительные погрешности в оценке интенсивности осадков.

Карты «Интенсивность осадков» рассчитываются каждые 5 минут и доступны в обоих режимах наблюдений - «Отражаемость» и «Скорость». Они могут использоваться для диагностики интенсивности и количества выпадающих осадков в реальном времени и их сверхкраткосрочного прогнозирования. Карты накопленных сумм осадков за прошедший период могут использоваться для ориентировочной

оценки ожидаемого количества осадков. Этот вид информации позволяет оценить количество выпавших осадков за периоды 1, 3, 6, 12, 24 ч в радиусе 100 км от места установки радиолокатора. Анализ сравнения радиолокационных накопленных сумм осадков с данными наземной наблюдательной сети показывает, что погрешность количественной оценки среднесуточного слоя выпавших осадков по данным ДМРЛ может превышать 50%. Данные о количестве сильных осадков, полученных от ДМРЛ, имеют зачастую значительно заниженные значения.

Таблица 8.2. Градации интенсивности осадков в ПО ВОИ ДМРЛ «ГИМЕТ-2010»

Характеристика осадков на карте «Метеоявления»	Градации интенсивности осадков по ДМРЛ, мм/ч		
	Холодный	Переходный	Теплый
Осадки (обложные) слабые	0.03-0.2	0.03-0.2	0.03-0.25
Осадки (обложные) умеренные	0.2-0.5	0.2-0.5	0.25 – 1
Осадки (обложные) сильные	>0.5	>0.5	>1
Ливневые осадки слабые	1-3.6, *	1-3.6, *	1.8-5.6, **
Ливневые осадки умеренные	3.6 -10.0, *	3.6 -10.0, *	5.6 -15.4, **
Ливневые осадки сильные	≥10.1, *	≥10.1, *	≥15.5, **
Примечание	*при $H_{\text{ВГО}} > 3$ км **при $H_{\text{ВГО}} > 4$ км		

8.2.2 В полевых экспериментах на осадкомерных полигонах во второй половине XX века было установлено, что точность измерения характеристик атмосферных осадков (сумм, интенсивностей) радиолокационным методом растет с увеличением масштабов пространственно-временного осреднения [13]. В дальнейшем этот вывод неоднократно подтверждался в наблюдениях на комплексах АКСОПРИ. Данное обстоятельство необходимо учитывать при разработке прогнозов погоды и штормовых предупреждений. Для повышения точности оценки прогноза сумм осадков также необходимо учитывать местные физико-географические особенности, способствующие выпадению осадков.

Возможность оценки часовых сумм осадков может быть использована при составлении штормпредупреждений (ШП) об опасном явлении «сильный ливень» - если сумма осадков, полученная по данным ДМРЛ за 1 час, составляет не менее 25 мм.

Пример 11.07.2019 г. по данным наблюдений на МС «Валуйки», отмечено ОЯ – «сильный ливень»: в период с 12:10 до 13:00 ч ВСВ на этой МС выпал слой осадков в 31 мм. По данным ДМРЛ «Белгород», сумма выпавших осадков за час с 11:00 до 12:00 ч ВСВ вблизи МС «Валуйки» составила около 27.6 мм – значение, близкое к критерию ОЯ (30 мм/не более чем за 1 час) – рис. 8.12 А.

Если через данный пункт ещё продолжает проходить зона интенсивных осадков (Рисунок 8.10 Б, вблизи МС «Валуйки» интенсивность осадков составляет 48.6 мм/ч) и, судя по конфигурации зоны осадков и по значению вектора переноса, осадки вблизи МС «Валуйки» продлятся ещё не менее 1 часа, с большой долей вероятности можно прогнозировать ОЯ «сильный ливень» вблизи п. «Валуйки» в ближайший час.

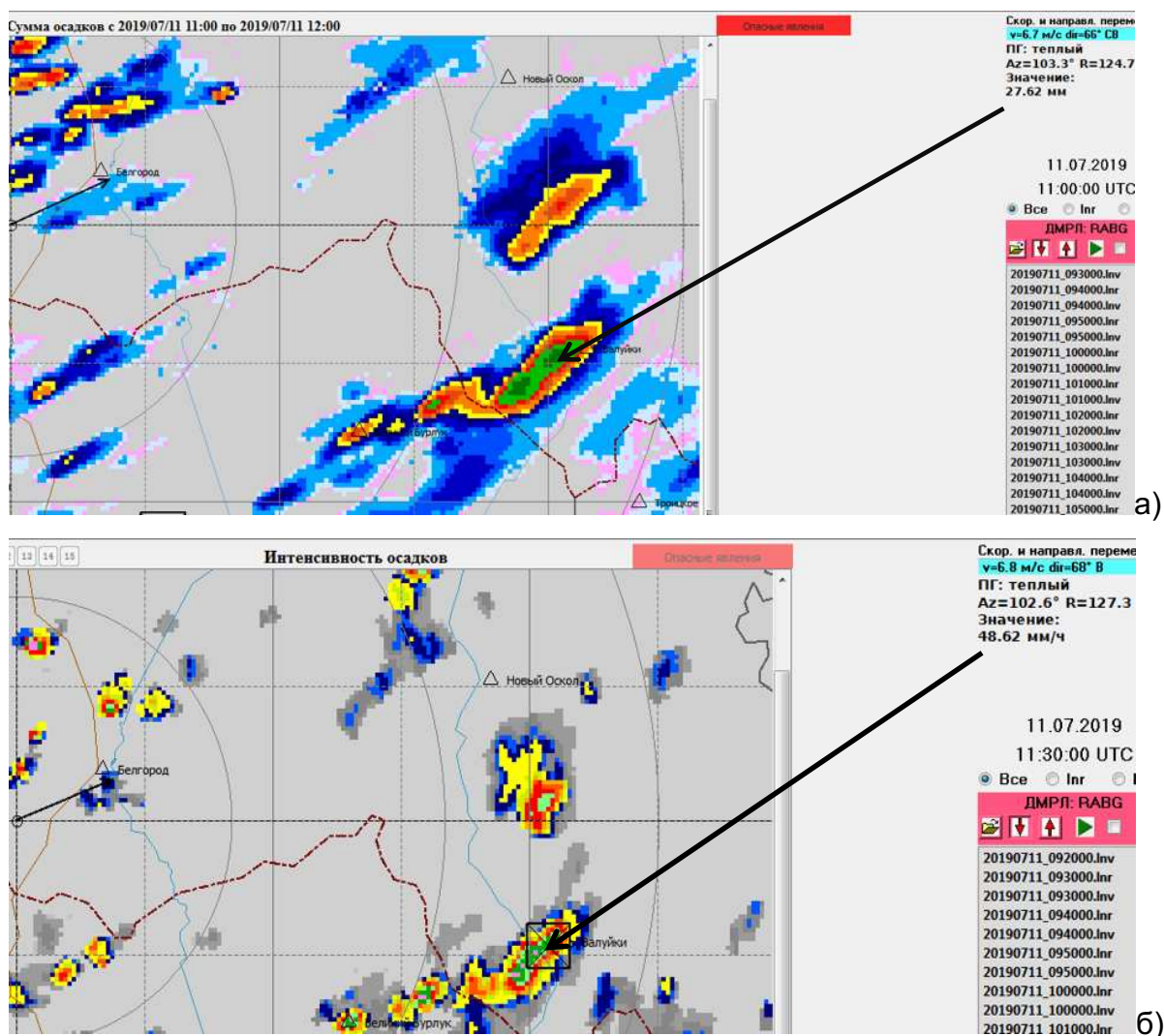


Рисунок 8.12 - Данные ДМРЛ «Белгород» за 11.07.2019 г.: а) - карта сумм осадков за 1 час с 11:00 ВСВ до 12:00 ВСВ; б) – карта интенсивности осадков в 11:30 ВСВ 11.07.2019 г., ДМРЛ «Белгород»

8.3 Диагноз метеоявлений по ДМРЛ и использование информации для разработки прогнозов погоды и штормовых предупреждений

Принципы идентификации метеоявлений, реализованные в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», кратко изложены в разделе 5.4.

ДМРЛ позволяет получать информацию о явлениях погоды, обусловленных конвективными процессами в атмосфере. Основой данной информации является наличие кучево-дождевой облачности, которая подразделяется по характеру

формирования на фронтальную и внутримассовую. Особенности её формирования известны из синоптической метеорологии и хорошо подтверждаются данными радиолокационных наблюдений. Наиболее интенсивные конвективные явления связаны с мезомасштабными конвективными комплексами – см. раздел 8.1.4.

Автоматизированное распознавание явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью, реализовано на основании расчёта специальных критериев, по которым и определяется тип метеорологического явления. На карте «Метеоявления» определяются следующие объекты, связанные с конвекцией (см. табл. 6.2):

- ливень (слабый, умеренный, сильный);
- гроза (с вероятностью: 30-70% - (R), 71-90% - R), более 90% - R);
- гроза + град (слабый, умеренный, сильный);
- гроза + шквал (слабый, умеренный, сильный);
- смерч.

8.3.1 Гроза – это комплекс атмосферных явлений, связанных с развитием мощных кучево-дождевых облаков, многократными электрическими разрядами, которые могут сопровождаться ливневыми осадками, шквалами и градом.

Вероятность определения гроз с использованием ДМРЛ можно оценить как высокую (более 80%). Радиолокатор не фиксирует электрические разряды в кучево-дождевых облаках, поэтому грозовая облачность определяется по косвенным признакам.

Практика показывает, что «радиолокационные грозы» (R) с вероятностью 30-70% в основном представляют собой кучево-дождевые облака в предгрозовой стадии. По мере их развития вероятность грозы возрастает. «Радиолокационные грозы», идентифицированные по ДМРЛ как R, с вероятностью грозы в них более 90% - это практически всегда реальные грозы в максимальной стадии развития, что подтверждается данными наземных наблюдений и грозопеленгаторов. При этом необходимо учитывать, что, как правило, грозовые явления по радиолокационным данным опережают во времени сообщения наземной наблюдательной сети об этих явлениях.

В большинстве случаев скорость перемещения грозовых очагов составляет 20-60 км/ч. Если скорость перемещения очагов превышает значение 70 км/ч - грозы обычно сопровождаются выпадением града и сильными шквалами, изредка - смерчами (рисунок 8.13).

Важным признаком развития кучево-дождевой облачности и надёжным предиктором гроз могут являться повышенные значения VIL (п.6.5), значения которой в грозах превышают 4-6 кг/м².

8.3.2 Шквал – кратковременное (в течение нескольких минут, но не менее 1 минуты), резкое усиление ветра до 25 м/с и более [27]. Шквалы преимущественно возникают на холодных фронтах, особенно – на быстро движущихся. Сильные шквалы, со скоростями порывов ≥ 25 м/с, возникают при общем контрасте температуры у земли не менее 10° С, температуре точки росы на поверхности земли более 15° С и при расходимости направления воздушных потоков на поверхности 500 гПа. Сильные шквалы наблюдаются в передней части высотной ложбины при переходе на поверхности 500 гПа циклонической кривизны изогипс в нейтральную или антициклоническую.

На карте метеоявлений ДМРЛ шквалы сопутствуют грозам и граду различной интенсивности, однако алгоритм расчёта шквалов таков, что шквалы у поверхности земли, образующиеся при прохождении кучево-дождевой облачности, сопровождающейся ливнями, на карте метеоявлений зачастую не отображаются. Кроме того, значительную часть шквалистых усиления ветра (до 30-40%) ДМРЛ объективно не может идентифицировать, т.к. они приходится на область отсутствия радиоэха [54]. Однако шквалистые усиления ветра у поверхности земли могут быть зафиксированы на карте доплеровской скорости самого нижнего уровня (на высоте определения осадков).

Велика вероятность шквалов на узких холодных фронтах, смещающихся с большими скоростями (если вектор переноса не менее 65-70 км/ч) – см. рисунок 8.3.

Особенно велика вероятность возникновения шквалов, если при высоких значениях рассчитанных по ДМРЛ скоростей переноса облачности наблюдается несколько параллельных линий конвективных явлений на фронтах.

Пример На рисунке 8.13 приведена карта метеоявлений на ЕРП за 12:00 ВСУ 21.04.18 г. при прохождении через ЕТР нескольких линий холодных фронтов, смещавшихся со скоростями порядка 80 км/ч по данным Московских ДМРЛ, а также по ДМРЛ «Валдай» и «Смоленск». При этом $H_{\text{вгс}}$ облачных образований не превышала 10 км и шквалы по ДМРЛ идентифицированы не были, однако высокие скорости перемещения нескольких фронтальных полос являются прогностическим признаком развития шквалов. При этом шквалы вероятны в областях радиоэха, идентифицируемых явлениями не ниже «ливней умеренных».

21 апреля 2018 г. десятки метеостанций Центра ЕТР (Московской, Смоленской, Калужской областей) отмечали шквалистые усиления ветра. Так, во Внуково были отмечены порывы до 30 м/с, в Жуковском – до 26 м/с.

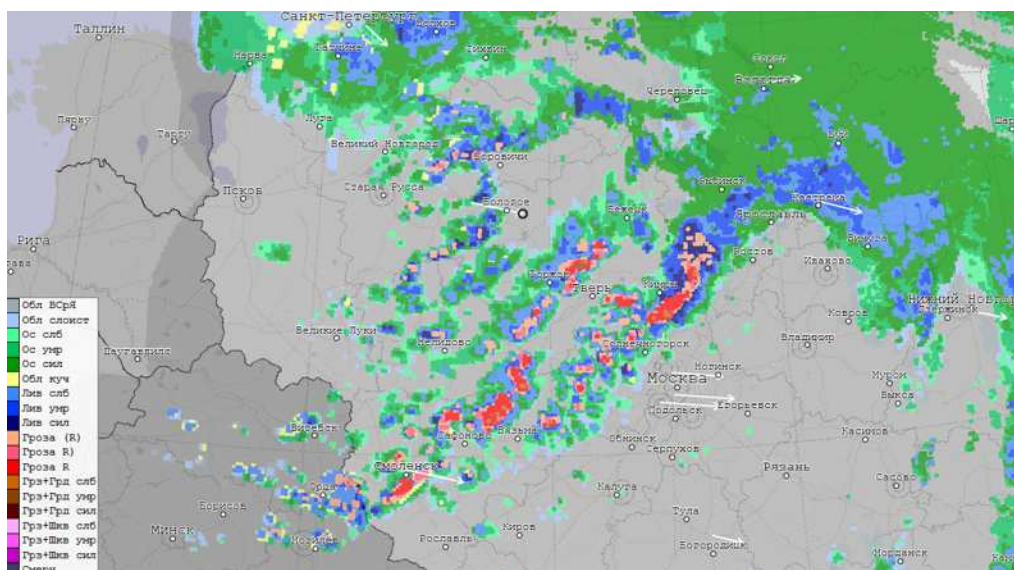


Рисунок 8.13 - Прохождение быстро смещающихся (векторы переноса порядка 80 км/ч) нескольких линий холодных фронтов, сопровождавшихся сильными шквалами 21.04.2018 г. 12:00 ВСВ.

На шкале карт метеоявлений принято условно классифицировать шквалы по силе, в соответствии со скоростями порывов ветра: слабый – 15÷20 м/с; умеренный – 20÷25 м/с; сильный – более 25 м/с. Соответствие критериев шквала, реализованных в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», численным значениям величины скорости порывов в настоящее время уточняется. В НТЦР ДМРЛ ФГБУ «ЦАО» будет подготовлен новый продукт «Карта шквалов» с использованием алгоритмов из работ [55, 56, 66].

8.3.3 Град – осадки, выпадающие в тёплое время года из мощных кучево-дождевых облаков в виде частичек плотного льда различных, иногда очень крупных размеров.

На шкале карты метеоявлений град принято условно классифицировать по размеру градин (очевидно, что по уровню ущерба) как слабый – менее 5 мм; умеренный – 5-20 мм; сильный – более 20 мм. Соответствие критериев града, реализованных в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», численным значениям размеров градин в настоящее время уточняется.

Важным признаком появления градовых Сb служат повышенные значения VIL – их значения в градовых ячейках, как правило, превышают 12 кг/м² и могут достигать значений более 65 кг/м²; особенно велики значения VIL в градовых ячейках в южных районах РФ.

В п. 6.5 указано, что опыт мониторинга ОЯП, регулярно проводящегося в ФГБУ «ЦАО» в течение нескольких лет, свидетельствует о том, что зачастую наблюдатель за град принимает крупу. Если по данным МС отмечено явление «град», а значения VIL в это время вблизи этой МС не превышают 8 кг/м^2 , это очень часто означает, что наблюдатель «крупы» принял за «град». Исследования возможности использования параметра VIL в качестве предиктора явлений «град слабый» - «град сильный» продолжаются.

8.3.4 Смерч – сильный маломасштабный вихрь под кучево-дождевой облачностью, с поднимающейся к облаку осью. Как и в циклонах, в северном полушарии в смерче вращение происходит против часовой стрелки. Диаметр воронки у поверхности земли может быть от нескольких десятков до нескольких сотен метров, а скорость ветра может достигать 50-100 м/с [49]. Возникновение смерчей связано с очень сильной неустойчивостью стратификации воздушной массы. На территории РФ это явление характерно для тёплого сезона, оно чаще всего образуется в зоне холодного фронта с очень высокими контрастами температуры воздуха. Из-за сравнительно небольших размеров смерча на картах явлений погоды даже с разрешением 1 км он может не определиться. В условиях, когда диагностируется шквал со скоростью более 25 м/с, возможно появление смерча. Для образования смерча характерно наличие следующих дополнительных признаков:

- очаги радиоэха расположены грядой с расстоянием между очагами примерно в 2 раза большим, чем сами очаги; при быстром движении гряд и их сближении смерч наиболее вероятен в месте слияния гряд;
- слияние нескольких отдельных грозовых очагов радиоэха, когда смерч образуется в V-образной впадине радиоэха;
- наличие крюкообразного отростка радиоэха длиной до 16 км и высотой $10,5 \div 12,5 \text{ км}$;
- наличие вращения кучевообразного радиоэха или его части против часовой стрелки.

Смерч может диагностироваться по картам доплеровской скорости на низких уровнях при наличии больших градиентов V_r с разностью скоростей в соседних ячейках не менее 40 м/с. Ввиду того, что явление это редкое, идентификационные критерии смерча в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» в настоящее время уточняются, набирается статистика.

Пример Смерч, произошедший 29 августа 2014 г. в Республике Башкирия, попал в зону обзора ДМРЛ "Ижевск". В [60] приведён анализ продуктов ДМРЛ «Ижевск» по

траектории прохождения смерча, от с. Кариево до гор. Янаул. На рис. 8.14 приведены некоторые карты ДМРЛ из [60], иллюстрирующие прохождение смерча (с. Кариево отмечено белым крестом, г.Янаул – белым кругом). В течение всего времени перемещения МКК, в котором образовался смерч, отмечались грозы с градом и шквалом (рис. 8.14 а).

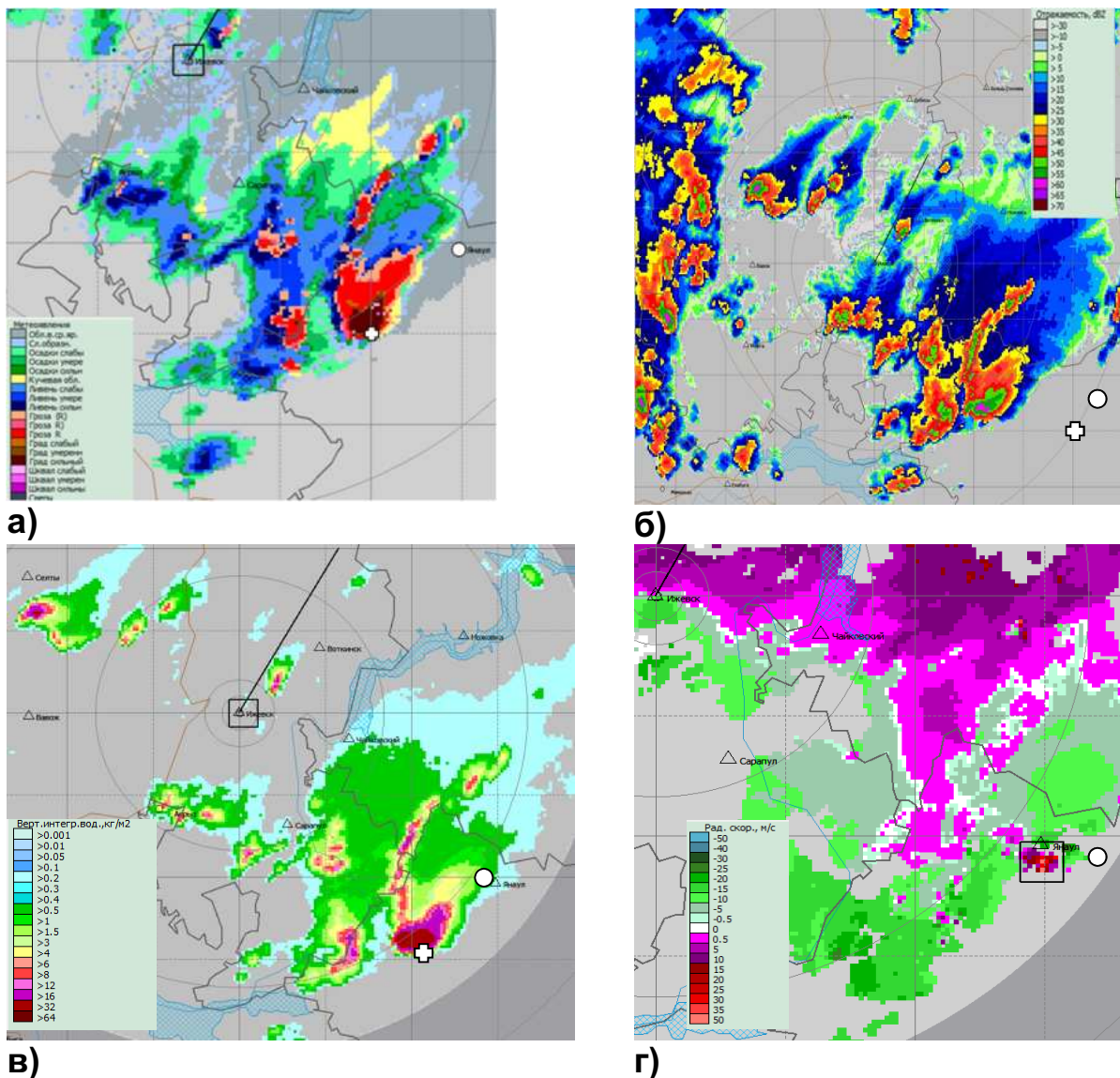


Рисунок 8.14 - карты ДМРЛ «Ижевск»: а) - метеоявлений, б) - максимальной Z выше 1 км, в) - вертикальной интегральной водности (VIL), г) - радиальной скорости на высоте 700 м

Максимальные значения р/л отражаемости в облаках в слое 5.5 – 7.1 км составляли 65-67 dBZ (рис.8.12, б), значение максимальной интегральной водности выше 1 км достигало 63 кг/м², максимальные положительные значения радиальной скорости на высоте 700 м составляли (+55 м/с) (рис. 8.14, г). Значения Н_{вгдо} достигали 15 км.

8.3.5 В соответствии с требованиями Наставления [27], в прогнозы погоды необходимо включать все перечисленные выше явления, связанные с конвекцией.

При разработке краткосрочных и сверхкраткосрочных прогнозов погоды, составляемых на основе синоптического метода с использованием данных численных мезомасштабных методов прогноза, информация ДМРЛ может служить для уточнения характеристик вышеперечисленных явлений погоды.

Явления погоды, связанные с конвекцией (кроме грозы), при достижении ими интенсивности, характеризующейся термином «сильный», относятся к категории ОЯ [27,32]. В этом случае синоптик должен разработать и передать штормовое предупреждение.

Для своевременного выполнения этой функции рекомендуется использовать данные радиолокационных наблюдений о характеристиках зон облачности, приведённые в таблице 8.3.

8.3.6 Важным аспектом в прогнозе погоды является расчёт времени начала и окончания явлений и их продолжительности по определённой территории или в конкретном пункте [26].

Таблица 8.3

Радиолокационные характеристики зон облачности и осадков по ДМРЛ, рекомендуемые для разработки штормовых предупреждений

Наименование ОЯ	Характеристики и критерии определения ОЯ	Характеристики зон облачности и осадков по ДМРЛ.
Шквал	Резкое кратковременное (в течение нескольких минут, но не менее 1 мин) усиление ветра до 25 м/с и более	- Наличие по ДМРЛ явления более опасного, чем R), на площади не менее 20х20 км; - Наличие по ДМРЛ явления не ниже «Гроза+шквал умеренный»; - Наличие МКК с $H_{\text{вго}}$, превышающими среднюю по зоне обзора ДМРЛ $H_{\text{вго}}$ на 3-4 км; - Скорость переноса фронтальной облачности (с чётко выраженной линией фронта) - вектор переноса - не менее 20 м/с; - При наличии нескольких полос фронтальной облачности, перемещающейся со скоростью (вектор переноса) не менее 18 м/с – в областях с явлениями выше ливня – вероятны шквалы; - Наличие по ДМРЛ области не менее 30х30 км с явлением не ниже ливня, со значениями горизонтального ветра на уровне 1 км не менее 15 м/с; - Наличие больших градиентов доплеровской радиальной скорости на уровне 600 м - 1 км (разность скоростей в соседних ячейках не менее 25-30 м/с)
Смерч	Сильный маломасштабный вихрь в виде столба или воронки,	Наличие МКК – с $H_{\text{вго}}$, превышающими среднюю $H_{\text{вго}}$ на 3-4 км;

	направленный от облака к подстилающей поверхности	- Наличие по ДМРЛ явлений «Гроза+град», Гроза+шквал»; - Наличие признаков смерча, в т.ч. больших градиентов доплеровской радиальной скорости на уровне 600 м -1 км (разность скоростей в соседних ячейках не менее 40 м/с), Zmax- более 50 dBZ.
Сильный ливень	Сильный ливневый дождь с количеством выпавших осадков не менее 30 мм за период не более 1 ч	Зона радиоэха облачности с конвективными осадками интенсивностью не менее 30 мм/ч; Если суммы осадков за 1 час по ДМРЛ превышают 25 мм; Значения VIL в зоне осадков в течение 1 часа не менее 3 кг/м ² .
Очень сильный дождь	Дождь и смешанные осадки с количеством не менее 50 мм, в селеопасных районах с количеством не менее 30 мм за период времени 12 часов и менее	Обширная зона стационарного или медленно смещающегося радиоэха облачности с осадками интенсивностью не менее 15 мм/ч; суммы осадков за 6 час по ДМРЛ, превышающие 30 мм;
Крупный град	Град диаметром 20 мм и более	Наличие явления более опасного, чем «Град умеренный»; значения VIL не менее 16 кг/м ²

8.4 Использование данных ДМРЛ для оценки качества метеопрогнозов

Недостаточно густая сеть метеостанций на территории России не позволяет во всех случаях подтверждать факт наличия в определённом пункте ОЯ или КМЯ. Для этой цели целесообразно использовать данные ДМРЛ [27] – о подтверждении имевших место гроз, града, шквалов, сильных дождей и ливней.

Данные ДМРЛ, согласно письмам пользователей информации ДМРЛ, регулярно получаемым в ЦАО, в настоящее время постоянно используются для подтверждения ущерба от ОЯ или КМЯ во многих УГМС и ЦГМС, например, особенно активно - в Северо-Кавказском УГМС.

Если в отсутствии МС в пункте, где были отмечены разрушения, по данным ДМРЛ отмечены грозы и град – ими может быть подтверждено соответствующее ОЯ или КМЯ. Если разрушения были вызваны шквалом, а по данным ДМРЛ шквала не отмечено, но отмечены ливни, грозы, при этом скорость переноса облачности превышала 20 м/с или на любом уровне высоты от 1 до 10 км в радиусе 10-20 км от места разрушения отмечены локальные неоднородности доплеровской скорости – это является косвенными доказательствами имевшего место шквала.

Информацию о суммах осадков, выпавших за час, можно использовать для оценки сильного ливня (см. раздел 8.2).

Информацию о суммах осадков за больший период времени (в радиусе 100 км) можно использовать при подготовке справок о погодных условиях, приведших к паводкам и пр.

9 Использование информации ДМРЛ-С для метеобеспечения авиации

Информация ДМРЛ используется в оперативной работе специалистами аэродромных метеорологических органов и органов метеорологического слежения.

Порядок проведения метеорологических радиолокационных наблюдений, а также распространения данных наблюдений включается в инструкцию по метеорологическому обеспечению полётов на аэродроме [23].

Получаемая от ДМРЛ информация служит существенным дополнением к наземным наблюдениям, как при анализе и прогнозе атмосферных процессов, так и при уточнении местоположения явлений погоды, влияющих на взлёт и посадку ВС и при полётах по маршруту, а также при расследовании авиационных происшествий, связанных с метеорологическими факторами [33].

При метеообеспечении авиации наиболее важной является следующая информация ДМРЛ:

- размеры и местоположение полей облачности (включая форму) и осадков;
- зоны опасных явлений погоды: грозы, града, шквала, ливней, внутриоблачной турбулентности и др.;
- высота верхней границы облаков;
- скорость и направление перемещения полей облачности, осадков и связанных с ними опасных явлений погоды (грозы, града, шквала, ливней и др.);
- эволюция кучево-дождевых облаков;
- высота нулевой изотермы (определяющаяся по «яркой полосе» в некоторых ситуациях, при наличии слоистообразной облачности);
- интенсивность и накопленное количество осадков за любой промежуток времени;
- параметры ветра и внутриоблачной турбулентности;
- водность облаков;
- распределение радиолокационной отражаемости на различных высотах;
- расчёт и отображение вертикального профиля скорости и направления ветра до высоты верхней границы обнаружения метеообъектов.

Для использования данных радиолокационных наблюдений при метеообеспечении авиации в целях детализации информации об ОЯ, выявленных ДМРЛ, разработана «Таблица штормоповещения» и введена возможность построения контуров очагов ОЯ (см. раздел 6.10).

При работе с композитными картами сети ДМРЛ Росгидромета (Веб-ГИС «Метеорад») появляется возможность оперативного слежения за развитием процессов синоптического масштаба (атмосферные фронты, линии шквалов, зоны осадков). Анализ объединённой радиолокационной информации (на комплексной карте) позволяет своевременно спрогнозировать развитие конвекции и улучшить качество прогноза опасных для авиации явлений погоды и обеспечить радиолокационными данными о грозах и высоте верхней границы облаков экипажи воздушных судов, как в пункте вылета, так и по маршруту полёта. Более подробно этот раздел освещён в [26].

10 Ограничения радиолокационного метода наблюдений

Ниже перечислены и приведены примеры проявления основных ограничений радиолокационного метода метеорологических наблюдений, которые необходимо учитывать при использовании информации ДМРЛ в синоптической практике (см. также [61, раздел 7.9]). К ним относятся: влияние рефракции радиоволн в атмосфере (в особенности, явление аномального распространения радиоволн), влияние кривизны

Земли и снижения разрешающей способности за счёт расширения радиолокационного луча с увеличением расстояния от ДМРЛ, блокировка радиоизлучения искусственными и естественными преградами, ослабление зондирующего радиоизлучения в осадках, влияние микрофизики на точность измерения осадков на ДМРЛ, наложение радиоэха из разных интервалов дальности, влияние на продукты радиоэха «ясного неба», влияние радиопомех, влияние боковых лепестков диаграммы направленности антенны ДМРЛ и пр. Более подробно ограничения рассмотрены в главе 7 “Радиолокационные измерения” обновлённого методического документа ВМО «Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений» [61].

Рефракция радиоволн - изменение направления распространения волн (лучей) электромагнитного излучения, возникающее на границе раздела двух прозрачных для этих волн сред или в толще среды с непрерывно изменяющимися свойствами, в частности – в которых скорость распространения неодинакова.

Радиолокатор принимает сигнал, отражённый не только от гидрометеоров, но и от всех других объектов, попавших в импульсный объем. Траектория радиолокационного луча 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 [53].

В условиях «нормальной рефракции», соответствующих параметрам стандартной атмосферы, 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 (рисунок 10.1).

В атмосфере вероятны и другие условия, в которых луч радиолокатора слабее искривляется по направлению к земле - происходит явление субрефракции; при более сильном изгибе луча к земле наблюдается явление сверхрефракции. Виды атмосферной рефракции приведены на рисунке 10.1.

При явлении сверхрефракции излучённый под малыми углами места, радиолокационный луч может отразиться от земли и дать большой отражённый сигнал, который будет интерпретироваться как мощное радиоэхо метеоцели. Данное явление наблюдается в условиях температурных инверсий в приземном слое (например, в антициклонах – в инверсиях оседания [53]), а также при резком падении влажности

воздуха с высотой - например, на берегах водоёмов в утренние часы в условиях сильного испарения.

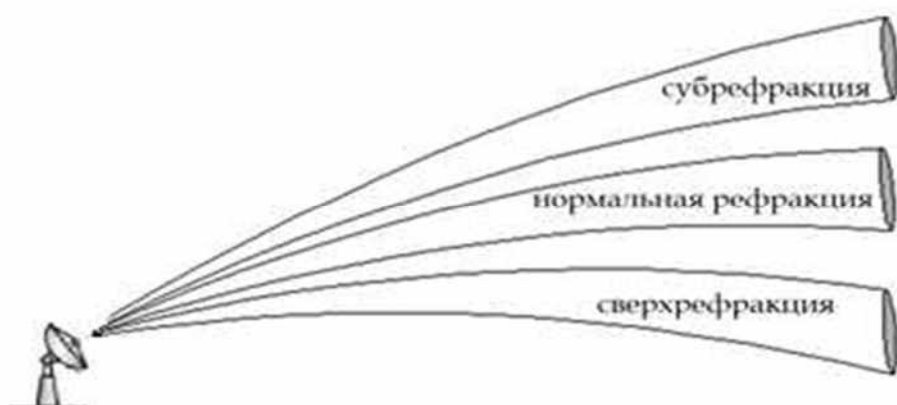


Рисунок 10.1 – Виды атмосферной рефракции

При этом могут создаваться условия «волноводного распространения» - дальнего распространения зондирующего излучения в приземном слое. Явление сверхрефракции наблюдается в отсутствии атмосферных осадков.

Пример На рисунке 10.2 приведены две карты метеоявлений с отображением аномального радиоэха: а) - в первичных данных Z на первом угле подъёма антенны ДМРЛ и б) – на уровне 1 км (ДМРЛ «Внуково»).

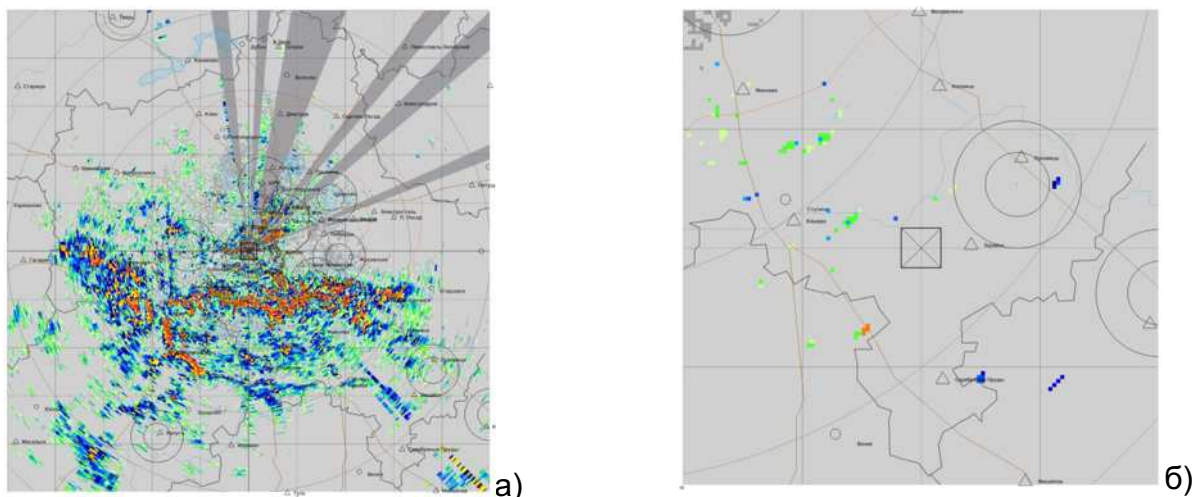


Рисунок 10.2 – Примеры проявления аномального радиоэха на картах Z по данным ДМРЛ «Внуково»: а) - в первичных данных Z на первом угле подъёма антенны; б) - на уровне 1 км

В текущей версии ПОИ и ВОИ ДМРЛ-С, установленных на ДМРЛ-С, ложное радиоэхо, в основном, фильтруется.

Влияние кривизны Земли

Из-за кривизны Земли при нормальной рефракции радиолуч поднимается над поверхностью Земли с удалением от ДМРЛ. На рисунке 10.3 показано, что вследствие подъёма радиолокационного луча над поверхностью Земли из-за её кривизны низкие облака могут не обнаруживаться на большом удалении от ДМРЛ.

С удалением от радиолокатора радиолокационный луч расширяется в соответствии с диаграммой направленности антенны. Как следует из рисунка 10.4, на удалении 200 км одноградусный луч расширяется до 3500 м, а на удалении 240 км – до 4200 м. При удалении луча от передатчика снижается однородность заполнения импульсного объёма, из-за чего на краях дистанции, вблизи границ полей облачности, ошибки радиолокационных наблюдений становятся очень большими.



Рисунок 10.3 – Подъем радиолокационного луча над поверхностью Земли

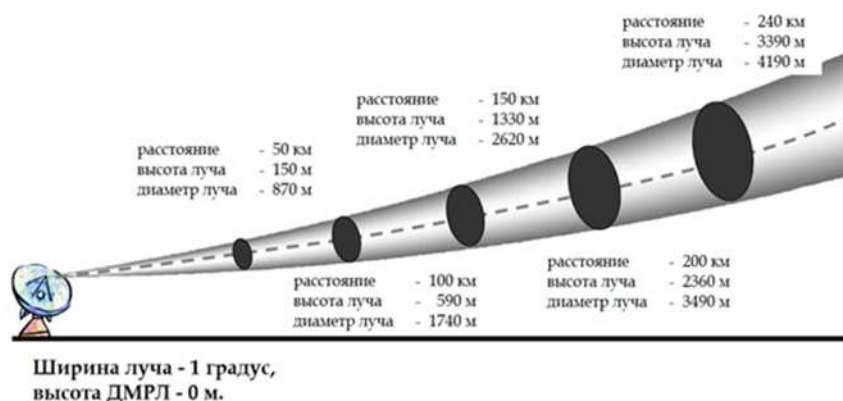


Рисунок 10.4 - Подъем и расширение р/л луча с расстоянием от ДМРЛ

Блокировка радиоизлучения

Блокировка зондирующего излучения искусственными (здания, вышки) и естественными (элементами рельефа) преградами являются важным фактором, определяющим снижение качества радиолокационных наблюдений. Близкая и невысокая (как кажется) преграда может существенно ограничить зону радиолокационного обзора на больших дистанциях, где особенно важны нижние лучи. На рисунке 10.5 показана схема блокировки радиолокационного луча препятствиями, а на рисунке 10.6 - пример полной и частичной блокировок радиолокационного луча элементами рельефа на карте ДМРЛ «Минеральные Воды».

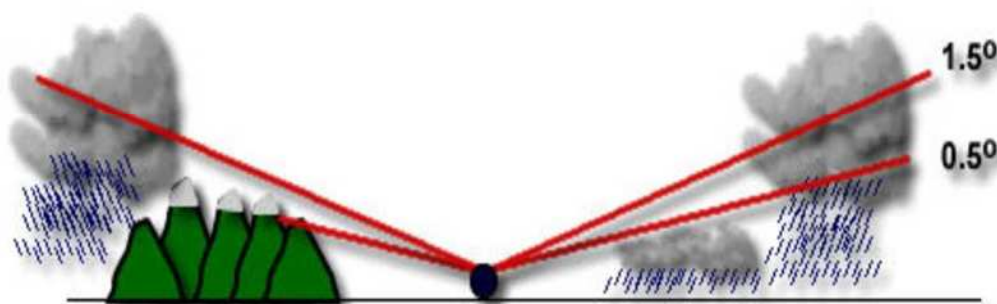


Рисунок 10.5 – Схема блокировки луча радиолокатора препятствиями.

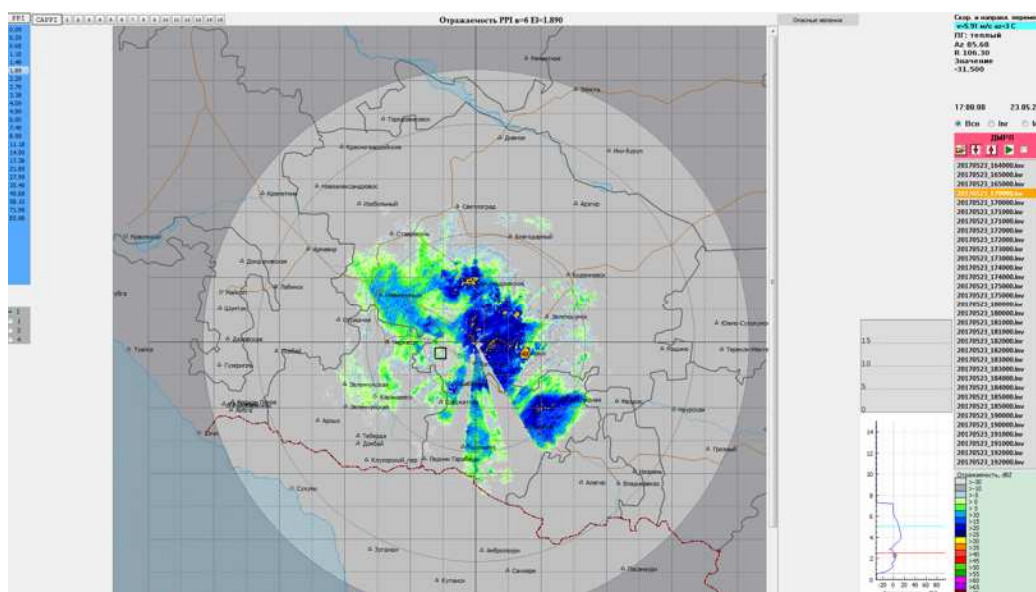


Рисунок 10.6 - Полная (секторы азимута 150-164 и 186-197°) и частичная (азимут 237-239°) блокировка радиолокационного луча элементами рельефа на ДМРЛ «Минеральные Воды» (карта PPI Z для угла места 1.89°)

Ослабление радиоизлучения в осадках.

При работе с информацией ДМРЛ следует учитывать влияние эффекта ослабления радиоизлучения в осадках, включая как ослабление в водяной плёнке, образующейся на РПУ при интенсивных осадках над местом установки ДМРЛ, так и ослабление радиоволн в осадках на трассе при прохождении протяжённых зон с высокими значениями Z . Ослабление в осадках может приводить к занижению опасности явлений погоды по данным ДМРЛ и даже к полному исчезновению радиоэха (рисунок 10.7). Несмотря на то, что эффект ослабления зондирующего радиоизлучения в осадках на длине волны 5,3 см (рабочая длина волны радиолокатора ДМРЛ-С) примерно на порядок меньше, чем на $\lambda=3,2$ см (рабочая длина волны первого канала радиолокатора МРЛ-5), тем не менее и на ДМРЛ-С отмечаются проявления сильного ослабления радиоизлучения в осадках.

Пример На рисунке 10.7 приведён пример ослабления радиоизлучения в осадках, когда за мощной Сb облачностью с грозами шквалами и ливнями радиоэхо отсутствует вообще (рисунки 10.6 а, б).

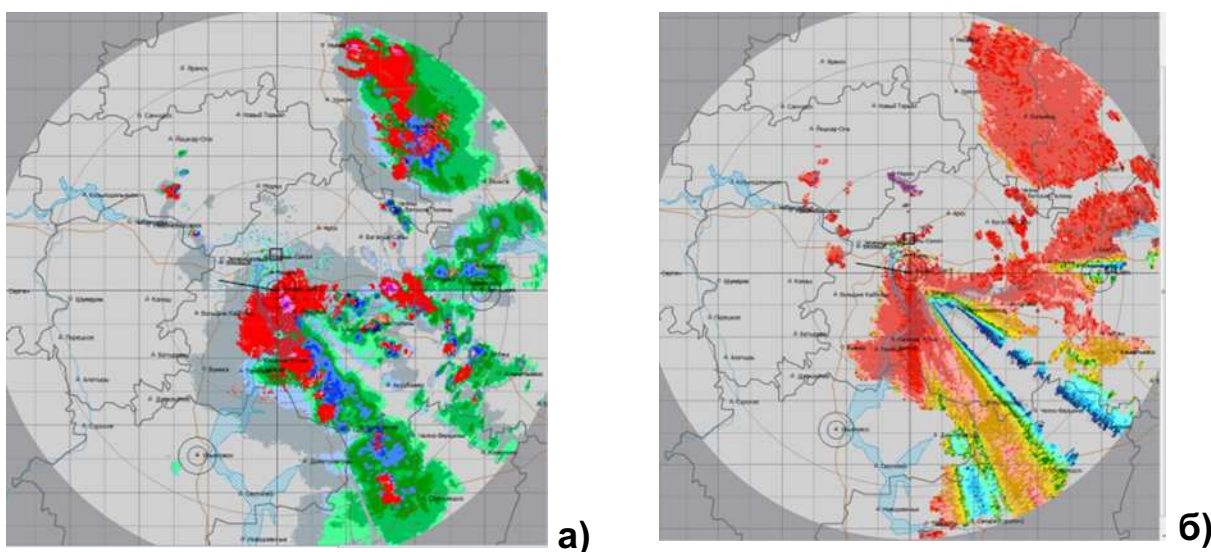


Рисунок 10.7 - Карта метеоявлений по ДМРЛ «Казань» с «пустым» сектором по азимутам 128-137°, экранированным мощной Сb облачностью со шквалами, грозами, ливнями вблизи ДМРЛ (а) и карта дифференциальной отражаемости Z_{dr} на высоте 5 км за этот же срок с «экранированным» сектором (б)

Ошибки радиолокационного метода измерения осадков

В отсутствие перечисленных выше ограничений, ошибка радиолокационного метода осадкомерных измерений связана с влиянием пространственно-временных

вариаций DSD - распределения частиц осадков по размерам в импульсном радиолокационном объёме.

Расчёт интенсивности осадков проводится, как указывалось в п. 6.7, с использованием формулы 6.2 Маршалла – Пальмера [11]. Это соотношение предполагает, что отражаемость измеряется достаточно низко (на высоте ~ 600 м в «ГИМЕТ-2010»), и профиль Z не претерпевает значительных изменений до земли.

На рисунке 10.8 в логарифмическом масштабе изображена схема 69-ти видов зависимостей интенсивности осадков R от величины радиолокационной отражаемости Z [68]. В зависимости от условий измерений осадков в различных климатических зонах, из облаков различного типа, коэффициенты A и b претерпевают существенные вариации. Каждая кривая на рисунке 10.8 соответствует паре значений коэффициентов A и b , полученной при измерении различными методами [11,13]. Отдельно жирной пунктирной линией 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 [13] было установлено, что радиолокационное измерение осадков становится точнее по мере увеличения интервала осреднения по пространству и времени. Измерения накопленных сумм осадков на интервалах от часа и более имеют удовлетворительную точность. 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 слоёв осадков 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 за счёт уширения луча ошибки радиолокационные измерения становятся слишком велики.

69 - R(Z) соотношений (Battan 1973)

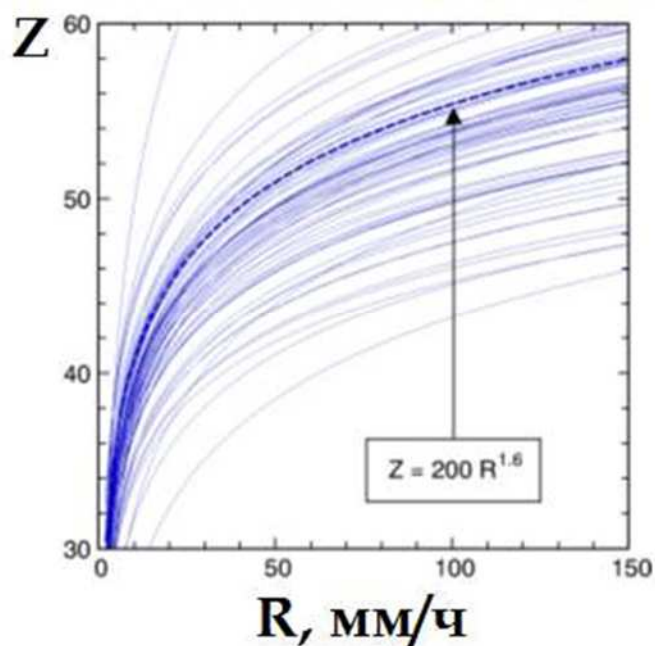


Рисунок 10.8 – Схема экспериментальных зависимостей R(Z) [68]

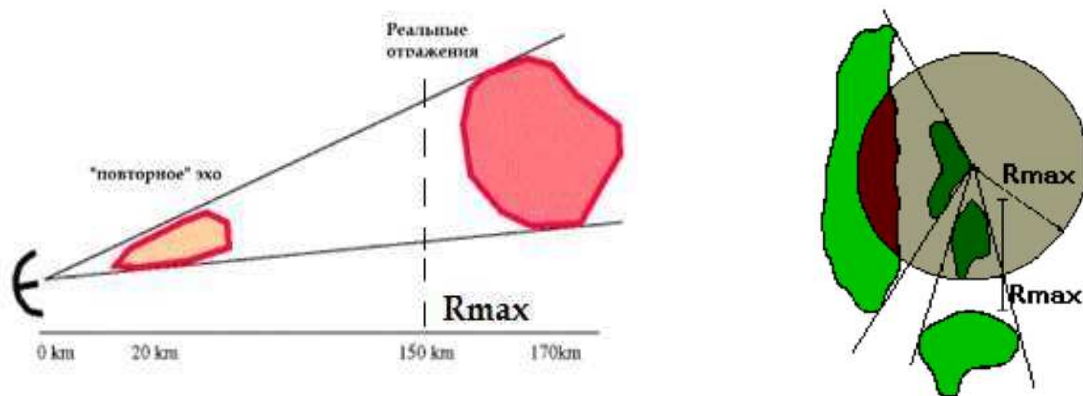
Наложение радиоэха из разных интервалов дальности

Проблема повторного прохода радиолуча (“second trip” – в англоязычной литературе) возникает при использовании для зондирования сигналов с высокой частотой повторения [24]. В случае ДМРЛ-С такая ситуация может возникать в режиме наблюдения «Скорость». Радиоэхо грозовых очагов с высокими значениями р/л отражаемости ($Z > 50-55$ dBZ), находящихся за пределами интервала однозначного определения расстояния до метеоцели $R_{\max}$, может дать ложный эхо-сигнал на близких дистанциях. Предельная дальность однозначного определения источника радиоэха $R_{\max}$ зависит от частоты повторения импульсов PRF и определяется следующей формулой:

$$R_{\max} = \frac{c}{2 \cdot PRF} \quad (10.2)$$

где c – скорость света, м/с; PRF – частота повторения, с⁻¹.

На рисунке 10.9 показана схема наложения сигнала радиоэха. Радиоэхо «second trip» намного слабее реальных отражений.

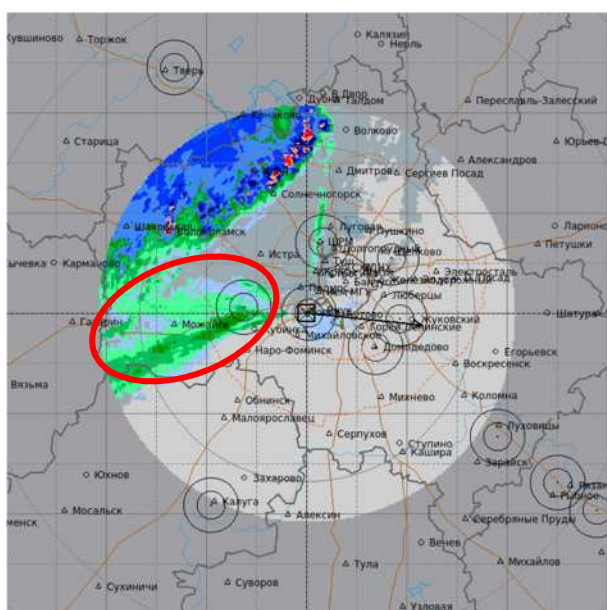


Вертикальный разрез

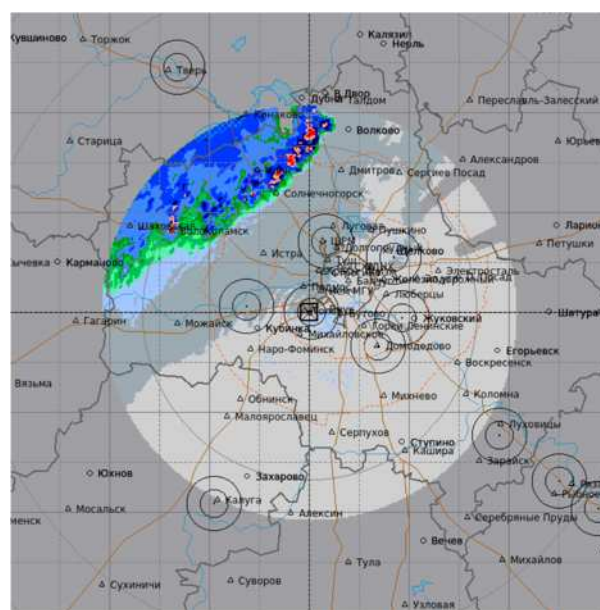
Вид сверху

Рисунок 10.9 – Схема отражения сигнала от мощной зоны осадков

Пример, иллюстрирующий второй приход радиосигнала в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010», приведён на рисунке 10.10, где представлена карта метеоявлений в режиме «скорость» по ДМРЛ «Внуково» с проявлением «Second trip» (выделено красным, рисунок 10.10 а). На рисунке 10.10 б представлена карта метеоявлений в режиме Inv, с устранёнными сигналами «повторного эха».



а)



б)

Рисунок 10.10 – Пример проявления повторного прихода радиолуча «Second trip» на карте метеоявлений ДМРЛ «Внуково» в режиме Inv (а) и пример его устранения (б).

Влияние отражений от «ясного неба» на вторичные р/л продукты

Источником радиоэха «ясного неба» могут быть как мелкие частицы в атмосфере (насекомые, семена), поднимаемые на большую высоту восходящими воздушными

потоками, так и неоднородности показателя преломления, порождаемые турбулентностью в пограничном слое (ПС) атмосферы до высот верхней границы ПС ~ 2.5-3.5 км. Эти отражения уверенно регистрируются метеорологическими радиолокаторами в X, C и S-диапазонах длин волн, с характерными значениями Z до 10-15 dBZ.

Отражения от «ясного неба» наблюдаются как в антициклонических условиях, так и перед приближающимися зонами осадков. В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» отражения от «ясного неба» в большинстве случаев достаточно эффективно отфильтровываются с использованием данных поляризационных измерений.

Влияние радиопомех на вторичные радиолокационные продукты

Метеорологические радиолокаторы, установленные в больших городах, часто подвержены негативному влиянию помех различной природы от источников радиоизлучения на близких к длине волны ДМРЛ-С. Помехи приводят к ошибкам юстировки (ориентирования) антенны по Солнцу, а также существенно искажают метеоинформацию ДМРЛ. На рисунке 10.11 приведены примеры влияния помех на вторичные продукты ДМРЛ: в суммах осадков (а), на карте метеоявлений (б). Все метеоявления, в т. ч. грозы, в очерченном красными линиями секторе являются ложными, так как обусловлены влиянием помехи.

В некоторых азимутальных секторах помехи действуют постоянно, но иногда они возникают и исчезают внезапно. В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» реализована фильтрация помех по набору критериев, однако полностью исключить их влияние программными средствами удается не всегда. В случаях обнаружения постоянно действующих помех ЦАО рекомендует УГМС - владельцам ДМРЛ обращаться в местные подразделения ГКРЧ для поиска и устранения источников помех. Подобным образом были устранены помехи на ДМРЛ «Самара», «Краснодар», «Внуково», «Шереметьево», «Воейково».

Метеоролог, работающий с информацией ДМРЛ, сам должен уметь распознавать ситуации с влиянием помех на вторичные радиолокационные продукты, используя метеоинформацию наземных, спутниковых, грозопеленгационных наблюдений. К проявлениям помех в данных ДМРЛ относятся случаи «ложных» зон ОЯ и/или зон выпадения осадков:

- где синоптическая ситуация не предусматривает развития ОЯ или выпадения осадков, например, в условиях антициклона;
- по наблюдениям на МС и по данным систем грозопеленгации не фиксируются разряды молний, по спутниковым данным не фиксируются зоны облачности;

- форма очагов ОЯ и зон выпадения осадков имеет «искусственный» регулярный вид, например, секторов, дуг, радиальных линий.

В настоящее время в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» усовершенствованы алгоритмы фильтрации р/эха помех, что позволило существенно «очистить» большинство вторичных продуктов ДМРЛ. На рисунке 10.12 (а) приведён пример синхронной помехи, дающей ложные грозы, которая полностью исключена при использовании фильтров (б).

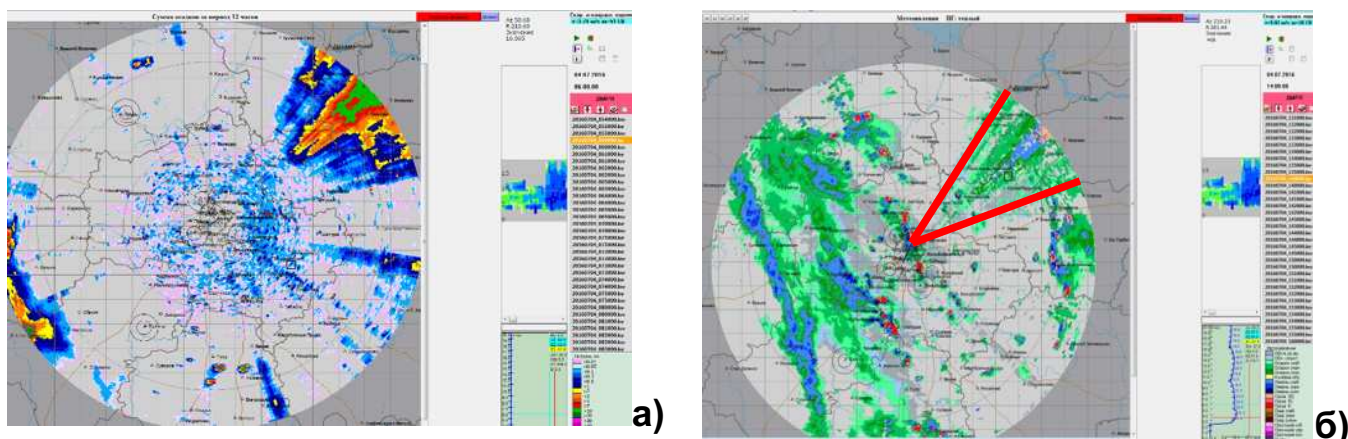


Рисунок 10.11- Иллюстрация влияния помех, проявляющихся на карте сумм осадков при их отсутствии (а) и на карте метеоявлений – в секторе (ограниченном красными линиями) – (б).

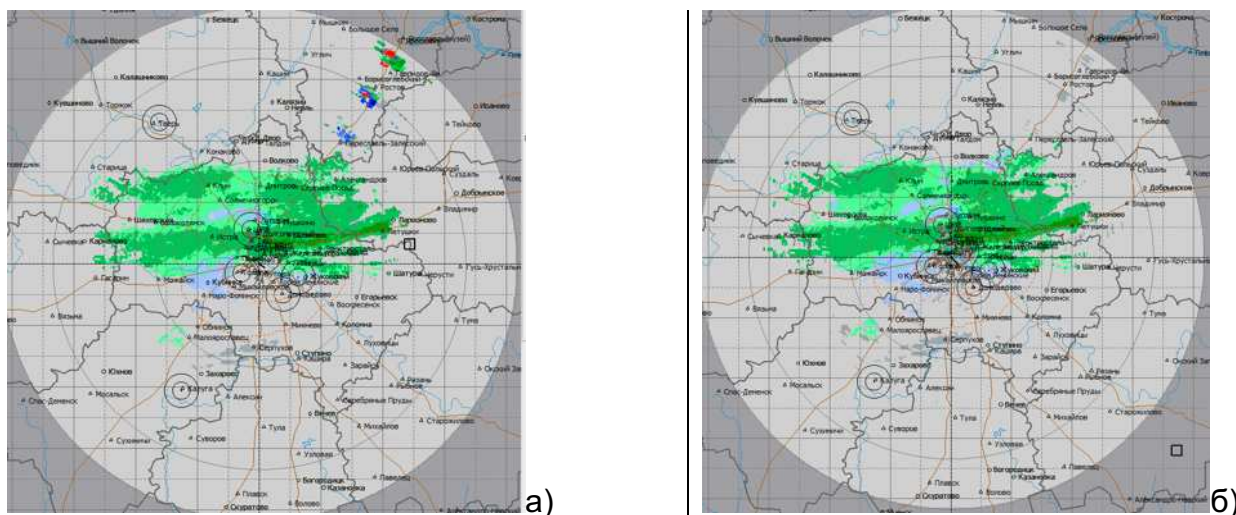
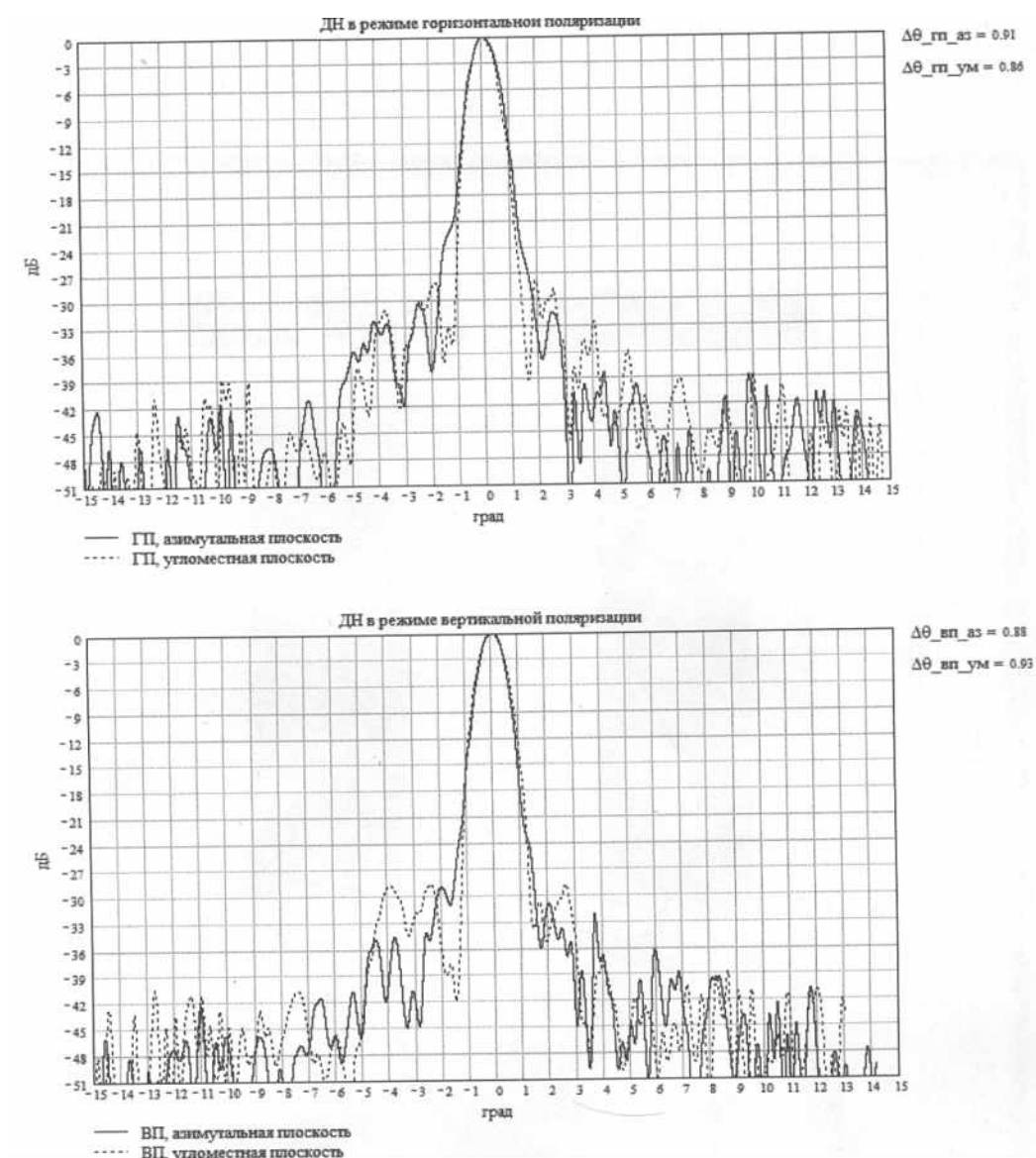


Рисунок 10.12 - Синхронная помеха (а), дающая грозы R, полностью исключённая с помощью фильтрации (б) - ДМРЛ «Профсоюзная», 26.03.2018 г., 15:30 ВСВ.

Влияние «боковых лепестков» ДНА на вторичные р/л продукты

Диаграмма направленности реальной антенны — осциллирующая функция, в которой выделяют глобальный максимум (главный, или основной лепесток), а также

прочие побочные локальные максимумы («боковые лепестки»). На рисунке 10.13 а) представлена диаграмма направленности антенны ДМРЛ-С в режимах горизонтальной и вертикальных поляризаций, из которой видно, что уровень боковых лепестков первых порядков составляет – 30... – 40 дБ. Это означает, что при наличии мощного сигнала в направлении бокового лепестка, оценка отражаемости будет произведена ошибочно (завышена). Если на одном из углов места ϕ детектируется сигнал уровня 50 dBZ, тогда на угле места $\phi+4^\circ$, согласно диаграмме, будет обнаружен побочный сигнал $50-33=17$ dBZ, обусловленный именно отражением от мощного сигнала, расположенного ниже (рис. 10.13 б). Ошибки такого рода могут в первую очередь проявляться в зонах над грозовыми очагами или градовыми ячейками. В результате, над ними формируется столб завышенной отражаемости, что приводит к завышенной оценке высоты верхней границы облачности.



а)

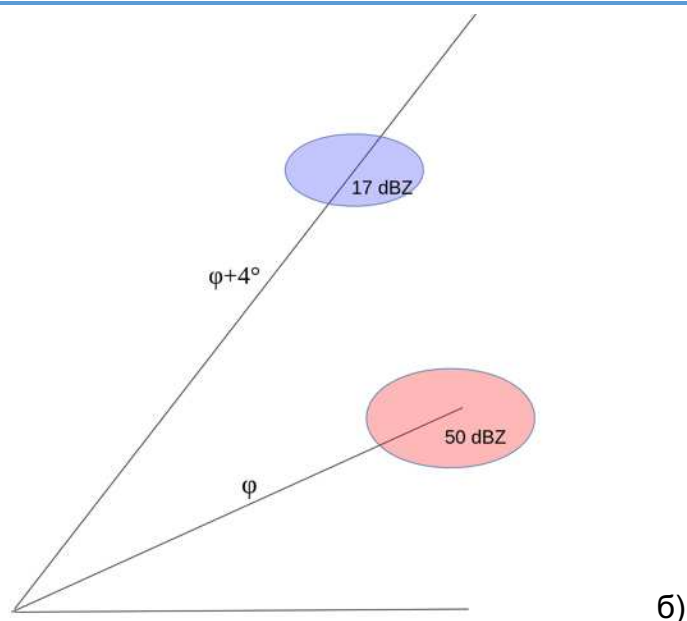


Рисунок 10.13 - а) ДНА ДМРЛ-С в режимах горизонтальной (вверху) и вертикальной (внизу) поляризации; б) – формирование побочного сигнала 17 dBZ

О точности локализации очагов опасных метеоявлений по данным ДМРЛ

Точность локализации метеоявлений (включая ОЯП) по информации ДМРЛ определяется спецификой радиолокационных наблюдений и зависит от скорости перемещения зон радиоэха. Дело в том, что все метеорологические характеристики по данным ДМРЛ рассчитываются в ПО ВОИ при обработке информации, собранной в файле первичных р/л данных, который рассматривается как “мгновенный” снимок, что не совсем верно. В разделе 4.3 описан процесс р/л сканирования ДМРЛ, из которого следует, что процесс сбора информации об облачности и осадках растянут во времени: информация от разных участков облачности собирается на разных конических сечениях, в течение временного интервала 5-8 минут. Таким образом, смещение радиоэха за этот интервал времени может служить мерой неопределённости местоположения метеобъектов по данным ДМРЛ. Естественно, величина этого смещения зависит от скорости перемещения зон облачности. Например, при скорости перемещения ≥ 60 км/ч очаг ОЯП за время р/л сканирования может переместиться на расстояние 10 и более километров. При этом следует иметь в виду, что измеряемая ПО ВОИ осреднённая скорость перемещения не всегда даёт верное представление о величине смещения границ радиоэха: например, в условиях интенсивного развития конвекции при относительно небольших скоростях переноса, смещение радиоэха может быть значительно, что определяет погрешность оценки местоположения важных характеристик, например, таких, как граница переднего фронта грозových очагов.

По этой же причине карты метеоявлений в режимах «отражаемость» и «скорость» за один и тот же срок наблюдений могут различаться.

Пример На рисунке 10.14 приведён пример карт метеоявлений по данным ДМРЛ «Тула» за 06:40 ВСВ 23.10.2019 г. в режиме Inr и Inv. На карте, полученной в режиме Inr, для удобства сравнения красной окружностью очерчена зона обзора радиусом 125 км, получаемая в режиме Inv. Видно, что за один и тот же срок карты метеоявлений в режимах Inr и Inv существенно различаются. Важно, что скорость переноса облачности в это время была высокой и составляла 23 м/с. Различие карт в режимах Inr и Inv обусловлено большими значениями вектора переноса и неодновременностью формирования сечений на различных углах.

Следует отметить, что из-за стробоскопического эффекта р/л наблюдений быстропротекающие и «короткоживущие» ОЯП, длящиеся несколько минут (например, град), могут быть пропущены по наблюдениям ДМРЛ. По этой причине, а также для повышения информативности р/л наблюдений в интересах авиационных потребителей, в современной радиометеорологии развивается тенденция сокращения длительности цикла наблюдений до 3-5 минут.

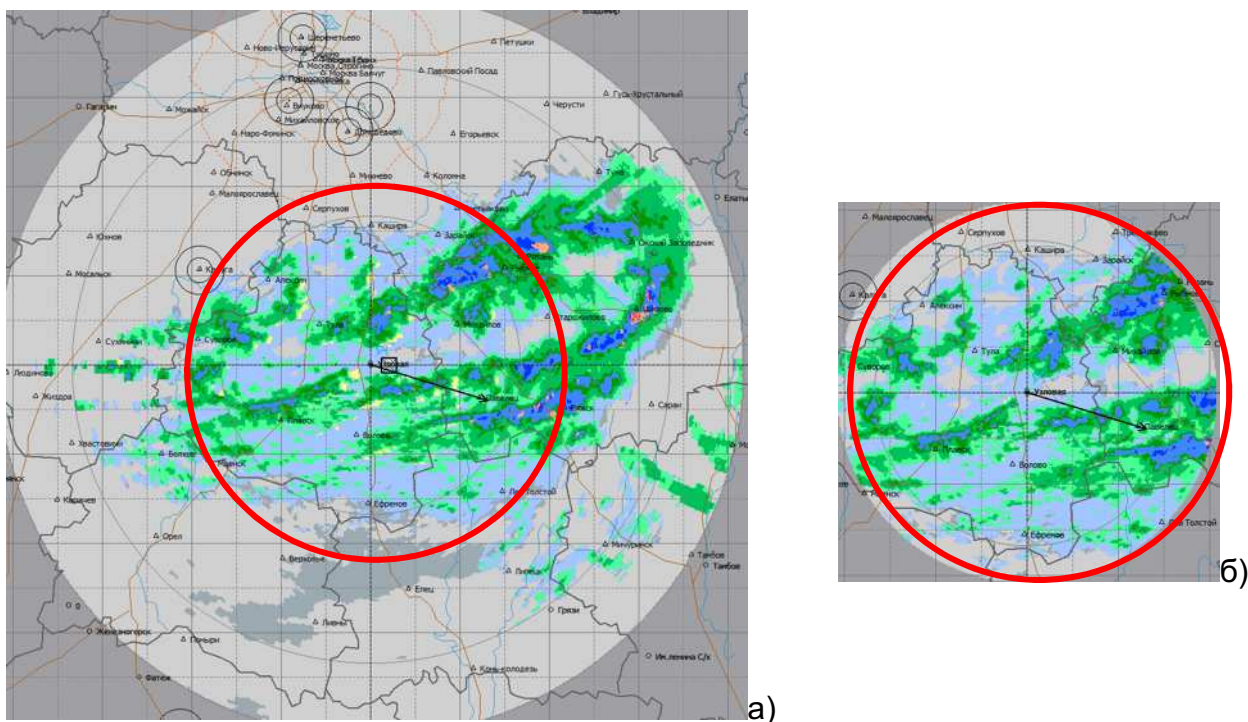


Рисунок 10.14 - Карты метеоявлений по данным ДМРЛ «Тула» за 06:40 ВСВ 23.10.2019 г. в режиме Inr (а) и Inv (б). За один и тот же срок карты метеоявлений в режимах Inr и Inv различаются

11 Организация контроля качества наблюдений на сети ДМРЛ

Радиолокационные метеорологические измерения параметров атмосферы, как и другие методы дистанционного зондирования природных сред, по своей природе являются косвенными. В отличие от контактных измерений метеопараметров в точке (например, на метеостанции), измерения на ДМРЛ представляют собой результат осреднения измерений в т.н. “импульсном объёме”, определяющем область пространства, в которой формируется радиоэхо. По мере удаления от ДМРЛ, р/л луч расширяется, “импульсный объём” также увеличивается, что приводит к снижению пространственного разрешения р/л наблюдений.

Учитывая эти особенности, для применения на практике данных радиолокационного зондирования очень важно постоянно контролировать их качество. Валидация (контроль качества) наблюдений ДМРЛ проводится для подтверждения соответствия характеристик атмосферы, полученных на ДМРЛ, результатам независимых метеорологических измерений. Для метеорологических радиолокаторов, как и для большинства приборов дистанционного зондирования атмосферы, не существует метеорологических эталонов измеряемых параметров атмосферы, таких, как р/л отражаемость, доплеровские и поляризационные характеристики распределённой (объёмной) цели, поэтому валидация р/л наблюдений проводится путём сравнения каждого вторичного р/л продукта с данными надёжных независимых метеорологических наблюдений [57].

В 2018 г. в ФГБУ «ЦАО» по заданию Росгидромета была разработана «Методика валидации наблюдений доплеровских метеорологических радиолокаторов, установленных на наземной наблюдательной сети» (далее: «Методика валидации»), которая была одобрена и рекомендована «для использования всеми организациями Росгидромета для оценки точности наблюдений метеорологических радиолокаторов, функционирующих на наблюдательной сети Росгидромета, а также при испытании образцов новых метеорологических радиолокационных средств» решением ЦМКП от 25.01.2019г. [57]. Ознакомиться с документом можно на сайтах ФГБУ «ЦАО» <http://meteorad.ru/normative> и ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета» в разделе «Нормативные документы РФ».

В «Методике валидации» заданы пороговые значения двух основных показателей оценки качества идентификации ОЯП – оправдываемости P_o и достоверности P_d :

$P_o \geq 70\%$ – удовлетворительно,	$P_d \geq 60\%$ – удовлетворительно,
$P_o \geq 80\%$ – хорошо,	$P_d \geq 70\%$ – хорошо,
$P_o \geq 90\%$ – отлично,	$P_d \geq 80\%$ – отлично.

Вывод о согласованности результатов идентификации ОЯ по ДМРЛ и эталону делается в случае, если по обоим показателям P_o и P_d достигнуты удовлетворительные результаты.

В ФГБУ «ЦАО» регулярно осуществляется валидация тех вторичных (метеорологических) продуктов ДМРЛ, для которых в Росгидромете накоплен опыт и существуют независимые и надёжные средства наблюдений в качестве эталонов [57]. К ним относятся опасные метеорологические явления, связанные с облачностью и осадками (ливень, гроза, гроза со шквалом, град), накопленные суммы выпавших осадков, высота верхней границы облачности, горизонтальный ветер (скорость и направление) на разных высотных уровнях, дальность видимости в осадках.

Валидация в ФГБУ «ЦАО» проводится в оперативном режиме – ежедневно, с использованием данных об ОЯП с МС в кодах WAREP, КН-01, данных АЭ для своевременной корректировки р/л отражаемости Z , а также – в неоперативном режиме - для оценки качества вторичных продуктов за месяц, квартал, сезон [57]. При этом используются ежемесячные таблицы ТМС, получаемые из территориальных УГМС.

Результаты оценки качества основных продуктов ДМРЛ ежегодно публикуются в «Методических письмах» ЦАО [34,35,54] (Сайт <http://meteorad.ru/letters>).

Приложения

Приложение 1

Технические характеристики радиолокатора ДМРЛ-С

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 – 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	Приёмник	
	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	Надёжность	
	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^{+10}_{-15} , 3 фазы
	Частота, Гц	$50 \pm 2\%$
	Мощность, потребляемая аппаратурой с учётом СОТР, кВт, не более	10

Приложение 2

Характеристики метеорологических радиолокаторов

Наименование параметра		МРЛ-2 [36, 37]	МРЛ-5 [36, 37, 38]		ДМРЛ-С	NEXRAD WSR-88D (США) [39, 40]	Vaisala WRM200 (Финляндия) [41, 42]	Gematronik Meteor500C (Германия) [43]	EEC DWSR 2501C (США) [44]
N			1 канал	2 канал					
1	Рабочий диапазон частот, МГц	9595	9595	2950	5600-5650	2700-3000	5500-5700	5500-5700	5200-5700
2	Антенна зеркальная параболич.								
	Угол места, град	от -1 до +98	от -1 до +98	от -1 до +98	от -2 до+91	от -1 до +60	от -2до+108	от -2 до+182	от -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 2-х 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 азимут/ 0.25 уг. места	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
4	Передатчик								
	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

Наименование параметра		МРЛ-2 [36, 37]	МРЛ-5 [36, 37, 38]		ДМРЛ-С	NEXRAD WSR-88D (США) [39, 40]	Vaisala WRM200 (Финляндия) [41, 42]	Gematronik Meteor500C (Германия) [43]	EEC DWSR 2501C (США) [44]
N			1 канал	2 канал					
1	Рабочий диапазон частот, МГц	9595	9595	2950	5600-5650	2700-3000	5500-5700	5500-5700	5200-5700
			1 канал	2 канал					
	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
6	Тип модуляции	моно	моно	моно	моно+НЧМ	моно	моно	моно	моно
	Приёмник								
	Чувствительность приёмника, минус дБ/Вт, не менее	132	134	135	142	143		142	143
	Коэффициент шума, дБ, не более	не нормиров	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
7	Подавление местников, минус дБ	-	-	-	>55	56	55	45	>46
	Обработка	РУЧНАЯ			ГИМЕТ-2010	ORDA	IRIS	RAINBOW	EDGE
	АЦП,бит	-	-	-	16		16	16	16
	Опорная частота, МГц	-	-	-	80		100	100	100
	Однозначно определяемая доп.скорость в режиме «скорость», м/с, не менее	-	-	-	±62.5	±42		±63.8	±128

Библиография

- [1] Руководство по эксплуатации, в 6-ти кн. Доплеровский метеорологический радиолокатор ДМРЛ-С. ЦИВР.462414.002 РЭ, М.:ЛЭМЗ, 2011.
- [2] Поляризационный доплеровский метеорологический радиолокатор С-диапазона со сжатием импульсов / В.С.Ефремов [и др.] // Журнал радиоэлектроники. – 2009. - № 10. – с.321-325.
- [3] 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.
- [4] Перечень сертификатов типа на метеорологическое оборудование, выданных МАК, <http://ksao.mak-iac.org/ksao/sertifikaty/meteo.pdf>
- [5] Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Формуляр, 623.02572456.01001-01 30 01, 2011, 8 с.
- [6] Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Описание программы, 623.02572456.01001-01 13 01, 2011, 108 с.
- [7] Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Ведомость эксплуатационных документов, 623.02572456.01001-01 20 01, 2011, 3 с.
- [8] Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Руководство оператора, 623.02572456.01001-01 34 01, 2011, 49 с.
- [9] Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Руководство системного программиста, 623.02572456.01001-01 32 01, 2011, 30с.
- [10] Программное обеспечение вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (Шифр «ГИМЕТ-2010»), Руководство программиста, 623.02572456.01001-01 33 01, 2011, 30 с.
- [11] Довиак, Р., Д. Зрнич, Доплеровские радиолокаторы и метеорологические наблюдения, - Л.: Гидрометеиздат, 1988.- 512 с.
- [12] Облака и облачная атмосфера. Справочник под ред. Мазина И.П. и Хргиана А.Х., Л., Гидрометеиздат, 1989, 646 с.
- [13] Боровиков А.М., В.В. Костарев, И.П. Мазин, В.И. Смирнов, А.А. Черников, Радиолокационные измерения осадков,–Л.:Гидрометеиздат, 1967-140 с.
- [14] Koistinen, J. Diagnosis of precipitation detection range / Koistinen, J., Hohti H., and Pohjola H.,- Preprints, 32nd International Conference on Radar Meteorology, AMS, 3 pp.- 2005.
- [15] Byers H.R. The thunderstorm, Report of the thunderstorm project, Byers H.R., Braham R.R., Washington. – 1949.
- [16] Сборник методических указаний по авиационной метеорологии. Лебедева Н.В. Прогноз ливней и гроз. Гидрометеиздат, Л., -1959.

- [17] Методические указания по использованию радиолокационных данных в синоптическом анализе и краткосрочном прогнозе погоды. Под ред. Веселовой Г.К., Фёдорова Ю.К.- М.: Гидрометеиздат, утверждены ЦМКП Госкомгидромета решением от 21.09.1979 г., 23 с.
- [18] Богаткин О.Г. Анализ и прогноз погоды для авиации / О.Г. Богаткин, В.Д. Еникеева. - Л.: Гидрометеиздат, 1985. - 230 с.
- [19] Lahiff, C.T., 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, Dep. of Commerce. 20 pp., Bohemia, NY.
- [20] Zeitler Jon W. «Radar Basics and Estimating Precipitation», Science and Operations Officer National Weather Service Austin/San Antonio Forecast Office Science, NWS, USA. (Электронный ресурс <https://slideplayer.com/slide/7741678/>).
- [21] Электронный ресурс Веб-ГИС «Метеорад» <http://meteorad.ru> .
- [22] Brown Rodger A., Wood Vincent T. A guide for interpreting Doppler velocity patterns. Northern Hemisphere Edition - NOAA/National Severe Storms Laboratory. Norman, Oklahoma. - 2007г.- 55 p.
- [23] Федеральные авиационные правила «Предоставление метеорологической информации для обеспечения полётов воздушных судов», утверждённые Приказом Минтранса РФ №60 от 03.03.2014 г.
- [24] Радиолокационные метеорологические наблюдения. Базлова Т.А., Бочарников Н.В., Брылёв Г.Б., Каргальский А.В. и др./ Под ред. Солонина А.С. – СПб.: Наука. – 2010г. В 2-х томах.
- [25] Автоматизированные метеорологические радиолокационные комплексы «Метеоячейка» СПб, Гидрометеиздат, 2007, с.49-51.
- [26] Инструкция для оперативно-прогностических и авиаметподразделений Росгидромета по использованию информации ДМРЛ в синоптической практике. Коллектив авторов под ред. Павлюкова Ю.Б. – М.: Росгидромет, введена в действие приказом № 368 от 23.08.2016 г. <http://meteorad.ru/static/instruction368.pdf> .
- [27] РД 52.27.724-2009 «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды» – Обнинск, «ИГ-СОЦИН», 2019 г., 62 с.
- [28] Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь - Л.Гидрометеиздат, 1974, с. 97.
- [29] РД 52.11.332-93 Методические указания. Методика выполнения радиолокационных наблюдений с помощью комплекса АКСОПРИ. М., 1993 г., 84 с.
- [30] Иванова А. Р. Опыт верификации численных прогнозов влажности и оценка их пригодности для прогноза зон обледенения воздушных судов. Метеорология и гидрология, 2009, № 6, с. 33 - 46.
- [31] Наставление метеорологическим станциям и постам, вып.3 ч.1. Л., Гидрометеиздат, 1985 г., 299 с.
- [32] РД 52.88.699-2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений.-М.,2008г.,30 с.
- [33] Расследование авиационных происшествий и инцидентов, связанных с метеорологическими факторами. Методическое пособие, Утверждено Приказом Росгидромета №170 от 06.07.2009, Метеоагентство Росгидромета, М., 2009г.,110 с.

- [34] Методическое письмо об итогах работы сети ДМРЛ Росгидромета в 2014г. ФГБУ «ЦАО», Долгопрудный, 2015 г., 78 с., <http://map.meteorad.ru/documents>
- [35] Методическое письмо об итогах работы сети ДМРЛ Росгидромета в 2015г. ФГБУ «ЦАО», Долгопрудный, 2016 г., 78 с., <http://map.meteorad.ru/documents>
- [36] Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5.-М., СПб., Гидрометеиздат, 1993. 264 с.
- [37] Метеорологический радиолокатор МРЛ-2. Техническое описание (ЕУ 230 014 ТО)
- [38] Метеорологический радиолокатор МРЛ-5. Формуляр (1 230 032 ФО).
- [39] Технические характеристики системы NEXRAD
<http://www.roc.noaa.gov/WSR88D/Engineering/NEXRADTechInfo.aspx>
- [40] Технические характеристики метеорологического радиолокатора WSR-88D
<http://www.radartutorial.eu/19.kartei/10.weather/karte011.en.html>
- [41] Технические характеристики метеорологического радиолокатора WRM200
<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/WEA-MET-WRM200-Datasheet-B210698EN-E-LOW.pdf>
- [42] Installation manual Vaisala Weather Radar WRM200 (M210864EN-B)
- [43] Техническое описание метеорологического радиолокатора METEOR 500C.
<http://www.inmh.ro/uploads/meteor.pdf>
- [44] Техническое описание метеорологического радиолокатора EEC DWSR-2501C
<http://www.eecradar.com/pdf/EEC-C-Band-Specs.pdf>
- [45] Руководство по сдвигу ветра на малых высотах, ИКАО, Дос/9817-AN/449. Издание первое, 2005 г., 258 с.
- [46] Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации (под ред. А.А. Васильева, К.Г. Абрамович) Л., Гидрометеиздат, 1985 г., 301 с.
- [47] Шакина Н.П., Иванова А.Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации, М., Триада лтд, 2016, 312 с.
- [48] Программа и методики сертификационных испытаний доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С ЦИВР.462414.002 ОАО «НПО «ЛЭМЗ», Москва, 2012.
- [49] Российский гидрометеорологический словарь. Под ред. А.И.Бедрицкого, СПб., «Летний сад», 2009 г., с.66.
- [50] Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации, Приложение 3 к Конвенции о международной гражданской авиации, ИКАО, Издание 19, 2016г., 218с.
- [51] Приказ №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».
- [52] Технический проект «Общесистемные решения по сбору, анализу, контролю и представлению радиолокационной информации от ДМРЛ-С», Росгидромет, Утверждён 31.01.2014г., с.64,(<http://meteorad.ru/static/TP-DMRL-2014.pdf> .)
- [53] Бин Б.Р., Даттон Е.Дж. Радиометеорология, Л., Гидрометеиздат, 1971 г., 361 с.

- [54] Методическое письмо об итогах работы сети ДМРЛ Росгидромета в 2018г. ФГБУ «ЦАО», Долгопрудный, 2018 г., 117 с.,
(http://map.meteorad.ru/static/method_letter_2018.pdf)
- [55] РД 52.27.339-93. Руководство по диагнозу и прогнозу опасных и особо опасных осадков, града и шквалов по данным метеорологических радиолокаторов и искусственных спутников Земли.
- [56] А.А. Алексеева, Б.Е. Песков Оценка максимальной скорости конвективного потока, характеристик ливневых осадков и града по радиолокационной информации – Труды Гидрометцентра России, 2016 г., вып. 360, с.135-148.
- [57] Методика валидации наблюдений доплеровских метеорологических радиолокаторов, установленных на наземной наблюдательной сети. Одобрена ЦМКП решением от 24.12.2018 – Ю.Б. Павлюков, Н.И Серебрянник, Д.П. Корнев и др.- Долгопрудный, 2018 г., 50 с.
(http://meteorad.ru/static/validation_method_2018.pdf).
- [58] Влияние мезометеорологических процессов в нижней тропосфере на условия полётов воздушных судов на малых и средних высотах – С.М. Шметер, А.А. Постнов, Н.А. Безрукова, М., Гидрометеиздат, 1988 г., с.43.
- [59] Программный комплекс вторичной обработки информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С (шифр «ГИМЕТ-2010») версия 02. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Правообладатель: ФГБУ «ЦАО», номер регистрации (свидетельства): 2018665447, дата регистрации: 05.12.2018.
- [60] Башкирский смерч: возможности анализа и прогноза смерчеопасной ситуации. – М.А. Новицкий, Ю.Б. Павлюков, Б.Я. Шмерлин и др./ МиГ, 2016, 310, с. 30-40.
- [61] Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. Глава 7 Радиолокационные измерения. Изд. ВМО_№8, 2017 г.
- [62] Weather radar-Part 1: System performance and operation. World Meteorological Organization, 2018, 97 p.
- [63] Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб, Гидрометеиздат, 2000 г., 779 с.
- [64] Приказ Росгидромета от 30.09.2009 г. №257 «О внедрении на сети Росгидромета «Порядка проведения работ по выбору позиций для размещения доплеровских метеорологических радиолокаторов наблюдательной сети Росгидромета».
- [65] Приказ Росгидромета № 52 от 14.02.2014 г. «О введении в действие временных методических указаний по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике».
- [66] РД 52.04.285-88. Методические указания по определению шквалов с использованием данных МРЛ.
- [67] РД 52.04.567-2003. Положение о государственной наблюдательной сети.
- [68] Battan L.J. Radar observation of the atmosphere. London, 1973, 324p.
- [69] Русин И.Н., Тараканов Г.Г. Сверхкраткосрочные прогнозы погоды, СПб, изд. РГГМИ, 1996, с.39.
- [70] Baldini L., Gorgucci E., Chandrasecar V. Hydrometeor classification methodology for C-band polarimetric radars.- ERAD 2004, p.62 – 65.