

ПЕРМСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

А. А. Поморцева

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТЕОРАДАРОВ В СИНОПТИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. А. Поморцева

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТЕОРАДАРОВ В СИНОПТИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

*Допущено методическим советом  
Пермского государственного национального  
исследовательского университета в качестве  
учебного пособия для студентов, обучающихся  
по направлению подготовки бакалавров  
«Гидрометеорология»*



Пермь 2021

УДК 551.502ю1(075.8)

ББК 26.236я73

П556

**Поморцева А. А.**

**П556** Использование метеорадаров в синоптической практике [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. А. Поморцева ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. Электронные данные. – Пермь, 2021. – 12,4 Мб ; 89 с. – Режим доступа: [www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/pomorceva-ispolzovanie-meteoradarov-v-sinopticheskoy-praktike.pdf](http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/pomorceva-ispolzovanie-meteoradarov-v-sinopticheskoy-praktike.pdf). – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3670-9

Учебное пособие посвящено применению данных метеорологических радиолокаторов (МРЛ и ДМРЛ) в синоптической практике авиаметеостанций и территориальных бюро погоды. В пособии рассмотрены особенности получения и интерпретации метеорологической радиолокационной информации, возможности определения характера облачности и оценки по данным МРЛ, ДМРЛ положения фронтов, метеорологическая эффективность обнаружения и интерпретации сведений об опасных явлениях (грозы, град, ливни), прогноз скорости и направления перемещения опасных явлений различных масштабов, возможности радиолокационного определения структуры осадков в разных условиях, взаимодействие данных метеорадаров с другими видами аэросиноптической информации.

Учебное пособие предназначено для студентов 3-го курса, обучающихся по направлению подготовки 05.03.04 «Гидрометеорология» (бакалавриат), профиль / направленность – Метеорология. Также будет полезно для специалистов по краткосрочным прогнозам погоды, оперативных работников сети Гидрометслужбы, студентов вузов и техникумов метеорологического профиля.

Табл. 9 Ил. 51. Библиогр. 11 назв.

**УДК 551.502ю1(075.8)**

**ББК 26.236я73**

*Издается по решению ученого совета географического факультета  
Пермского государственного национального исследовательского университета*

*Рецензенты:* кафедра метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского (Приволжского) федерального университета (и.о. зав. каф. – канд. геогр. наук, доцент **Н. А. Мирсаева**);

начальник АМСГ Пермь УФ ФГБУ «Авиаметтелеком Росгидромета», канд. геогр. наук, доцент **О. Ю. Булгакова**

ISBN 978-5-7944-3670-9

© Поморцева А. А., 2021

© ПГНИУ, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение.....</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. Использование информации МРЛ в синоптической практике.....</b>	<b>8</b>
1.1. Применение данных МРЛ для определения характера и пространственного распределения облачности.....	8
1.2. Особенности использования информации МРЛ для анализа атмосферных фронтов.....	13
<b>Глава 2. Использование информации ДМРЛ в синоптической практике.....</b>	<b>22</b>
2.1. Грозовая облачность на картах метеоявлений. Внутримассовая и фронтальная облачность.....	22
2.2. Слоистообразная и кучевообразная облачность при разных синоптических процессах и связанные с ней осадки и опасные явления.....	35
2.3. Особенности использования доплеровской информации ДМРЛ для анализа синоптической ситуации.....	44
<b>Глава 3. Использование радиолокационной информации для анализа метеоусловий и подготовки прогнозов погоды и штормовых предупреждений.....</b>	<b>49</b>
3.1. Использование информации МРЛ для анализа и прогноза опасных явлений погоды.....	55
3.2. Использование информации ДМРЛ для анализа и прогноза опасных явлений погоды.....	63
<b>Литература.....</b>	<b>73</b>
<b>Приложение 1. К определению высот верхней (<math>H_{\text{вго}}</math>) и нижней (<math>H_{\text{нго}}</math>) границ радиоэха.....</b>	<b>75</b>
<b>Приложение 2. Использование информации ДМРЛ при фронтальном анализе.....</b>	<b>78</b>
<b>Приложение 3. Диагноз опасных явлений по данным ДМРЛ.....</b>	<b>83</b>
<b>Приложение 4. Развитие опасных конвективных явлений.....</b>	<b>86</b>



## ВВЕДЕНИЕ

С помощью радиолокаторов синоптики 80 лет предсказывают погоду: используют от военных РЛС, приспособленных к нуждам метеорологов, до специализированных метеорологических радаров. За это время сменилось не одно поколение радиолокационных систем, изменился подход к прогнозированию погоды и ее опасных проявлений, но информация радаров остается самой востребованной в теплый период при активизации циклонических процессов и в холодный период года при развитии южных, юго-западных процессов.

Подойдя к изучению данного курса, студенты уже обладают фундаментальными знаниями в области физической метеорологии, синоптической метеорологии, информатики, методов обработки метеорологической информации. В изучаемом курсе будут раскрыты возможности использования метеорадаров в оперативной работе синоптика.

Развитие промышленности делает человека все более уязвимым перед силами природы. Все больший экономический ущерб наносят природные катастрофы, все больше человеческих жизней забирают. В процентном отношении наносимый природой ущерб сравним с потерями 100, 500, 1000 лет назад, однако современные потери, выраженные в миллиардах долларов и сотнях человеческих жизней, кажутся несравненно большими. Предотвратить наступление или снизить урон от катастрофического буйства стихии посредством заблаговременного его предсказания – это задача сейсмологов, океанологов, гидрометеорологов, и человеку в этом помогает техника.

На одном из первых мест по частоте возникновения (и не последнем – по потерям) стоят опасные явления погоды: катастрофические ливни, грозы, град, смерчи. Для наблюдения за изменением погоды и фиксированием ее состояния в конкретный срок по всей территории земного шара расположены метеорологические наблюдательные станции, работающие по единой программе. В России до 1990 г. действовало 7332 метеостанции, в 1992 г. – 5654, а в 2002 г. – лишь 4898. Сокращение количества метеостанций в настоящее время, к счастью, прекратилось, однако гидрометеорологической наблюдательной сети был нанесен серьезный урон. Это не могло не сказаться на качестве прогноза погоды, поскольку редкая сеть гидрометеостанций не всегда позволяет предсказать опасное явление, особенно если оно формируется на не оснащенной метеостанциями территории. Согласно исследованиям Гидрометцентра РФ, оправдываемость опасных явлений с 1993 по 2002 г. снизилась с 96 до 85,7 %.

Особо сложным считается прогноз конвективных явлений (грозы, ливней, града), масштаб которых десятки – первые сотни километров. Данные явления связаны с кучево-дождевыми облаками (*Cb*). Основным источником получения информации о пространственном распределении конвективных явлений является метеорологический радиолокатор (МРЛ). Данные радиолокационных наблюдений одного МРЛ предупреждают о появлении конвективного явления с заблаговременностью 1–3 часа, а несколько МРЛ, обзор которых перекрывает друг друга, дают возможность прогнозировать такие явления на срок до 12 часов.

В основе МРЛ лежит принцип радиолокации. Радиолокация – область радиотехники, которая использует излучение и отражение электромагнитных волн для обнаружения объектов и получения их характеристик путем преобразования отраженного сигнала.

Дата рождения радиолокационной метеорологии известна с точностью до минуты, это произошло в тот момент, когда 20 февраля 1941 г. на побережье Великобритании при наблюдении за самолетом с помощью военной радиолокационной станции на расстоянии свыше 11 км была обнаружена зона осадков.

В настоящее время МРЛ имеют широкое применение во всем мире. Они обладают обширным диапазоном возможностей и приспособлены к нуждам конкретной страны.

МРЛ, разработанные в России (МРЛ-2, МРЛ-5, ДМРЛ-С), по всем рабочим параметрам превышают требования Всемирной метеорологической организации к метеорологическим радарам, не уступают и даже превосходят параметры подобных МРЛ Японии, Италии, Англии, Германии, США.

Помимо штормоповещения и метеобеспечения гражданских служб, населения и авиации МРЛ служат также эффективным средством получения информации о состоянии облачности после воздействия на нее с целью предотвращения ливней и града либо увеличения осадков в засушливых районах, с их помощью изучают электрическую активность и зоны турбулентности в кучево-дождевых облаках.

С 90-х гг. прошлого века ручную обработку результатов радиолокационных наблюдений сменили автоматизированные системы, которые сами запускают радиолокатор для наблюдений, получают и обрабатывают их результаты и представляют пользователю отчет в виде карты метеоявлений с выделением контуров опасных явлений. В России автоматизация МРЛ-5 производится с помощью двух программных комплексов: АКСОПРИ (автоматизированный комплекс сбора, обработки и представления радиолокационной информации), разработчиком которого является Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО), и АМРК (автоматизированный метеорологический радиолокационный комплекс) «Метеоя-

чейка», разработанный Институтом радарной метеорологии (ИРАМ). Автоматизация работы ДМРЛ-С производится посредством программного комплекса ГИ-MET-2010 (ЦАО).

При радиолокационной классификации явлений погоды решения о конвективных опасных явлениях (ОЯ) принимаются на основе критериев распознавания по косвенным признакам – высоте радиоэха кучево-дождевого облака и его отражаемости. Отражаемость характеризует отражающие свойства единицы объема облачных элементов и выражается в  $\text{мм}^6/\text{м}^3$  или дБZ. Степень соответствия радиолокационной информации о конвективных ОЯ данным наземных наблюдений выявляется сопоставлением этих видов информации. Критерии распознавания различны для разных физико-географических районов, сезонов года, конкретных МРЛ, принятых методик измерения, поэтому для нужд конкретного региона необходимо проводить собственное исследование по выявлению или уточнению критериев.

Выделяют однозначные и комплексные критерии распознавания конвективных ОЯ. К однозначным критериям относится величина отражаемости в  $Cb$  с явлением на высоте изотерм  $0^\circ$  и  $-22^\circ\text{C}$  ( $\lg Z_2$  и  $\lg Z_3$  соответственно), которая определяет связь отражаемости облака с количеством осадков и восходящими потоками в облаке. В пределах некоторого интервала значений можно с определенной степенью уверенности говорить о наличии того или иного явления, превышение значения  $\lg Z$  над установленным пороговым критерием свидетельствует о том, что отмечается другое явление, обладающее большей интенсивностью, и наоборот.

Другим однозначным критерием служит максимальная высота радиоэха явления  $H_{\max}$ . В ходе своего развития конвективное облако достигает стадии, при которой начинается оледенение его вершины. С этого момента создаются условия для начала интенсивного разделения электрических зарядов и превращения облака в  $Cb$ . Так, возникновение гроз и града происходит после превышения радиоэхом  $Cb$  уровня изотермы  $-22^\circ\text{C}$ , при этом интенсивность явления зависит от мощности переохлажденной части облака ( $\Delta H = H_{\max} - H_{-22^\circ\text{C}}$ ).

Считается, что развитие облаков по вертикали происходит до уровня тропопавзы, которая в силу своих характеристик является задерживающим слоем для водяного пара. Но в летний период иногда наблюдаются вертикальные движения воздуха такой интенсивности, что происходит «пробивание» тропопавзы и вынос водяного пара за ее границы. Поэтому превышение облаком уровня тропопавзы ( $\Delta H_{\text{троп}} = H_{\max} - H_{\text{троп}}$ ), также может служить критерием распознавания кучево-дождевых облаков.

Комплексные критерии рассчитываются на основе нескольких радиолокационных параметров облаков. Так определяется критерий грозоопасности  $Y$ :

$$Y = H_{\max} \cdot \lg Z_3.$$

При резкой смене погоды рекомендуется проводить ежедневную корректировку критерия грозоопасности по высоте изотермы  $-22^{\circ}\text{C}$  ( $Y_{\text{кр}}$ ):

$$Y_{\text{кр}} = H_{-22^{\circ}\text{C}} \cdot \lg Z_{\min \text{ гр.}}$$

Здесь  $\lg Z_{\min \text{ гр.}}$  – минимальное значение  $\lg Z_3$  в грозах. При  $Y < Y_{\text{кр}}$  фиксируется ливень.

# ГЛАВА 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ МРЛ В СИНОПТИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

В настоящее время на метеорологической сети России используются два вида радиолокационных систем: МРЛ (метеорологический радиолокатор) и ДМРЛ (доплеровский метеорологический радиолокатор).

Данные МРЛ могут обрабатываться в ручном (МРЛ-2) или автоматическом режиме (МРЛ-5) с помощью программ обработки и представления информации АМРК «Метеоячейка» (ИРАМ) или АКСОПРИ (ЦАО). Информация ДМРЛ представляется с помощью программы первичной обработки «ГИМЕТ-2010» (ЦАО).

Для составления прогноза синоптик по данным МРЛ в неавтоматическом режиме получает сведения о форме, характере и площади радиоэха облачности и зон осадков (РОЗО), а также об интенсивности явлений и их перемещении.

## 1.1. Применение данных МРЛ для определения характера и пространственного распределения облачности

Данные МРЛ о наблюдаемых типах радиоэха, конфигурации и размерах площади РОЗО позволяют отнести облачность к фронтальной или внутримассовой. Радиоэхо фронтальной облачности и осадков, как правило, отмечается на экране МРЛ в виде единой системы облачности достаточно больших горизонтальных размеров. Радиоэхо существует продолжительное время и прослеживается от одного срока наблюдений к другому, обнаруживая при этом тенденцию к упорядоченному перемещению как единого целого.

Радиоэхо конвективной внутримассовой облачности имеет вид хаотически распределенных изолированных очагов (ячейка, малая мезомасштабная площадь, большая мезомасштабная площадь). Они могут распадаться и возникать на любом участке территории обзора МРЛ, не проявляя при этом заметной связи: с положением и распределением этих же зон в предшествующие сроки. Существенное влияние на количество и суммарную площадь зон радиоэха конвективной облачности (РКО) внутримассового происхождения оказывает суточный ход температуры воздуха. Радиоэхо внутримассовой слоистообразной облачности (РСО) из-за небольших радиусов ее обнаружения наблюдается на МРЛ в виде обособленных небольших зон. Эти зоны, как правило, располагаются в непосредственной близости от МРЛ (до 30 км). В течение значительного времени (порядка нескольких часов) их форма и местоположение устойчиво сохраняются.

*Ориентация РОЗО относительно приземной линии фронта.* При смещении теплого фронта в район обзора МРЛ можно выделить такую последовательность

типов радиоэха: приподнятое РСО→РСО→РКСО (радиоэхо конвективной и слоистообразной облачности). Наблюдение РСО с линией таяния (нулевая изотерма) в теплый период указывает практически однозначно на наличие теплого фронта. РКСО чаще встречается при фронтах окклюзии, при теплых фронтах РКСО отмечается обычно в ночные часы или в зимний период. Холодные (основные и вторичные) фронты наблюдаются в виде отдельных зон или полос РКО, ориентированных вдоль фронта. Длина и плотность расположения зон РКО тем больше, чем ярче выражен фронт и чем больше горизонтальный контраст температуры.

Теоретические расчеты на моделях фронтов, а также учет особенностей информации МРЛ показывают, что совпадение передних или тыловых границ РОЗО с приземным положением фронтов не может быть слишком частым потому, что граница крупномасштабных вертикальных движений не всегда совпадает с линией фронта. Например, если над фронтальной поверхностью наблюдаются и восходящие и нисходящие вертикальные движения, облачные системы и зоны осадков могут быть смещены относительно линии фронта у поверхности земли или иметь пятнистый характер. В другом случае, если область интенсивных восходящих вертикальных движений смещена в сторону холодного воздуха, облачные системы и особенно зона осадков могут быть оторваны от фронта.

Несмотря на ограниченный радиус обнаружения некоторых слоистообразных форм облачности на МРЛ, для РОЗО (особенно на стыкованных картах) в общем случае справедливы закономерности распределения облачности и осадков относительно линии фронта, хорошо известные всем синоптикам. У теплых фронтов основная площадь РОЗО обычно располагается преимущественно перед линией фронта. У холодных фронтов большая часть площади РОЗО располагается за фронтом. У малоподвижных фронтов с волнами РОЗО расположено в основном одинаково по обе стороны от линии фронта, лишь в районе волновых возмущений часто заметно расширение зоны радиоэхо в сторону холодного воздуха.

В центральных частях циклона менее всего следует ожидать совпадения границ РОЗО с линиями фронтов. В таких синоптических системах вынужденный упорядоченный подъем приводит к формированию систем облаков и осадков, которые распределены не в направлении вдоль линии атмосферных фронтов, а лишь совпадают с районом, где имеются интенсивные восходящие движения и достаточно высокая влажность.

Наиболее частого совпадения полос РОЗО и приземных линий фронта можно ожидать на участках атмосферных фронтов, которые хорошо выражены в поле метеозлементов. В этих условиях развиваются полосы РОЗО, ориентированные строго в определенном направлении и имеющие достаточно четкую конфигурацию с ровными тыловыми и передними краями.

В периферийных частях циклонов, где на характере облачности сказывается размывающее воздействие гребней антициклонов, фронтальные облачные системы слабо выражены и обычно не сопровождаются значительными осадками. В таких ситуациях данные МРЛ для оценки положения фронтов малоэффективны.

Линии теплых фронтов должны совпадать с тыловой границей РОЗО, когда тыловая граница зоны осадков совпадает с приземной линией фронта. Совпадения не происходит, если в теплом секторе отмечается выпадение обильных морозящих осадков или активное развитие полос РКО. Полосы РКО, возникающие перед приземной линией теплого фронта, в результате увеличения вертикальных движений воздуха, как правило, стремятся к параллельности с этим фронтом.

Мезомасштабные зоны РКО, возникшие на фоне крупномасштабной зоны РСО (у фронтов окклюзии и теплых фронтов), связанные с неустойчивостью, обычно ориентированы вдоль теплых фронтов и фронтов окклюзии.

Для облачной системы стационарного фронта с волнами характерны образование и наличие кучево-дождевой облачности с грозами и ливнями, сосредоточенной в узкой зоне по обе стороны фронта (рис. 1).

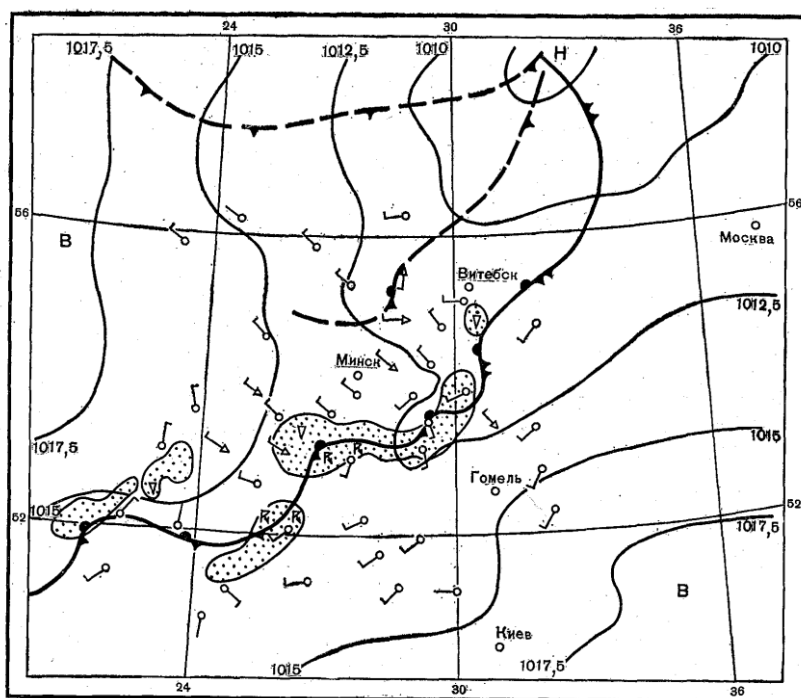


Рис. 1. Схематическое изображение фронтов и данных МРЛ (зоны, обозначенные точками) на кольцевой карте погоды

При обнаружении малоподвижных стационарных фронтов радиолокационные данные особенно полезны для синоптика в следующих ситуациях:

1) при наличии малоградиентного и безградиентного барического поля, когда ветры у земли в значительной степени определяются орографией местности и их направление имеет «случайный» характер;

2) когда фронты плохо выражены у земли в поле других метеоэлементов за исключением облачности;

3) когда фронты, считающиеся стационарными, начинают незначительно смещаться, причем это смещение может иметь характер колебаний относительно своего среднего положения.

Все изложенное о стационарных фронтах справедливо в основном для теплого полугодия. В холодный период эти фронты в поле облачности проявляются менее четко, над сушей облачность носит преимущественно слоистообразный характер.

При совпадении холодного фронта с барической ложбиной РОЗО сольется с фронтом или будет обнаруживаться вблизи ложбины. Полосы РКО в теплом секторе, как правило, располагаются параллельно течению основного воздушного потока (на уровне 3–5 км) и направлены почти под прямым углом к линии теплого фронта (рис. 2).

Полосы РКО могут образовываться внутри воздушных масс вдоль слабо выраженных приземных ложбин. Эти ложбины соответствуют остаточным почти размывающимся фронтам.

С помощью МРЛ надежно обнаруживаются линии шквалов. Они расположены обычно параллельно холодным фронтам и на сравнительно небольшом расстоянии (100–200 км) от них. Возникновение линий шквалов обычно совпадает с максимумом конвективной деятельности. В отличие от фронтов линии шквалов развиваются и распространяются внутри однородной воздушной массы. В ряде исследований отмечается, что ориентация полосы РКО шквальной или предфронтальной линии может определяться векторной разностью между направлением ветра, на высотах 3–5 и 1,5 км.

Значительное расхождение между положением РОЗО и самим фронтом должно побудить синоптика к дополнительной проверке общего фронтологического анализа (особенно при ожидаемом прохождении холодных фронтов и при наличии стационарного фронта с волнами).

Для обнаружения значительного расхождения между ориентацией РОЗО и фронтом полезно наносить на бланки радиолокационной информации приземную линию фронта. Такое совмещение позволит (кроме возможного уточнения фронтологического анализа) более надежно прогнозировать продолжительность опасных явлений с учетом скорости и направления перемещения РОЗО, а также эволюции характеристик радиоэха.



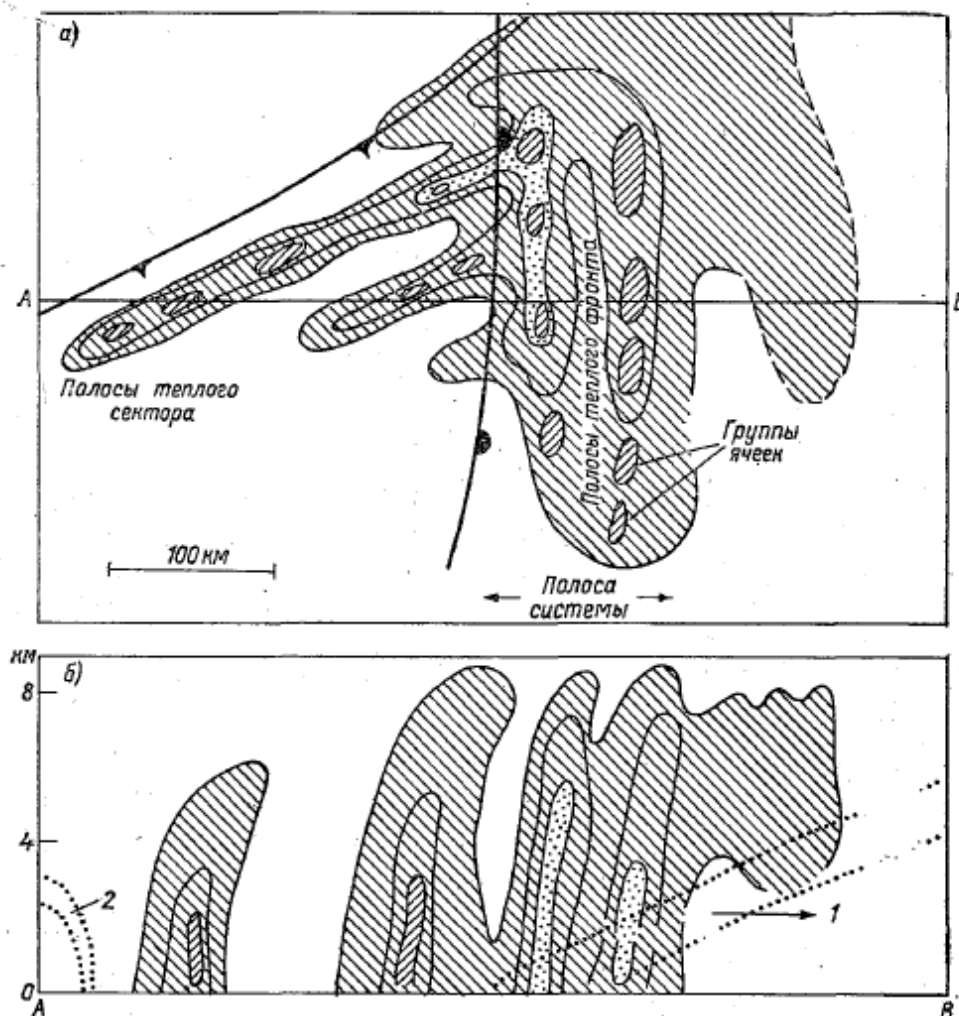


Рис. 2. Структура интенсивности осадков в частично окклюдированном циклоне:  
 а) изоплеты радиоэха осадков интенсивностью 0,5 мм/ч (внешняя линия), 4,8 и >15 мм/ч (сплошная штриховка). Осадки, отмеченные пунктиром в передней части системы, испаряются до попадания на землю; б – разрез высота–дальность по линии АВ;  
 1 – зона теплого фронта, 2) холодный фронт

Отрицательная тенденция изменения характеристик радиоэха облачности и зон осадков (площади и характерные отражаемости, переход гроз в ливни, ливней в обложные осадки, уменьшение числа ячеек, занятых опасными явлениями), связанных с приближающимся фронтом, свидетельствует о размывании фронта. Положительная тенденция изменения характеристик РОЗО (в частности, переход ливней в грозы, появление ливней и гроз в поле обложных осадков), связанных с удаляющимся фронтом, говорит о продолжающемся обострении фронта. В остальных случаях тенденция изменения характеристик радиоэха облачности и зон осадков, связанных с фронтами, не может быть однозначно использована для определения и оценки процессов фронтолиза и фронтогенеза, так как на нее влияют собственное перемещение облачности, ослабление радиоволн на пути распространения и другие факторы, которые не всегда могут быть учтены.

## 1.2. Особенности использования информации МРЛ для анализа атмосферных фронтов

*Теплые фронты.* Теплый атмосферный фронт можно обнаружить и проследить по данным МРЛ, если он располагается в области циклона или ложбины. В области высокого давления теплый фронт по данным МРЛ не прослеживаются.

При приближении теплого фронта к пункту размещения МРЛ наблюдается чередование следующих типов радиоэха: приподнятое, РСО, РКСО, простирающееся до поверхности Земли. Надежным признаком теплого фронта в теплый период года является наличие яркой полосы на уровне нулевой изотермы, видимой на экране МРЛ.

Обычно зона облачности, осадков и явлений вытянута вдоль фронта. Ширина зоны радиоэха изменяется в зависимости от удаления от центра циклона: она максимальна вблизи центра циклона и минимальная в области гребня или антициклона (рис. 3).

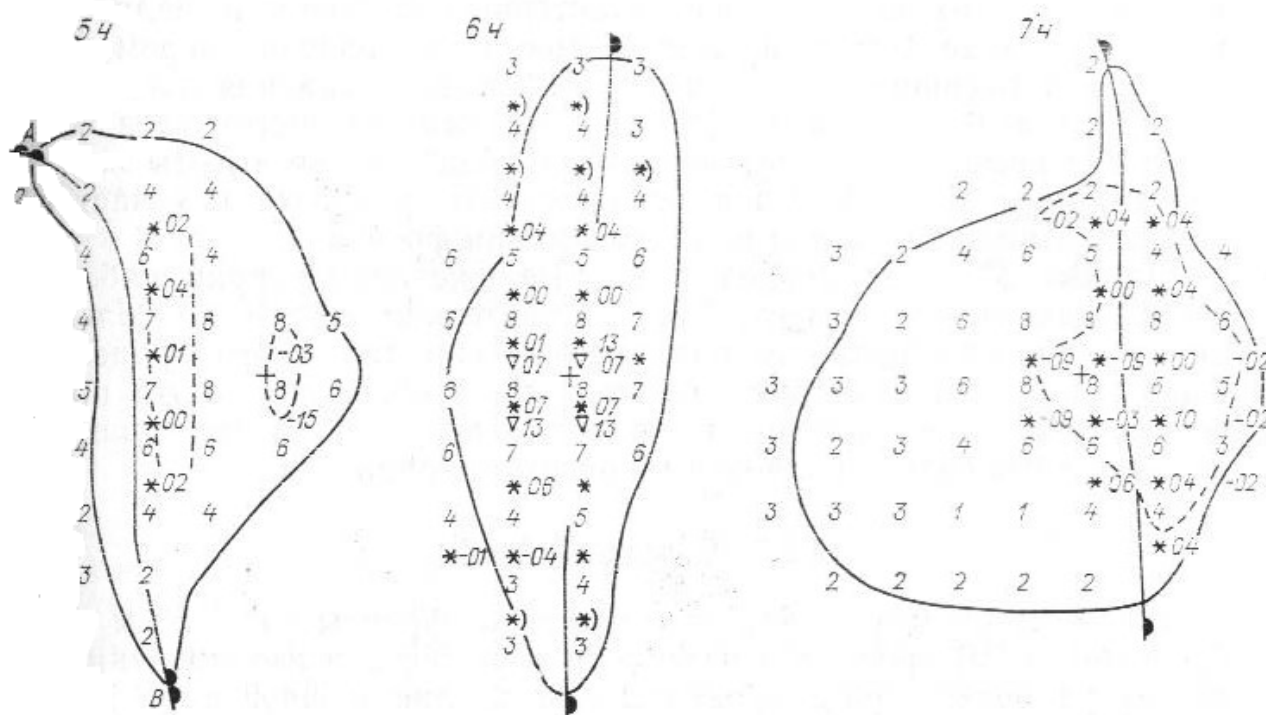


Рис. 3. Радиоэхо облачности и осадков теплого фронта, перемещающегося к востоку (контуры радиоэха получены с интервалом 1 час)

Для теплого фронта во все сезоны года прослеживается суточный ход площади радиоэха в зоне фронтов. В ночные часы площадь и интенсивность радиоэха увеличиваются, а в дневные часы радиоэхо размывается и часто исчезает полностью. Суточный ход изменения радиоэха может отсутствовать вблизи центра циклона.

Высота верхней границы радиоэха кучево-дождевой облачности с грозами на теплом фронте может достигать 9–10 км, а высота верхней границы слоисто-дождевой облачности колеблется от 3 до 7 км.

На рис. 3 представлена типичная картина с конфигурацией РОЗО теплого фронта. Установлено, что наиболее широкая часть радиоэха приходится на область наиболее интенсивного падения давления перед фронтом. К центру циклона направлен характерный выступ радиоэха в виде «носика» (точка *A*). Он не широк и позволяет уточнить на этом участке положение не только фронта, но и центра циклона. За широкой частью радиоэха к периферии циклона оно постепенно сужается в точке *B*.

Ближе к тыловой части радиоэха, т.е. ближе к теплой воздушной массе, расположена зона осадков, которая заметно вытянута вдоль фронта.

Высоты верхней границы радиоэха достаточно велики во все сезоны года по большей части площади радиоэха. Однако наиболее значительны они в зоне выпадения осадков и несколько впереди нее. Здесь же отмечаются и наибольшие значения отражаемости.

Известно, что не все теплые фронты в летнее время сопровождаются осадками. Для тех же случаев, когда осадки имеют место, отмечаются и конвективные ячейки, т.е. *Cb*, замаскированные среди *Ns*. Очень часто конвективные ячейки отмечаются на теплом фронте в холодную часть года.

Линию теплого фронта следует проводить ближе к центру циклона. Фронт должен пройти через «носик» (т.е. через точку *A*), а в противоположной его оконечности – через середину сужающейся части радиоэха (через точку *B*).

Проведение линии фронта независимо от его типа через выступающие части радиоэха (примерно через их середину) является одним из основополагающих моментов в подходе к анализу атмосферных фронтов по данным МРЛ. Правильность его проверена на большом статистическом материале совместного анализа данных МРЛ и синоптических карт. Проведение фронта под углом к радиоэху или тем более поперек его не представляется возможным. Именно с фронтом у Земли связана и зона наиболее активной конвергенции ветра, а вдоль нее – наиболее активное облакообразование. Фронт должен проходить сразу за зоной осадков вдоль нее.

Приведенный на рис. 3 пример является «классическим». Обычно картина радиоэха зоны осадков и облачности теплого фронта имеет несколько искаженные контуры с наличием разнообразных изгибов, всевозможных впадин или выпуклостей. Однако характерный «носик», ориентированный к центру циклона, и сужение его к периферии является вполне устойчивым признаком поля радиоэха, связанного с атмосферным фронтом.

Радиоэхо теплых фронтов, связанных с небольшими циклонами, а также радиоэхо теплых участков фронта при волнообразовании имеют те же характерные особенности, а именно: радиоэхо изогнуто в виде дуги выпуклой частью в направлении перемещения; имеется характерное расширение в направлении перемещения, в области наибольшего падения давления перед теплым участком фронта; основная зона осадков вытянута вдоль фронта и несколько перед ним. Наибольшие высоты верхней границы и наибольшая отражаемость радиоэха отмечаются там, где выпадают осадки или вдоль линии фронта.

*Холодные фронты.* В теплый период года холодные фронты по данным наблюдений МРЛ прослеживаются в виде полос или изолированных очагов радиоэха, ориентированных вдоль линии фронта на приземной синоптической карте.

В зоне холодного фронта обычно можно проследить от 1 до 4 гряд радиоэха облачности, ширина которых изменяется от 20 до 80 км. Наиболее широкая гряда обычно совпадает с приземной линией фронта. Гряды радиоэха ориентированы параллельно линии фронта, если фронт на приземной карте расположен в глубокой ложбине.

На комплексных картах облачности и атмосферных явлений проследить грядовую структуру радиоэха не представляется возможным. Радиоэхо на таких картах прослеживается как перед фронтом, так и за ним.

Ширина зоны радиоэха вдоль линии фронта изменяется в зависимости от его расположения относительно центра циклона. На фронтах, пересекающих барические гребни и седловины, обнаруживаются отдельные очаги радиоэха, при этом ширина такого радиоэха – не более 40–60 км.

Верхняя граница радиоэха слоисто-дождевых и кучево-дождевых облаков с осадками – около 5–7 км. Верхняя граница грозовых облаков в среднем составляет 9–13 км.

На характеристиках радиоэха сказываются контраст температуры в зоне холодного фронта, скорость перемещения фронта, отсутствие ярко выраженных изаллобарических очагов перед фронтом и другие факторы термодинамического свойства. Контрасты температуры в зоне холодных фронтов обычно сконцентрированы в более узкой полосе, чем у теплых фронтов. Кроме того, область падения давления перед холодным фронтом, как правило, отсутствует или выражена слабо, скорости перемещения фронта имеют более широкий диапазон – от быстро перемещающихся до стационарных.

Типичное радиоэхо холодного фронта (рис. 4) смещается к юго-востоку, имеет общую дугообразную форму выпуклостью в направлении перемещения. Зона осадков в виде полосы располагается близко к переднему краю радиоэха.

Примерно здесь же расположены наибольшие высоты верхней границы радиоэха и отражаемости.

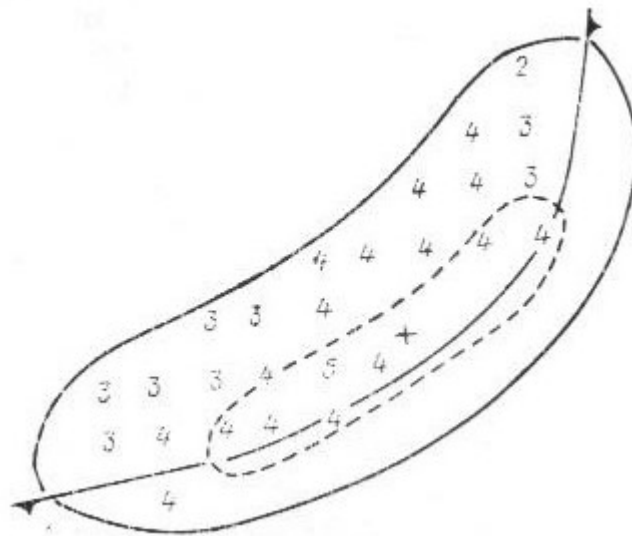


Рис. 4. Типичная конфигурация радиоэха облачности и осадков холодного фронта первого рода

В других случаях передняя кромка радиоэха может быть более изрезана, что связано с проявлением мезомасштабной конвекции, обусловленной неоднородностью рельефа и подстилающей поверхности. Общий профиль радиоэха редко имеет выраженную дугообразность. Обычно она просматривается только в отдельных элементах контуров, чаще всего в профиле тыловой кромки, а также в профиле зоны осадков и в распределении значений наибольших высот верхней границы радиоэха и отражаемости.

Для холодного фронта второго рода характерны большие скорости перемещения, особенно большие горизонтальные градиенты температуры и его зоне и другие отличия. Соответственно, имеются различия между радиоэхом холодных фронтов первого и второго родов.

Радиоэхо холодного фронта второго рода, как правило, имеет вид сплошной или несплошной полосы. Общего прогиба у таких зон радиоэха в направлении перемещения обычно не наблюдается. Осадки в виде отдельных очагов или полосы располагаются вдоль осевой линии или смещены к передней кромке. Обычно чем больше скорость перемещения, тем ближе очаги осадков к передней кромке (рис. 5). Иногда к РОЗО холодного фронта второго рода (к его тыловой части) примыкает радиоэхо слоистообразных облаков, обычно при наличии очага интенсивного роста давления за фронтом.

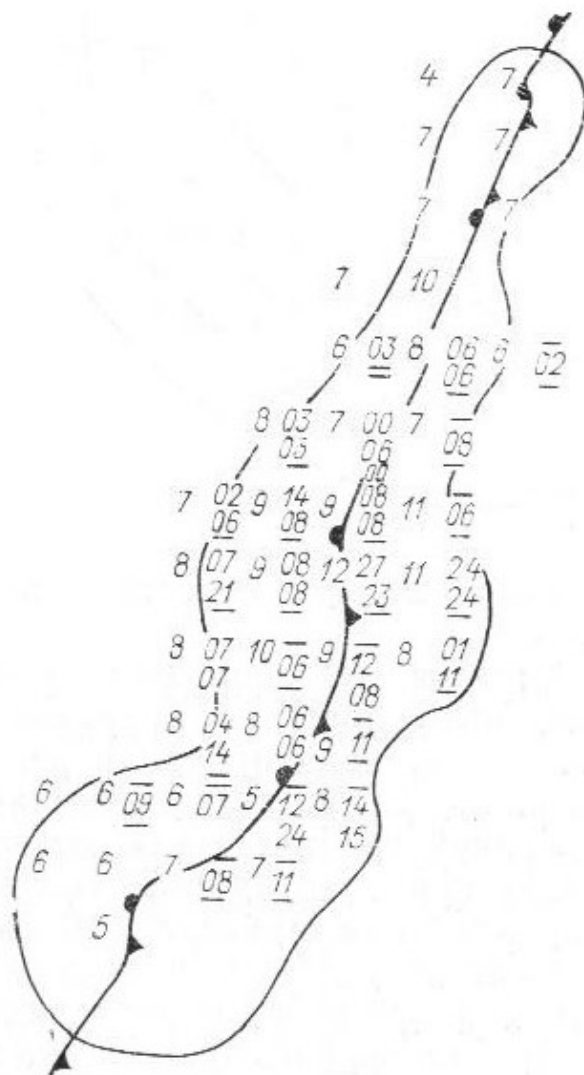


Рис. 5. Радиоэхо облачности и осадков холодного фронта 2-го рода  
(срок 09 ч., 19.07.1980 г., МРЛ Актюбинск)

На холодном фронте второго рода конвекция отмечается в любое время года. Высоты верхней границы радиоэха особенно велики (по сравнению с другими типами фронтов).

*Волны на атмосферных фронтах.* Образованию волны предшествуют вполне определенные синоптические процессы, приводящие сначала к замедлению перемещения участка фронта, а затем, через некоторое время, и к образованию волны. Чаще всего это понятие мы связываем с холодными, в первую очередь стационарующими, фронтами. Тем не менее волна может образоваться на любом фронте. Всякое резкое изменение скорости перемещения двух смежных участков фронта, даже если в целом фронт имеет хорошую скорость, может привести к образованию волны. Другое дело, что размеры и время жизни образующихся волн разные. Сеть метеостанций позволяет выявить только относительно крупные волны (более 100 км), хорошо выраженные в поле давления, ветра, температуры и других параметров.

МРЛ позволяет выявлять волны на фронте надежно, именно в зоне волны восходящие вертикальные движения и турбулентные пульсации, как показали, например, расчеты по данным координатной информации радиозондов, в три и более раза превышают таковые на любом активном участке этого же фронта. При этом восходящие движения – механизм, создающий облачную систему, которую мы наблюдаем с помощью МРЛ. Разрешающая способность МРЛ по точности вычерчивания контура не ниже нескольких километров, т.е. на порядок выше густоты метеорологических станций (применительно к облачности следует еще помнить, что метеорологические станции ее местонахождение не определяют (отождествляя его с местонахождением самой станции)). С помощью МРЛ появляется возможность наблюдать довольно большое число мелких и крупных волн. Из комплексного анализа карт барической топографии и приземных вообще-то не следует, что число волн на фронте должно быть большим. Имея на 1-2 порядка более высокую разрешающую способность по площади, информация МРЛ улавливает недоступные обычному анализу размеры волнообразований, асинхронные перемещения участков фронта, обусловленные мезоусловиями, в первую очередь орографией. Под воздействием обладающих большой энергией и устойчивостью крупномасштабных процессов мезомасштабные возмущения непрерывно разрушаются, а затем снова образуются под влиянием новых мезомасштабных воздействий и т.д. То есть в процессе перемещения атмосферного фронта, его взаимодействия с подстилающей поверхностью происходит непрерывное образование мезомасштабных возмущений, а затем их разрушение под воздействием крупномасштабных циркуляций.

Все ли волны нужно рассматривать при анализе атмосферных фронтов? Для изучения региональных особенностей перемещения атмосферных фронтов, их трансформации и т.д. такая возможность информации МРЛ исключительно ценна. Она позволяет по-новому увидеть фронт: не как геометрическую линию, а в виде живой полной многообразия системы. Для анализа отдельной синоптической ситуации есть смысл ограничиться выделением только тех волн, которые могут определять погоду на интересующий период в конкретном районе. Это волны, сохраняющиеся в течение 2-3 ч и дольше.

Если фронт хорошо выражен в поле облачности и осадков, а радиоэхо имеет изгибы, характерные для теплого и холодного участков фронтов, то это служит признаком смены знака фронта. В такой ситуации общая конфигурация РОЗО может по своему виду напоминать ступеньку (рис. 6) с расширяющейся средней частью, в районе которой располагается вершина волнового возмущения на фронте.

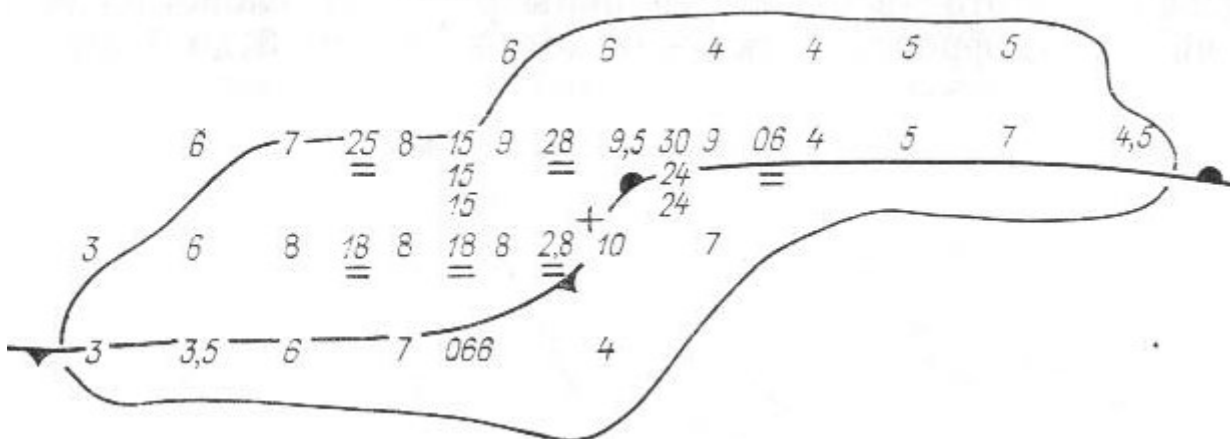


Рис. 6. Волна на холодном фронте

На малоподвижных фронтах может образовываться несколько волн сразу, и важно правильно определить место смены знака; оно находится там, где радиоэхо наиболее узкое или терпит разрыв (рис. 7).

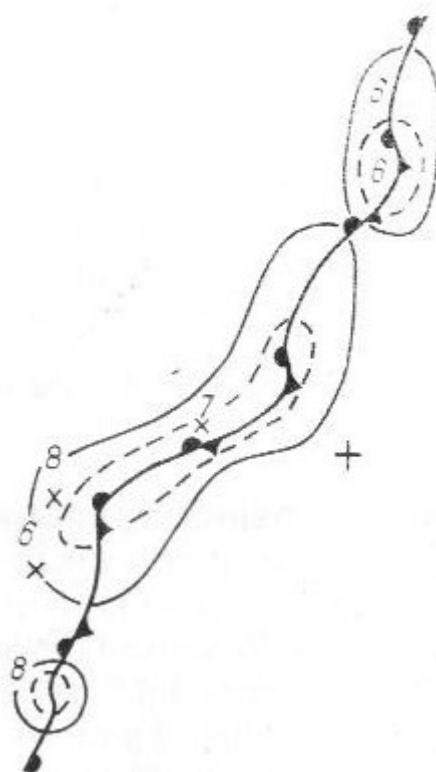


Рис. 7. Волны на холодном фронте при несплошном радиоэхе

Выделение волн на теплых фронтах делается примерно так же, как и на холодных фронтах. Некоторые трудности могут возникать при установлении местоположения вершины волны, так как площадь радиоэха теплого фронта значительно больше, чем холодного фронта.



*Радиоэхо фронтов окклюзии.* Фронту окклюзии на карте МРЛ соответствуют отдельные гряды конвективных облаков и обширные области слоистообразного радиоэха, если точка окклюзии или центр циклона расположены вблизи места установки МРЛ. Всякие сколько-нибудь значащие выступы контура РОЗО следует тщательно анализировать на возможность наличия там фронта. Этого особенно следует придерживаться, когда происходит образование фронтов окклюзии в соответствующей стадии развития циклона. В таких ситуациях нужно хорошо представлять общую синоптическую обстановку в данном районе.

Площадь радиоэха окклюдированных фронтов обычно большая. В простейшем случае радиоэхо состоит из трех характерных удлинненных выступов в форме трилистника (рис. 8).

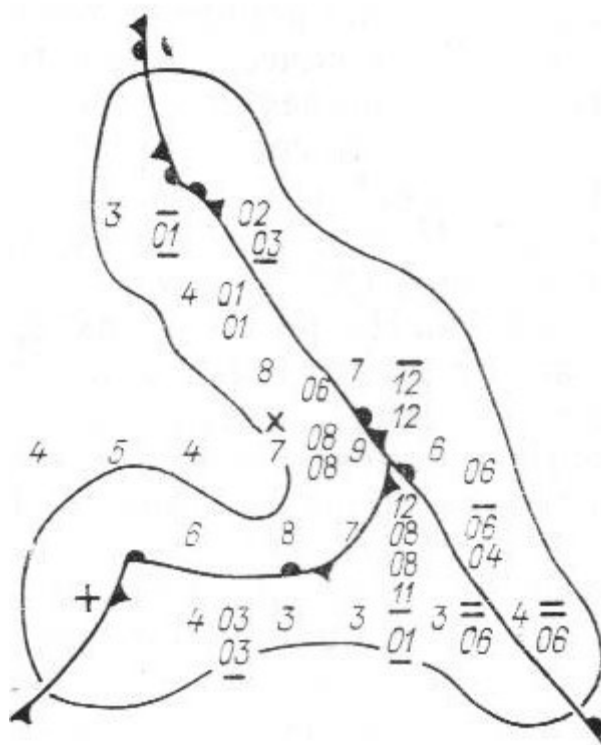


Рис. 8. Радиоэхо облачности и осадков при окклюдировании атмосферных фронтов

На холодном участке фронта вблизи точки окклюзии часто отмечается волнообразование, уловить которое по данным только синоптических карт невозможно, но очень важно, так как волнообразование здесь задерживает и приостанавливает процесс окклюдирования. Известно также, что наиболее сильные осадки и опасные грозо-градовые явления вероятнее фиксируются у точки окклюзии. Здесь же отмечаются наибольшие значения высот верхней границы радиоэха и отражаемости. Точка окклюзии в некоторых затруднительных случаях может быть найдена как точка пересечения участков теплого и холодного фронтов путем их экстраполяции. В последующие сроки ее местонахождение может быть уточнено по данным той же информации МРЛ.

*Радиоэхо двух близкорасположенных фронтов.* При некоторых типах синоптических процессов, например, северо-западном холодном вторжении, две фронтальные системы могут находиться на близком расстоянии. В этом случае происходит частичное или полное слияние радиоэха двух облачных систем, появляются характерные продолговатые пространства на границе слияния без радиоэха в виде вмятин или углублений, направленных навстречу друг другу. При значительном расстоянии между фронтами наблюдается также раздел и поля осадков. Два фронта, однако, могут находиться очень близко друг к другу, и тогда характерные углубления отсутствуют. Поэтому очень важно анализировать и другие параметры: особенности распределения и конфигурацию осадков, высоты верхней границы радиоэха и отражаемости, а также величину площади радиоэха. Необходимо также следить за процессом от срока к сроку по всем имеющимся аэросиноптическим данным. Анализ внутренней структуры радиоэха, в первую очередь осадков, а также история развития процессов в предшествующие сроки позволяют уверенно сказать, что мы имеем дело с радиоэхом двух холодных фронтов, находящихся на небольшом расстоянии.

*Радиоэхо сложных фронтальных систем.* Кроме окклюдирующихся фронтов в системе циклонов могут быть и другие фронтальные разделы. Если расстояние между ними небольшое, то радиоэха соседних фронтов сливаются.

При возникновении принципиальных затруднений уточнение положения фронтов можно оставить до следующего срока, сосредоточившись на анализе характера перемещения и эволюции радиоэха в целом, а также связанных с ним явлений погоды на ближайший период.

## ГЛАВА 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДМРЛ В СИНОПТИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

### 2.1. Грозовая облачность на картах метеоявлений. Внутримассовая и фронтальная облачность

Основными радиолокационными продуктами в синоптической практике остаются карта максимальной радиолокационной отражаемости ( $Z_{\max}$ ) и карта высоты верхней границы радиоэха ( $H_{\text{вго}}$ ).

Карта максимальной отражаемости (рис. 9) рассчитывается следующим образом. Для каждой ячейки карты размером  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$  или  $4 \times 4$  км 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 конвективных ОЯ (значения свыше 35–45 dBZ). Значения максимальной отражаемости  $Z_{\max}$  используются в критериях идентификации метеоявлений, а также при фильтрации.

На рис. 9 видно, что областям с  $Z_{\max} = 35\text{--}45$  dBZ чаще соответствуют радиолокационные метеорологические явления «ливни», а областям с  $Z_{\max} \geq 45$  dBZ – радиолокационные явления «грозы».

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

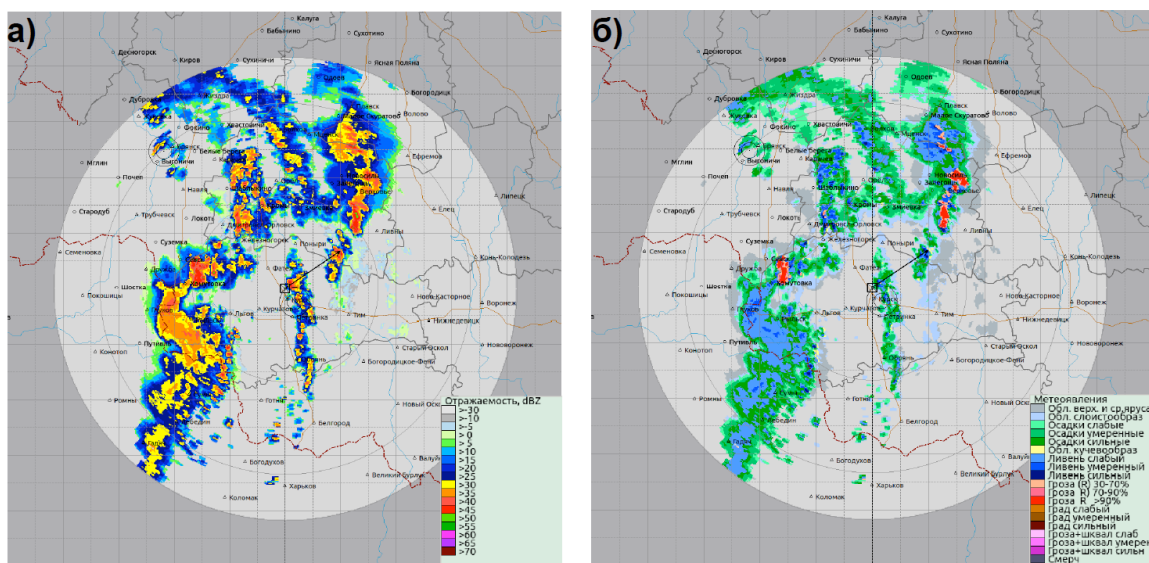


Рис. 9. Карты: а)  $Z_{\max}$ ; б) метеоявлений за 16:40 ВСВ 08.08.2019 г.  
по данным наблюдений ДМРЛ «Курск»

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 внедренной конвекции на фронтах с обложными осадками по карте  $H_{\text{вго}}$  можно отслеживать зоны внедренной конвекции, где  $H_{\text{вго}}$  превышает преобладающие в окрестности значения  $H_{\text{вго}}$  на 1-3 км 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 (прил. 1, рис. 1-2).

За нижнюю границу облаков ( $H_{\text{нго}}$ ) 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 отраженный сигнал на всех углах сканирования, в том числе и формируемый падающими до земли частицами осадков (с характерными размерами более  $\sim 100$  мкм). Это соответствует значению нижней границы облачности  $H_{\text{нго}}=0$  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  $H_{\text{нго}}$  облачности может не совпадать с нижней границей облачности, измеренной оптическими приборами, а в осадках радиолокационная  $H_{\text{нго}}$  всегда равна нулю. При наличии в облачности нескольких слоев за  $H_{\text{вго}}$  принимается высота верхней границы верхнего слоя, а за  $H_{\text{нго}}$  — высота нижней границы нижнего слоя облачности.

Высота нижней границы облаков используется при классификации метеоявлений (прил. 1, рис. 3-4).

Карта интенсивности осадков ДМРЛ-С ( $R$ ) 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 расчета интенсивности осадков основан на использовании известного  $Z-R$  соотношения, полученного Маршаллом и Пальмером при микрофизических исследованиях частиц осадков и их распределения по размерам:

$$Z = A * R^b,$$

где  $R$  — интенсивность осадков, мм/ч;  $Z$  — радиолокационная отражаемость,  $A=200$  и  $b=1,6$  — константы.

На рис. 10 приведены примеры карт интенсивности осадков  $R$  (рис. 10, а) за 17:50 ВСВ 08.08.2019 и карта суточной суммы осадков, выпавших за сутки с 7 по 8 августа 2019 г. (рис. 10, 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.

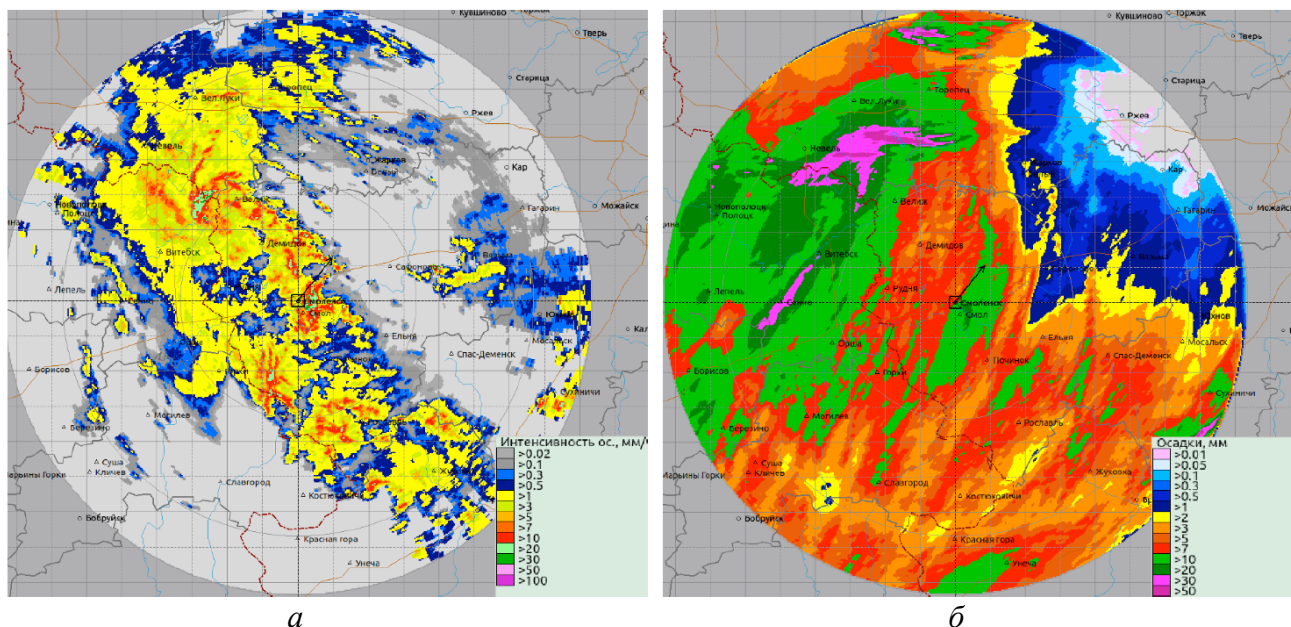


Рис. 10. Карты: а) интенсивности осадков  $R$  за срок 17:50 ВСВ 08.08.2019 г.;  
б) суточных сумм осадков  $Q$ , выпавших с 07.08 по 08.08.2019 г.  
по данным ДМРЛ «Смоленск»

Анализ карты интенсивности осадков с учетом вектора переноса позволяет прогнозировать смещение зон интенсивных осадков и рассчитывать время подхода таких зон к тому или иному населенному пункту. Однако при этом стоит учитывать ограничение области надежной интерпретации радиолокационной информации.

Поскольку радиолокационная отражаемость  $Z_1$  для расчета 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 теплый. Поэтому если в теплый период радиоэхо далее 100 км может быть как облачностью, так и осадками, то в холодный период радиоэхо низкой облачности далее 100 км вообще зачастую не обнаруживается.

Радиолокационная отражаемость облаков зависит от их фазового состава, водности и спектра размеров облачных частиц. Различия в этих характеристиках позволяют идентифицировать тип облака. На рис. 11 показаны диапазоны наблюдаемых значений радиолокационной отражаемости ( $Z$ ) для различных источников радиоэха, включая облачность различных типов и неметеорологические источники (птицы, насекомые, «местники» и проч.).

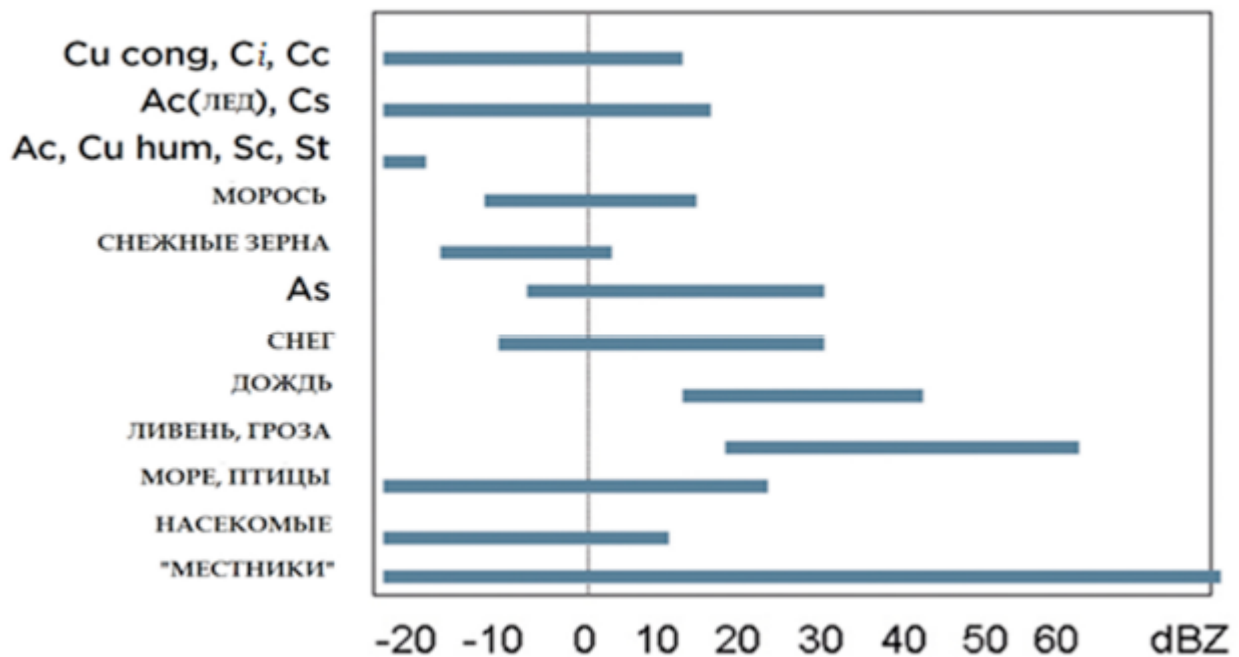


Рис. 11. Значения радиолокационной отражаемости для различных источников радиоэха

При идентификации обложных и ливневых осадков учитывается вертикальная структура облачности: в слоистообразной теплой облачности на радиолокационных вертикальных разрезах отражаемости хорошо прослеживается так называемая «яркая полоса» – локальное увеличение  $Z$  на 5–15 дБ в облачном слое мощностью до нескольких сотен метров. Она расположена на 100–300 м ниже уровня нулевой изотермы и представляет 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.

Радиолокационные критерии наличия грозовых очагов, реализованные в ПО ВОИ ДМРЛ-С, основаны на результатах исследований 50-х и 60-х годов прошлого века. Одним из основных условий возникновения грозы является достижение облаками  $S_b$  уровня, где температура воздуха составляет  $-20\div-25^\circ\text{C}$ .

Для критериев грозы и града используются значения высоты верхней границы облачности  $H_{\text{вго}}$  и вертикальный профиль радиолокационной отражаемости  $Z$  (значения  $Z$  на специальных уровнях: высоте нулевой изотермы  $H_2$  и на уровне  $H_3$  – уровне интенсивной кристаллизации (уровень изотермы  $-15^\circ\text{C}$ , превышающий, как правило, уровень нулевой изотермы на 2–2,5 км), а также максимальное значение  $Z_{\text{max}}$  в столбе  $Z$ ).

Для интерпретации грозы со шквалом используются значения  $Z$  на уровне  $H_3$  и  $\Delta H$  – превышение верхней границей облачности уровня тропопаузы.

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

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  $Z_{\text{max}}$ . Вектор переноса характеризует как собственно пространственный перенос облачности, так и трансформацию ее границ в процессе ее 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  $Z_{\text{max}}$  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.

Карты метеоявлений,  $H_{\text{вго}}$  и интенсивности 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.

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

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

*Грозы на холодном фронте.* При прохождении холодного фронта впереди линии фронта отсутствует зона облачности верхнего и среднего ярусов. Линия холодного фронта, как правило, четко выражена, облачность и осадки располагаются за ней. При прохождении быстро перемещающихся холодных фронтов летом выпадают преимущественно ливневые осадки, часто отмечаются грозы. На рис. 12 приведена карта метеоявлений ДМРЛ-С «Валдай» 19 июля 2013 г. при прохождении холодного участка фронта. Вдоль всей линии фронта наблюдается цепь гроз. Вертикальный разрез поперек линии фронта показывает шлейф приподнятой облачности среднего и верхнего ярусов, расположенной в зафронтальной зоне, после массива *Cb*. Интенсивность ливневых осадков (рис. 12, в) за линией фронта достигает 90 мм/ч. Наибольшая  $H_{\text{вго}}$  (рис. 12, г) достигает 12 км.

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

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) – ливнями, градом, шквалами (прил. 2, рис. 1–5).

*Грозы на теплом фронте.* При перемещении теплого фронта сначала появляется облачность верхнего яруса, которая, постепенно уплотняясь, переходит в



высоко-слоистую облачность, а затем – в слоисто-дождевую, из которой выпадают осадки (дождь или снег, в зависимости от сезона).

В отличие от холодного фронта, на теплом фронте значительная часть облачности находится перед линией фронта. За фронтом располагается слоисто-дождевая облачность с осадками. Облачность теплого фронта занимает обширные пространства – до 700 км зимой, при этом зона осадков занимает примерно 2/3 зоны облачности. Осадки теплого фронта чаще всего обложные.

На теплых 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.

Надежным признаком теплого 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 твердой в жидкую фазу, при этом сначала происходит слипание отдельных снежинок в присутствии капель воды в снежные хлопья, которые имеют существенно больший размер по сравнению со снежинками и дождевыми каплями. По мере падения они обводняются – покрываются жидкой пленкой – и воспринимаются радиолокатором как большие капли воды (у капель радиолокационная отражаемость больше, чем у ледяных сфер того же размера примерно в 5 раз) – в результате  $Z$  резко возрастает. При дальнейшем падении происходит таяние и разделение обводненных твердых частиц на отдельные дождевые капли существенно меньших размеров – в результате  $Z$  падает. Так формируется высотный максимум отражаемости  $Z$  – «яркая полоса».

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

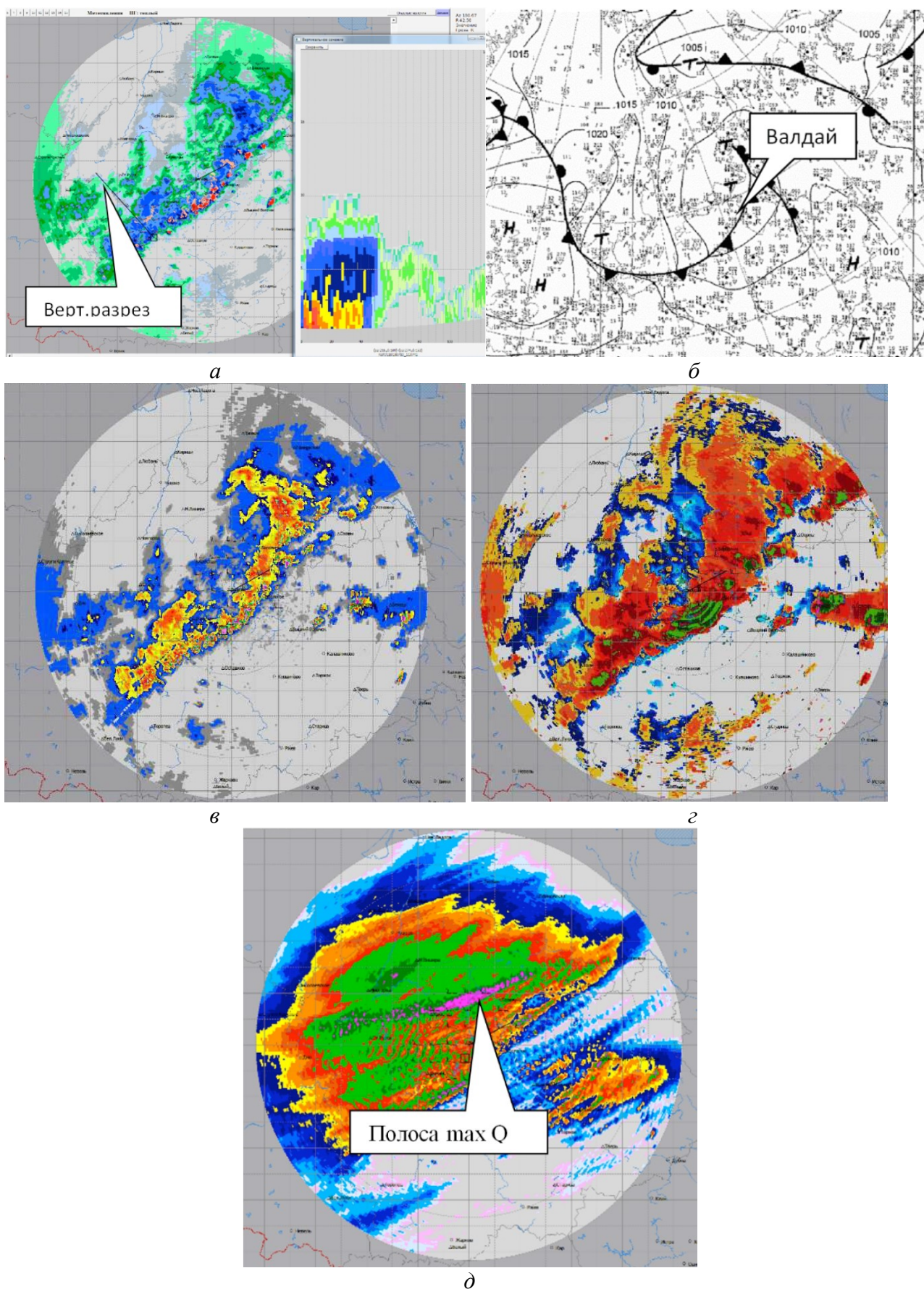


Рис. 12. Карты ДМРЛ-С «Валдай» при прохождении холодного фронта 19.07.2013 г., срок 11:30 ВСВ, сопровождающегося грозами по всей линии фронта:  
 а) метеоявлений; б) синоптической ситуации; в) интенсивности осадков; г) высоты ВГО;  
 д) суммы осадков с 06:00 ВСВ

На рис. 13 представлены карты ДМРЛ-С «Валдай» при прохождении теплового фронта 22 мая 2013 г. в 03:17, 04:17 ВСВ. Впереди фронта располагается зона облачности среднего и верхнего ярусов – признак теплового фронта (рис. 13, а). При проведении вертикального разреза вдоль массива  $N_s$  (рис. 13, в) хорошо прослеживается «яркая полоса», указывающая, что  $H_0$  составляет около 2,5 км.

Также на фронте наблюдаются небольшие и немногочисленные грозовые очаги, возникающие обычно на теплом фронте в ночное и утреннее время суток; проведенный через них вертикальный разрез (рис. 13, а) отражает типичную вертикальную структуру ливневых и грозовых  $Cb$  – со столбом высоких значений радиолокационной отражаемости до 8 – 9 км. На рис. 13, а максимальная интенсивность осадков составила 50 мм/ч, интенсивность осадков в целом меньше, чем обычно наблюдается при прохождении холодных фронтов.

В отдельных случаях даже на европейской территории России в мощных конвективных ячейках измеряются значения отражаемости до 60 dBZ, что подтверждается наземными плувиографическими измерениями мгновенной интенсивности осадков  $R$  до 200 мм/ч.

Высоты верхней границы облачности достигают 10 км. Вертикальный разрез в направлении передней части фронта (рис. 13, д) показывает хорошо выраженный слой облачности верхнего и среднего ярусов, предшествующий линии фронта у земли. На карте сумм осадков ( $Q$ ), измеренных с 18:00 до 04:17 ВСВ (рис. 13, е), прослеживается несколько областей с максимальным количеством осадков. Максимальное количество осадков составило около 50 мм.



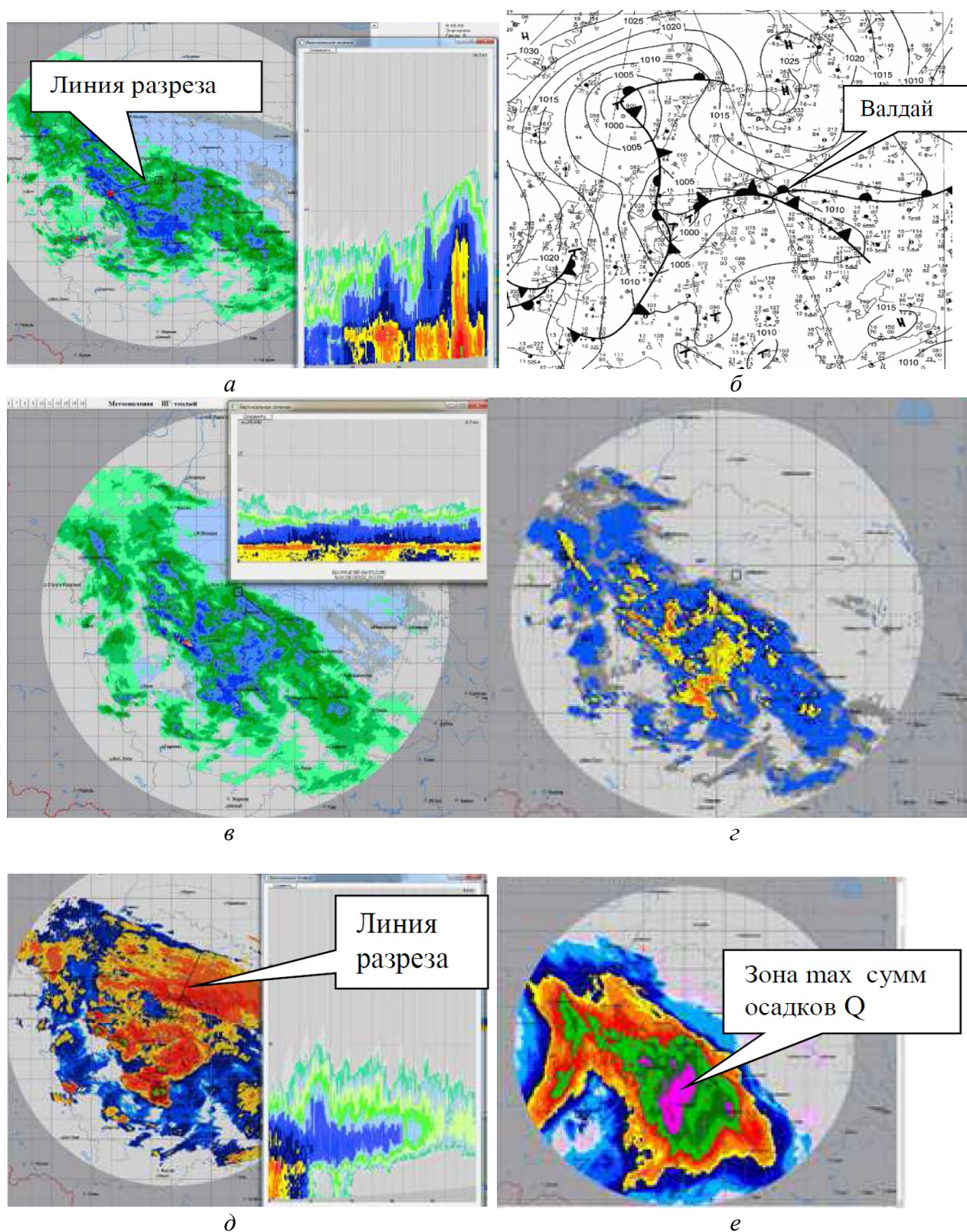
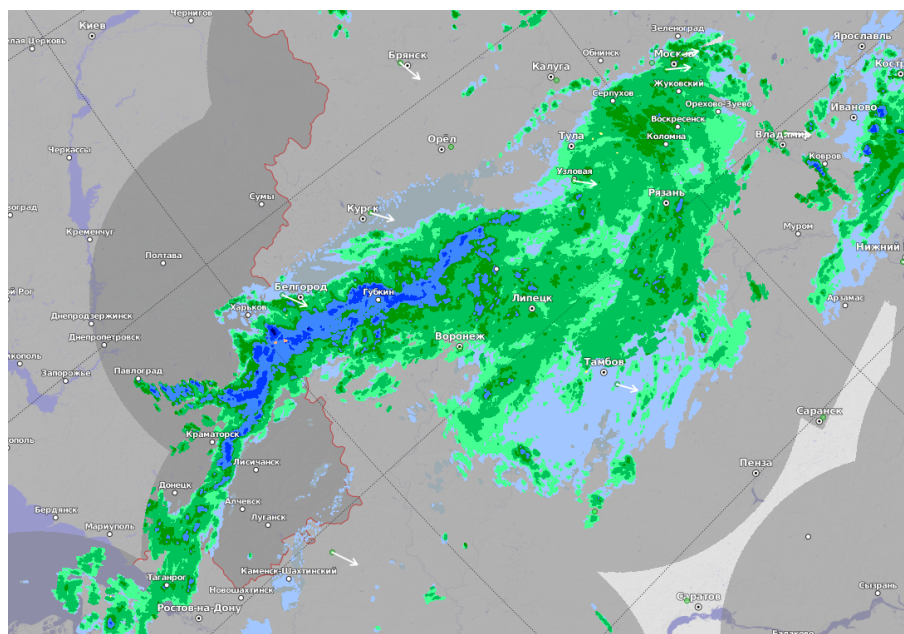


Рис. 13. Карты ДМРЛ-С «Валдай» при прохождении теплого фронта 22.05.2013 г. в 03:17 - 04:17 ВСВ:

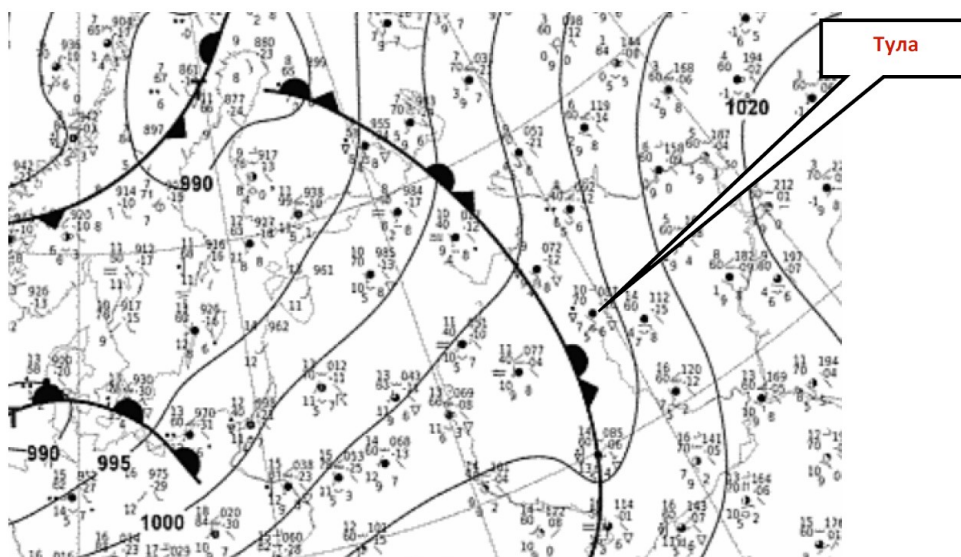
- а) метеоявлений в 03:17 ВСВ; б) синоптической ситуации; в) метеоявлений в 04:17 ВСВ;  
 г) интенсивностей осадков; д) высоты ВГО; е) суммы осадков с 18:00 до 03:17 ВСВ

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

На рис. 14 приведен пример прохождения фронта окклюзии: его изображение на карте единого радиолокационного пространства (а) и синоптической карте за 18:00 ВСВ 29 сентября 2019 г. (б).



а



б

Рис. 14. Пример отображения фронта окклюзии: а) карта метеоявлений; б) синоптическая карта за 18:00 ВСВ 29.09.2019.

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 (прил. 2, рис. 6-8).

*Грозы на вторичных холодных фронтах.* Вторичный холодный фронт – раздел между различными частями одной и той же холодной воздушной массы, поступающей в барических ложбинах в тылу циклона за холодным фронтом. Неравномерность трансформации вторгающегося холодного воздуха приводит к его неоднородности, что в сочетании со сходимостью воздушных потоков в тыловой части циклона приводит к формированию зон облачности с ливневыми осадками, грозами, шквалами и метелями в холодный период года. Может наблюдаться от одного до трех вторичных фронтов. Система их облачности сходна с системой облачности холодного фронта второго рода, но вертикальная протяженность их меньше, чем на основных фронтах. На рис. 15 приведена карта метеоявлений с изображением двух полос вторичных холодных фронтов, расположенных за основным холодным фронтом. На вторичных фронтах наблюдается развитие конвективной облачности с ливневыми осадками и отдельными грозовыми очагами.

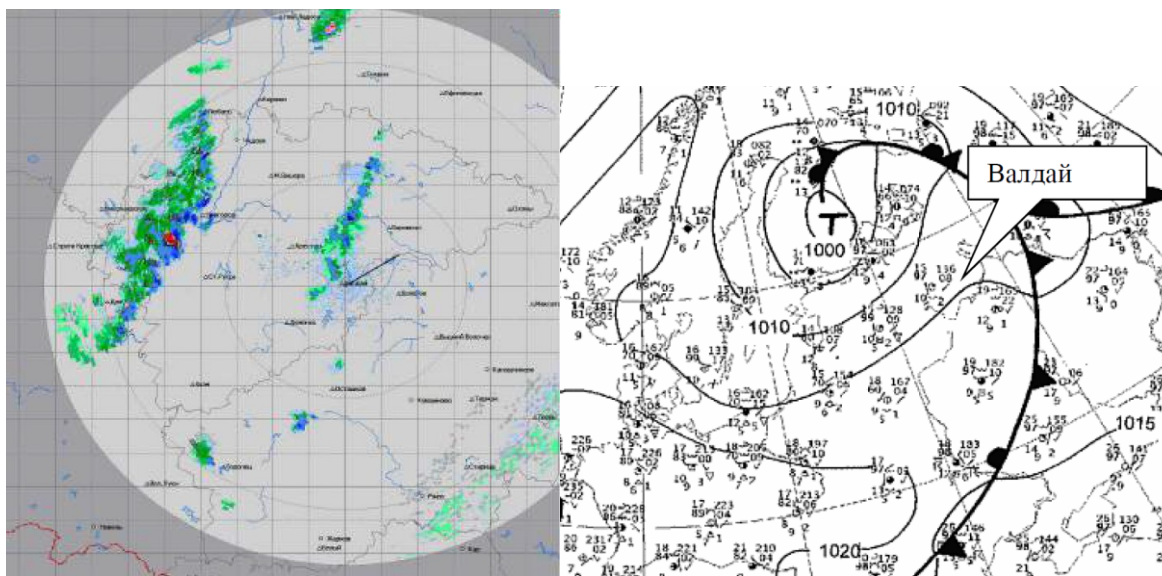
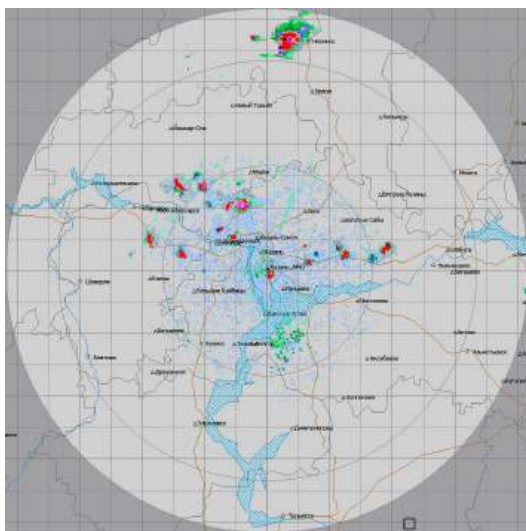


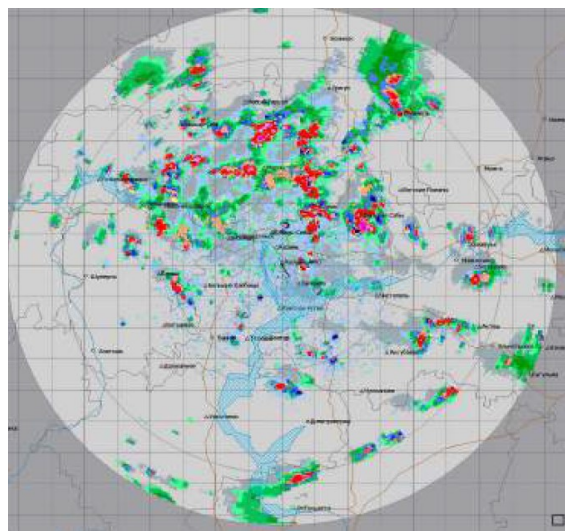
Рис. 15. Карта метеоявлений ДМРЛ-С «Валдай» и синоптическая карта при прохождении двух вторичных холодных фронтов 14.08.2013 в 16:47 ВСУ

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

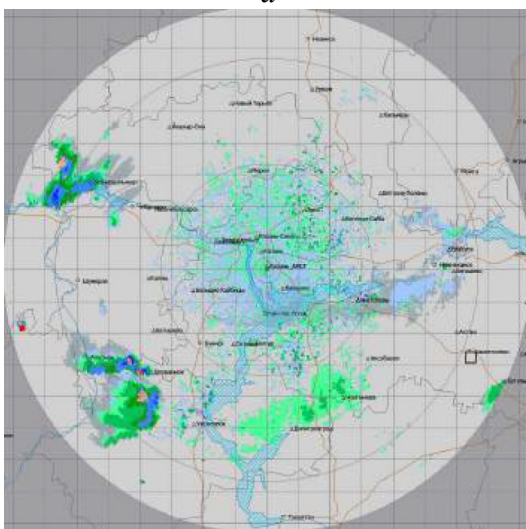
Пример развития внутримассовой конвекции в малоградиентном поле пониженного давления 06 июля 2013 г. по данным ДМРЛ-С «Казань» приведен на рис. 16.



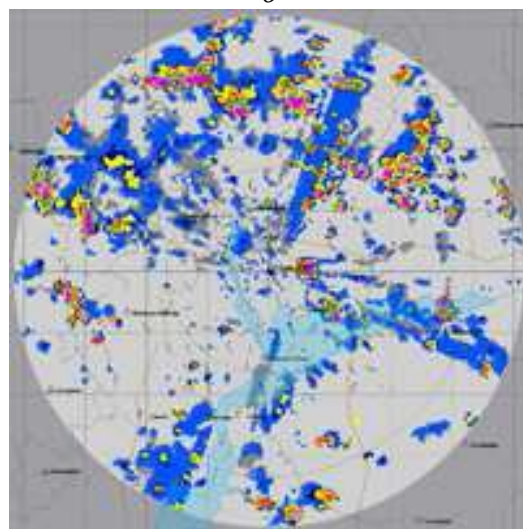
а



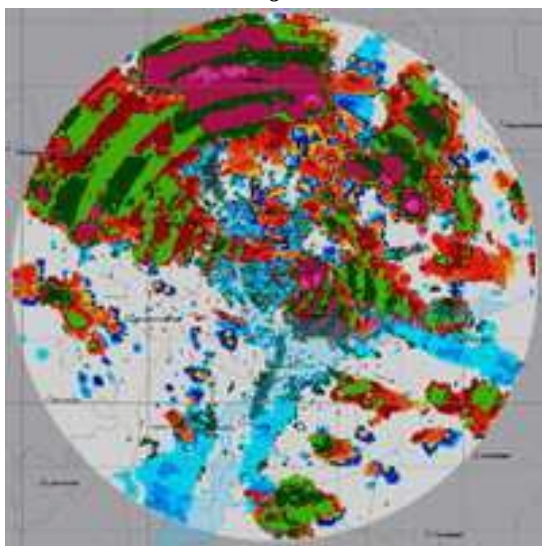
б



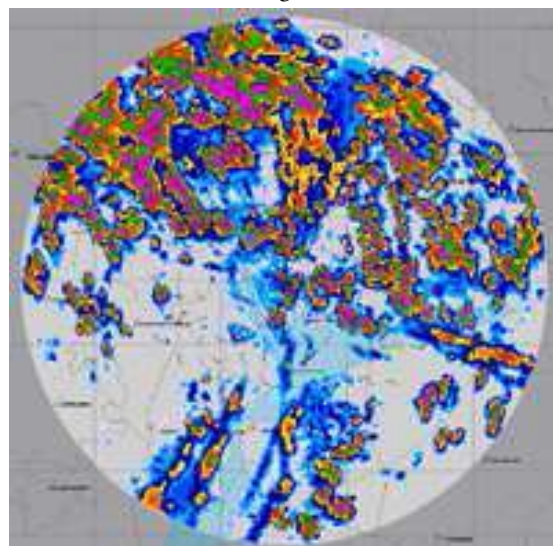
в



г



д



е

Рис. 16. Пример развития облачности по данным ДМРЛ-С «Казань» 06.07.2013 г.

Приведены карты:

- а) метеоявлений в 07:47 ВСВ; б) то же в 10:27 ВСВ; в) то же в 17:27 ВСВ; г) интенсивность осадков  $R$  в 10:27 ВСВ; д)  $H_{\text{вго}}$  в 10:27 ВСВ; е) сумма выпавших осадков с 06:00 до 10:27 ВСВ

В 07:07 ВСВ радиоэхо практически отсутствовало. После 07:30 ВСВ, по мере прогрева подстилающей поверхности, началось быстрое образование конвективных ячеек с грозами во всей зоне обзора.

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

Интенсивность ливневых осадков (рис. 16, г) при развитии внутримассовых процессов достигает в отдельных ячейках очень высоких значений, например,  $R$  в некоторых ячейках превышает 100 мм/ч. Значения  $H_{\text{вго}}$  во внутримассовых грозовых ячейках также могут быть не ниже, чем при развитии гроз на атмосферных фронтах. В приведенном примере значения  $H_{\text{вго}}$  превышают 12 км (рис. 16, д).

Карта сумм осадков при внутримассовом процессе развития конвекции очень «пестрая», в отличие от карты сумм осадков (рис. 16, е), полученной для случая прохождения фронта.

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.

## **2.2. Слоистообразная и кучевообразная облачность при разных синоптических процессах и связанные с ней осадки и опасные явления**

*Слоисто-дождевая облачность на теплом фронте.* Радиоэхо слоисто-дождевой облачности ( $Ns$  и  $Ns-As$ ), с которыми связаны обложные осадки, занимает большие площади и имеет довольно однородную структуру радиолокационной отражаемости по горизонтали. Вертикальная протяженность зон  $Ns$ , как и значения  $Z$ , обычно меньше по сравнению с характеристиками конвективной облачности.

Радиоэхо слоисто-дождевых облаков характеризуется небольшой временной и пространственной изменчивостью. Одной из особенностей радиоэха обложных осадков является наличие в них «яркой полосы» – зоны повышенной (на 5–10 дБ) отражаемости на вертикальном профиле  $Z$  толщиной порядка 300–500 м, располагающейся немного ниже уровня нулевой изотермы. «Яркая полоса» возникает в районе нулевой изотермы при переходе частиц осадков из твердой в жидкую фазу, при этом сначала происходит слипание отдельных снежинок в присутствии капель воды в снежные хлопья, которые имеют существенно больший размер по сравнению со снежинками и дождевыми каплями. По мере падения они обводняются – покрываются жидкой пленкой, воспринимаются радиолокатором как большие капли воды (у капель и ледяных сфер одного размера



отражаемость различается в 5 раз), в результате  $Z$  резко возрастает. При дальнейшем падении происходит таяние и разделение обводненных твердых частиц на отдельные дождевые капли обычных размеров, в результате  $Z$  падает. Так формируется высотный максимум отражаемости  $Z$ .

На рис. 17 изображена карта метеоявлений ДМРЛ-С «Архангельск» за 18 августа 2013 г. срок 04:47 ВСВ при прохождении обширной зоны слоисто-дождевой облачности, образовавшейся на теплом фронте, с проведенным вдоль фронтальной облачности вертикальным разрезом. На вертикальном разрезе хорошо видна «яркая полоса», верхняя граница которой находится на высоте 2,5–2,6 км. Высота нулевой изотермы в это время по данным аэрологического зондирования составляла 2600 м. Наблюдения на сети ДМРЛ-С показали, что верхняя граница «яркой полосы» с точностью до 100–200 м совпадает с высотой нулевой изотермы.

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

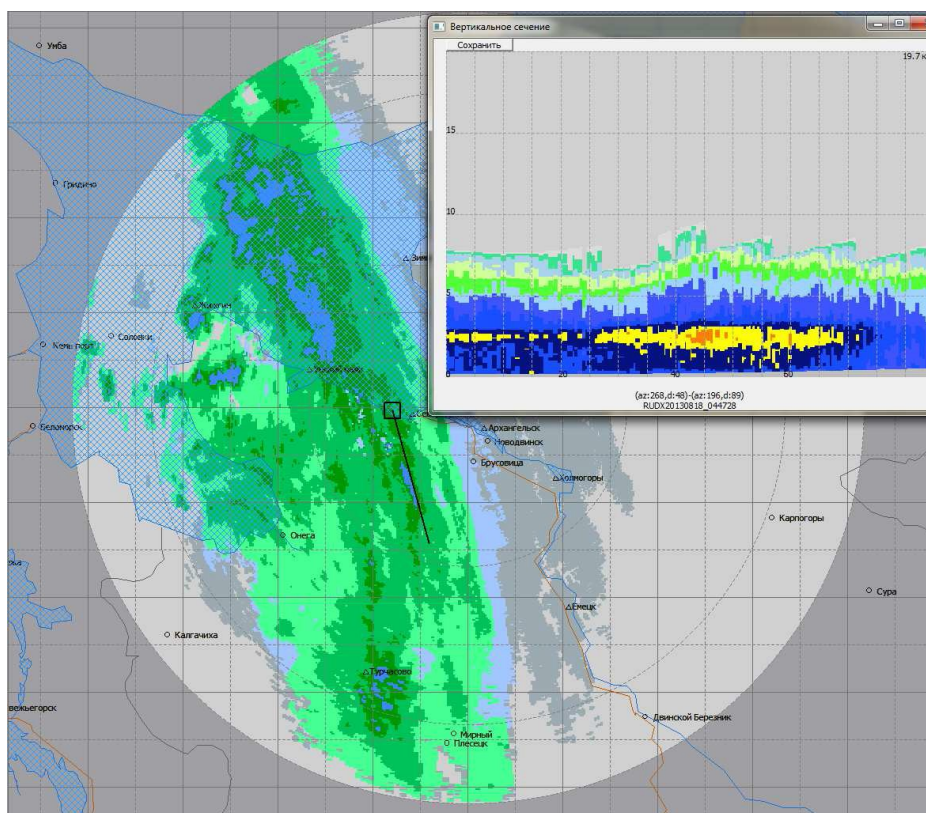


Рис.17. Карта метеоявлений ДМРЛ-С «Архангельск». Линия разреза «Яркая полоса»

*Слоисто-дождевая облачность фронта окклюзии.* Фронты окклюзии образуются в результате смыкания движущихся с разной скоростью теплого и холодного фронтов: холодный фронт, двигаясь быстрее теплого, настигает последний, образуется сложный фронт с облачной системой обоих фронтов в верхней части,

где некоторое время продолжают сохраняться верхние участки теплого и холодного фронтов. Теплый воздух вытесняется при этом наверх.

Фронтам окклюзии во все периоды года соответствуют обширные площади облаков (слоисто-дождевых и кучево-дождевых), протяженные зоны осадков. Примером отображения на ДМРЛ-С фронта окклюзии может служить ситуация 28 ноября 2013 г., когда вблизи Костромы находилась точка окклюзии (рис. 18–19).

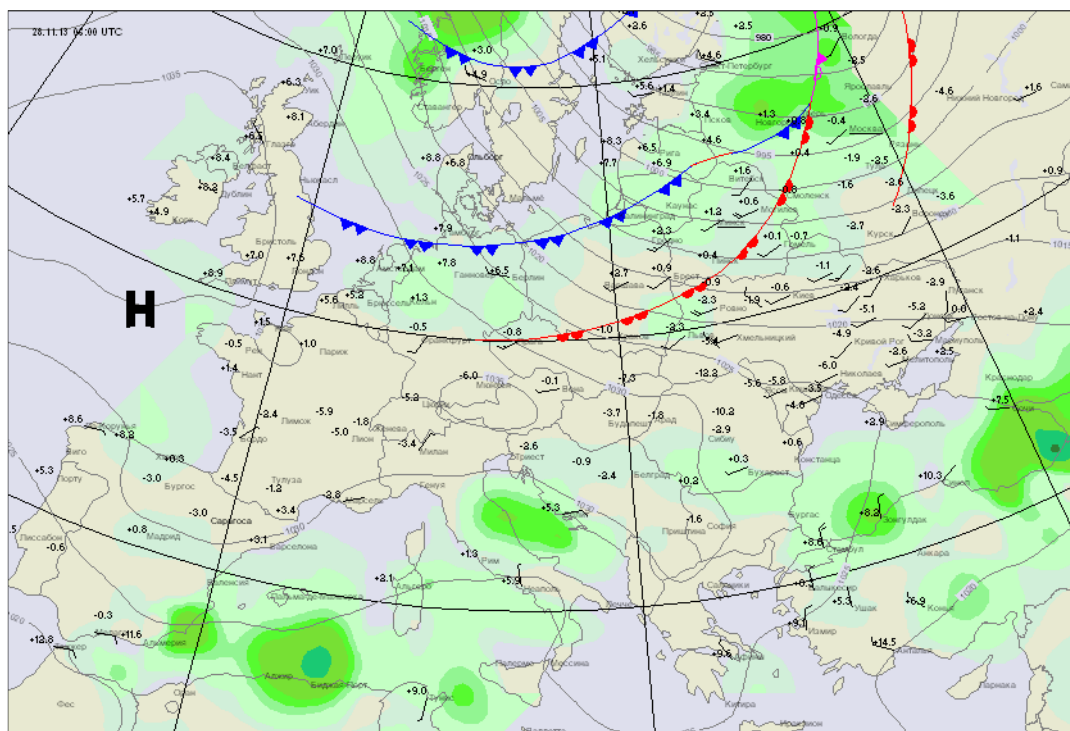


Рис. 18. Синоптическая карта за 28.11.2013 г., срок 06:00 ВСВ

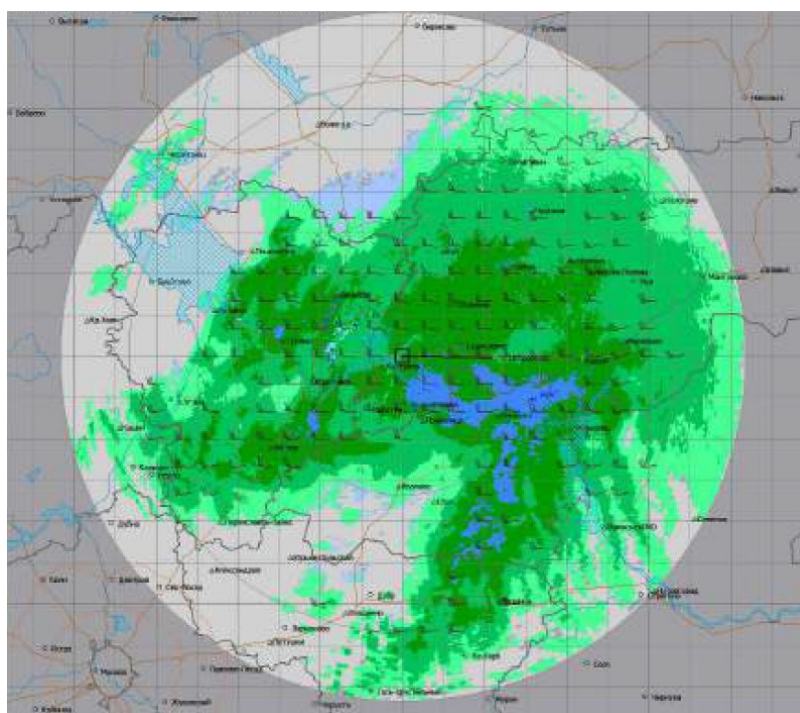


Рис. 19. Карта метеоявлений ДМРЛ-С «Кострома» 28.11.2013 г., срок 06:29 ВСВ



*Облачность центра молодого циклона.* При расположении вблизи ДМРЛ-С центра молодого циклона радиоэхo имеет форму «запятной», с выраженной вихревой структурой массива слоисто-дождевой и кучево-дождевой облачности (рис. 20).

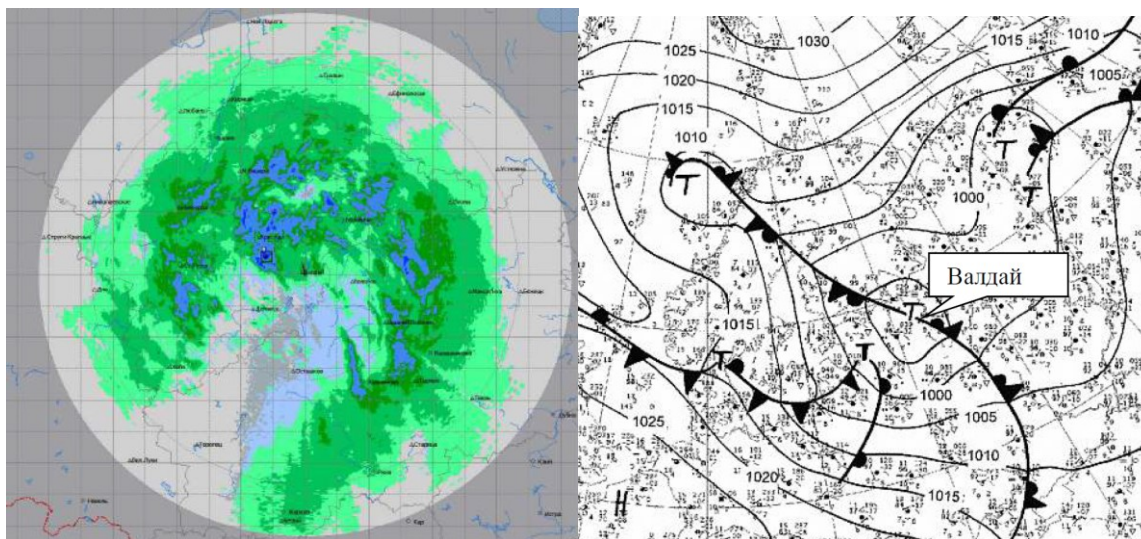


Рис. 20. Радиоэхo вблизи центра молодого циклона 23.09.2013, срок 05:00 ВСВ ДМРЛ-С «Валдай»

*Облачность центра заполняющегося циклона.* При расположении вблизи ДМРЛ-С центра заполняющегося циклона радиоэхo отображается в виде круга почти сплошной облачности, в основном *Ns*, расположенной вокруг радара. В режиме просмотра последовательных карт метеоявлений зачастую четко прослеживается циклоническая циркуляция радиоэхo облачности. На рис. 21 приведена синоптическая карта за 2 декабря 2013 г., срок 03:00 ВСВ. Центр заполняющегося циклона расположен вблизи Костромы.

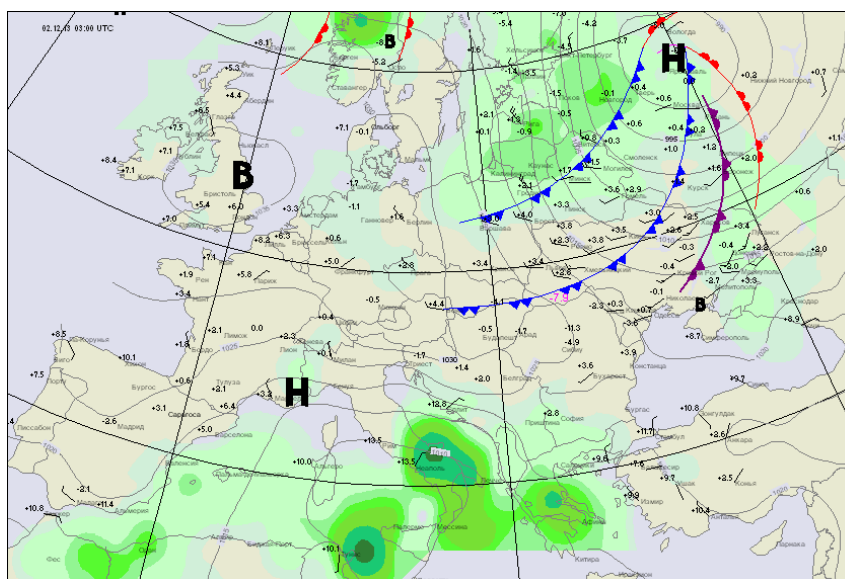


Рис. 21. Синоптическая карта за 02.12.2013

На рис. 22 приведена карта метеоявлений по данным ДМРЛ-С «Кострома» вблизи центра циклона за 05:19 ВСВ 2 декабря 2013 г., на которой радиозэхо расположено вокруг радара, скорость перемещения мала и составляет 4 м/с (14.5 км/ч), что характерно для центра малоподвижного заполняющегося циклона. В центральной части полностью окклюдированного циклона начинают появляться безоблачные участки.

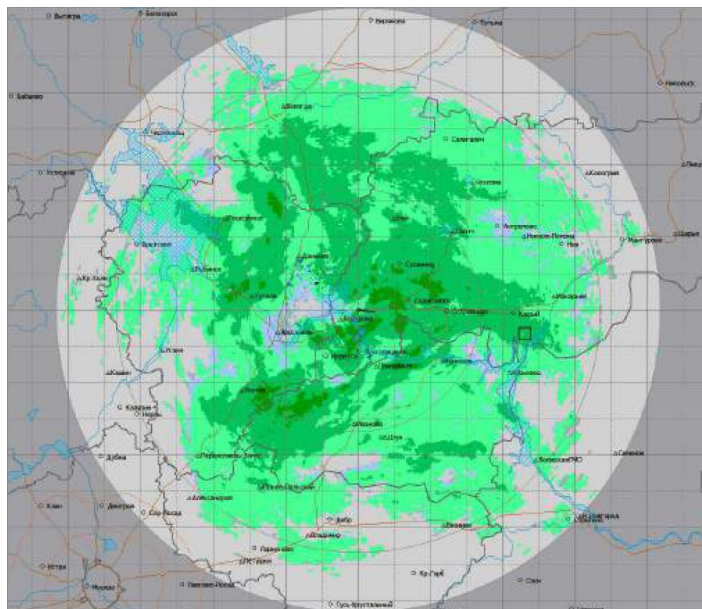


Рис. 22. Карта метеоявлений по ДМРЛ-С «Кострома» за 02.12.2013, срок 05:19 ВСВ

*Кучево-дождевая облачность с ливнями за холодным фронтом.* Радиозэхо кучево-дождевых облаков с выпадающими осадками и грозами имеет вид ячеек и полос. На рис. 23 приведена карта метеоявлений по данным ДМРЛ-С «Брянск» за 23 сентября 2013 г., срок 11:00 ВСВ. За облачностью холодного фронта отмечается развитие ливневых конвективных ячеек.

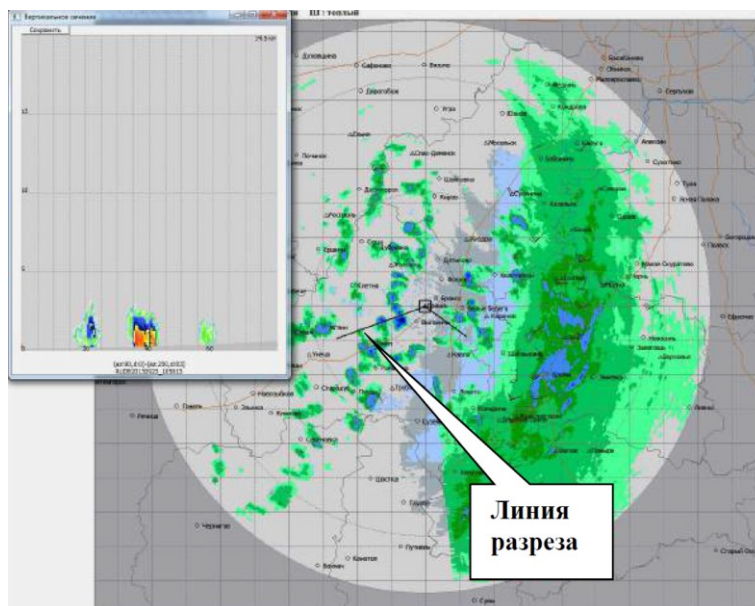


Рис. 23. Карта метеоявлений ДМРЛ-С «Брянск»



Ситуация на карте характеризуется наличием прошедшей через Брянск зоны Кострома облачности холодного фронта и зафронтальным развитием конвективных ячеек с небольшими высотами верхней границы облачности в холодной воздушной массе. Вертикальный разрез по азимуту 250 градусов в направлении конвективной ячейки показывает типичную структуру облаков вертикального развития, не достигших стадии грозовых, сопровождающихся ливневыми осадкам – радиоэхо в виде столбов, с небольшими высотами – в данном примере  $H_{\text{вго}}$  составляет менее 3 км.

*Кучево-дождевая облачность с грозами на холодном фронте.* На рис. 24 приведена карта метеоявлений при прохождении холодного фронта с формированием конвективных образований по данным ДМРЛ-С «Ставрополь» за 3 августа 2013 г., срок 12:07 ВСВ. Вертикальный разрез по указанной в направлении 27° (север–северо-восток) линии от Ставрополя через конвективное образование позволяет увидеть профиль облачности в заданном направлении, ее верхнюю и нижнюю границы, «столбы» конвективных образований с радиолокационными отражаемостями не менее 30 dBZ (желтый цвет) и высотой верхней границы облачности порядка 11–13 км. Радиоэхо на удалениях от 32 до 85 км достигает поверхности земли, следовательно, отмечаются интенсивные ливневые осадки.

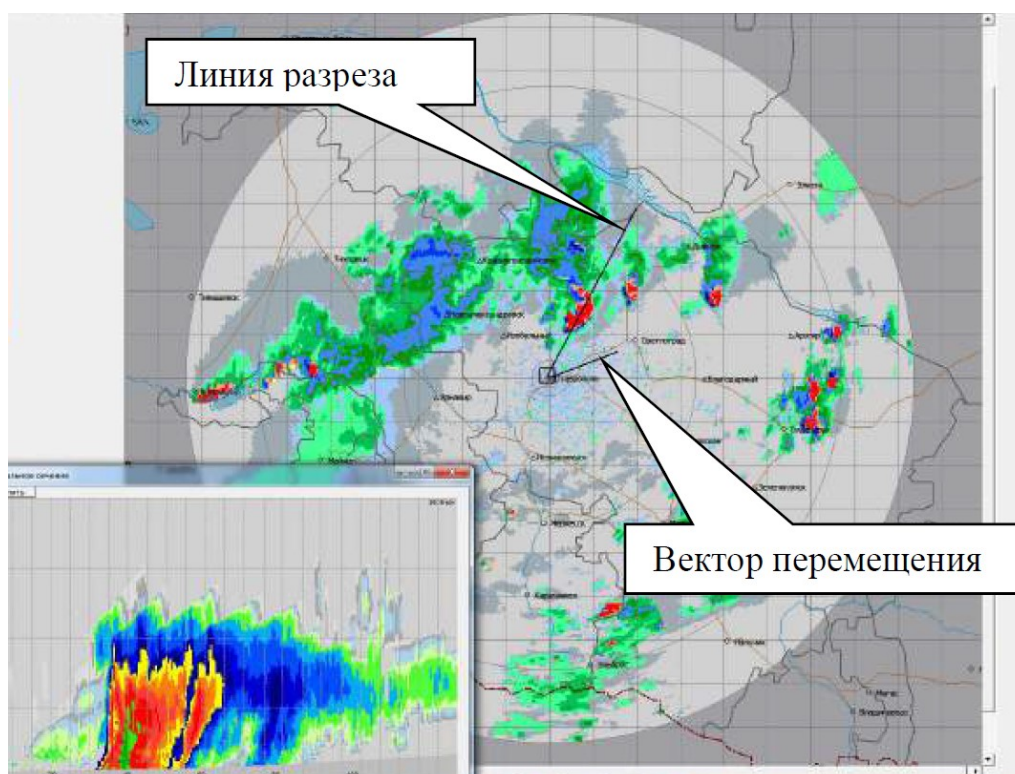


Рис. 24. Прохождение холодного фронта с формированием конвективных образований по данным ДМРЛ-С «Ставрополь» за 03.08.2013, срок 12:07 ВСВ

*Внутримассовая кучево-дождевая облачность.* На рис. 25 приведена карта метеоявлений при развитии внутримассовых грозовых очагов по данным ДМРЛ-

С «Казань» за 6 июля 2013 г. срок 09:17 ВСВ. На вертикальном разрезе по азимуту 95° радиоэхо грозовых *Сb* имеет большую вертикальную протяженность – выше 10 км – и почти постоянную отражаемость в достаточно узком вертикальном столбе.

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

*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) 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 еще дольше, периодически ослабевая и усиливаясь. Они представляют наибольшую опасность, так как с ними часто связаны интенсивные ливни, грозы, град, порывы ветра со скоростями более 30 м/с и даже смерчи.

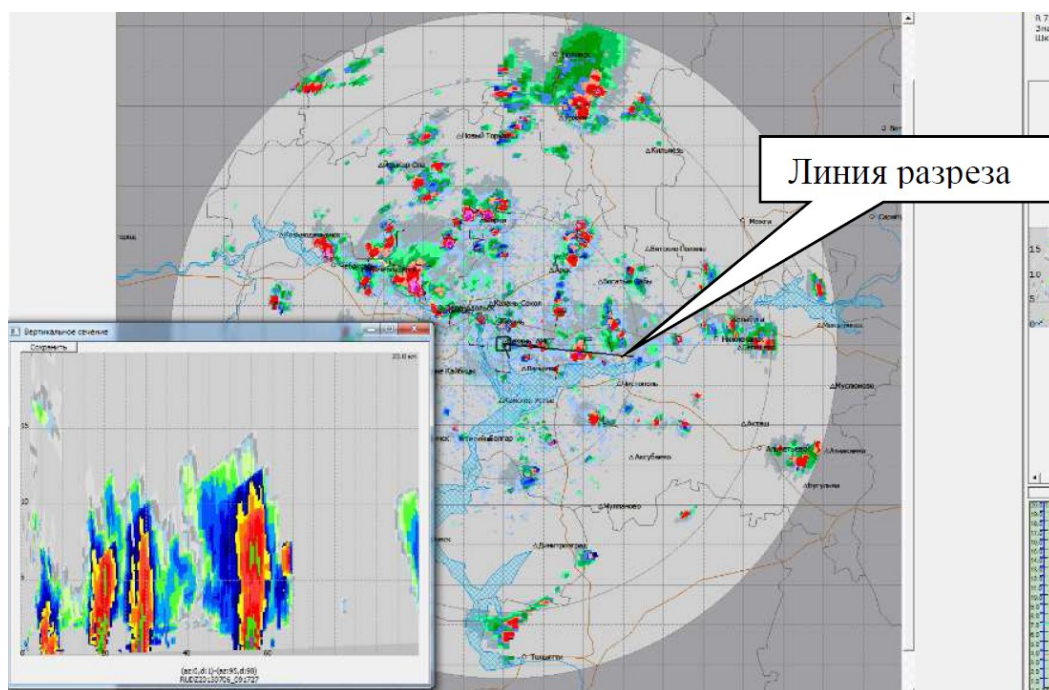
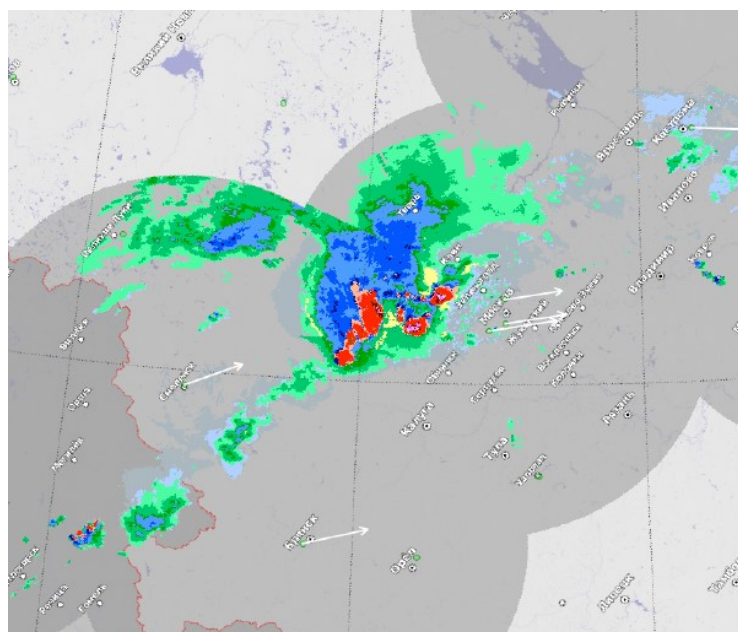
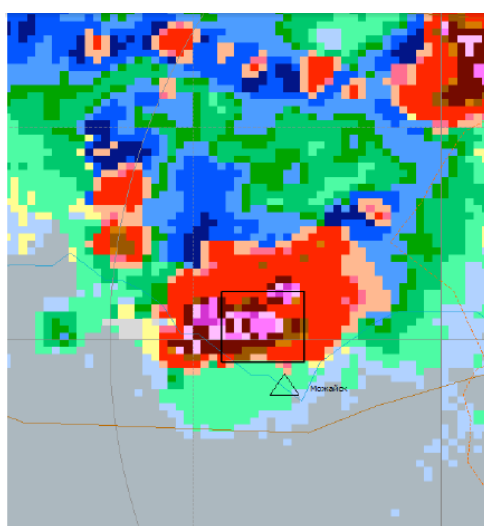


Рис. 25. Карта метеоявлений при развитии внутримассовых гроз по ДМРЛ-С «Казань» 06.07.2013, 09:17 ВСВ (вертикальный разрез вдоль грозовых очагов)

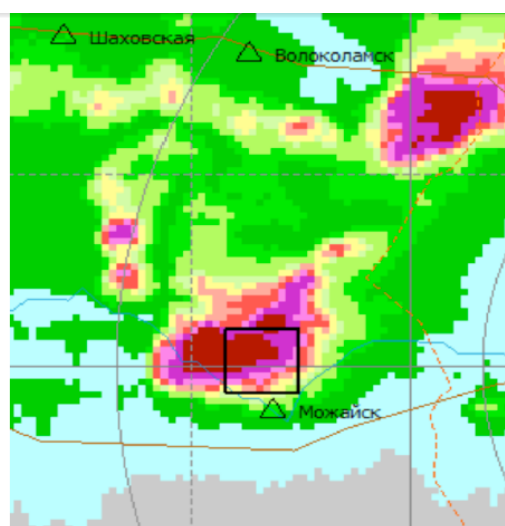
На рис. 26 приведен фрагмент объединенной карты метеоявлений ресурса Веб-ГИС «МЕТЕОРАД» за 18:40 ВСВ 13 июля 2016 г., на которой МКК, сформировавшийся на фронте окклюзии, направляется к Москве.



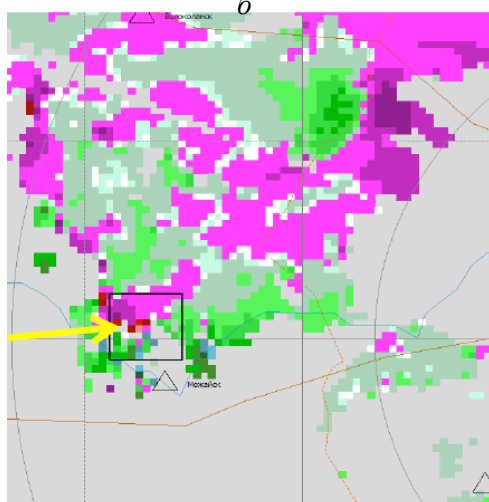
а



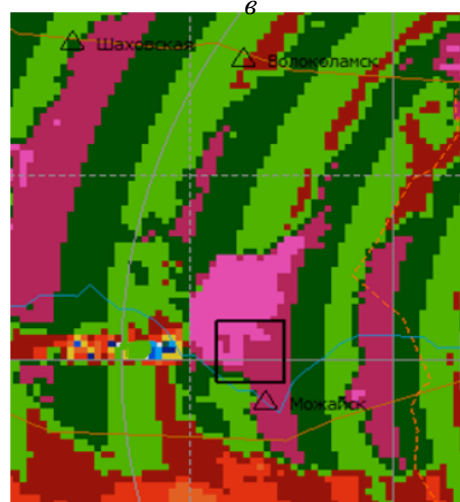
б



в



г



д

Рис. 26. Мезомасштабный конвективный комплекс на фронте окклюзии 13.07.2016 г.: а) карта Веб-ГИС «МЕТЕОРАД», 13.07.2016 г., срок 18:40 ВСВ; б) ОЯ в р-не Можайска – грозы с градом и шквалами; в) высокие значения VIL - до  $64 \text{ кг/м}^2$ ; г) градиенты доплеровского ветра, наличие рядом пикселей -  $40 \text{ м/с}$  и  $+41 \text{ м/с}$ ; д)  $H_{\text{вго}}$  до 15-16 км



В этом МКК вблизи Можайска  $H_{\text{вго}}$  достигала 15 км (рис. 26, д); отмечались радиолокационные явления – грозы, град, шквалы (рис. 26, б); интегральная водность составляла 60-64 кг/м<sup>2</sup> (рис. 26, в); отмечались высокие градиенты доплеровской скорости (рис. 26, г). В этом районе были отмечены смерчи, от которых пострадало несколько населенных пунктов Можайского района.

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

На рис. 27 приведены два фрагмента карт метеоявлений: за 15:30 ВСВ и за 15:40 ВСВ 19 июля 2016 г., иллюстрирующие «взрывное» развитие конвекции.

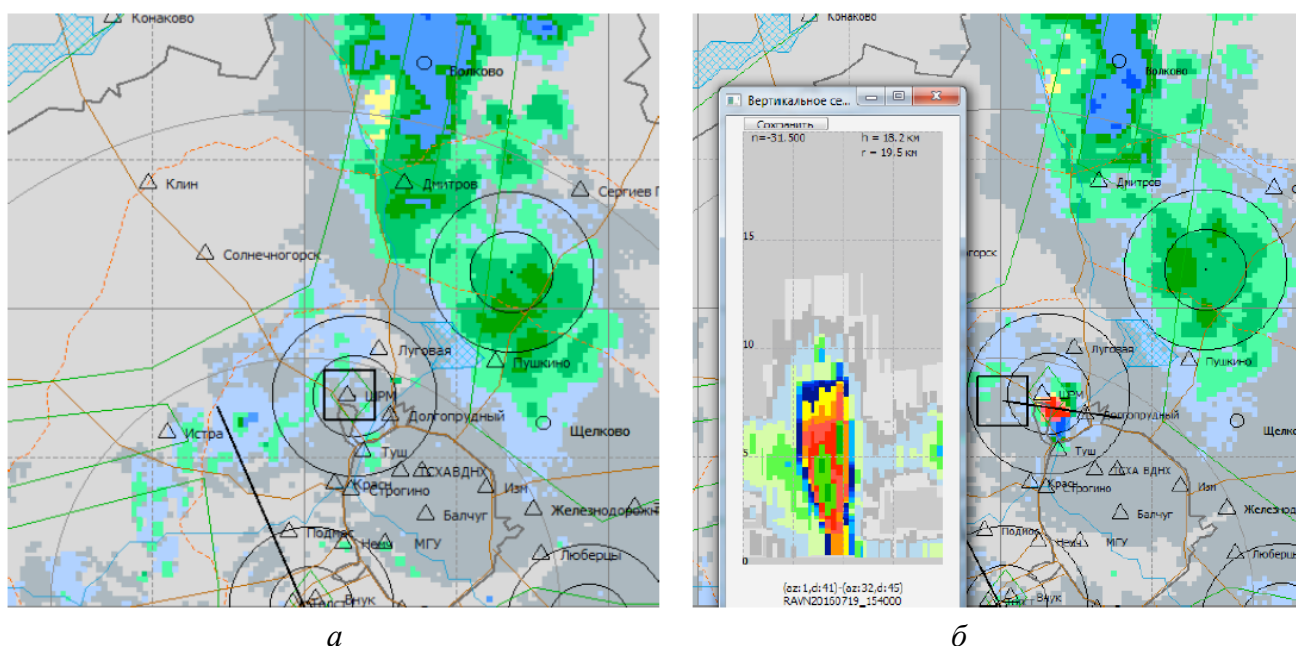


Рис. 27. Пример «взрывной» конвекции с образованием на территории аэродрома Шереметьево грозового очага в течение 10 минут: а) карта метеоявлений с облачностью без осадков и слабыми осадками в районе Шереметьева; б) карта метеоявлений через 10 минут, с грозовым очагом и построенным через него вертикальным разрезом

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.



### 2.3. Особенности использования доплеровской информации ДМРЛ для анализа синоптической ситуации

Особенностью ДМРЛ является возможность получения в результате радиолокационного обзора облачности и осадков продуктов, не предоставляемых МРЛ. Это так называемые доплеровские характеристики (радиальная скорость  $V$ , ширина спектра  $W$ ), связанные с особенностью получения радиолокационной информации средствами ДМРЛ.

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

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

ДМРЛ-С, используемый в России, автоматизирован с помощью ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010». Его функциональные возможности позволяют отображать карты распределения радиолокационных характеристик в виде горизонтальных сечений на уровнях от 1 до 15 км с шагом в 1 км (с учетом осреднений данных с шагом 100 м). Таким образом, у метеоролога появляется возможность определить скорость горизонтального переноса частицы на любом из перечисленных уровней, где существует облачность и/или осадки.

В ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» используется цветовая палитра, в которой диапазон отрицательных значений  $V$  (в направлении на радиолокатор) отображается в зеленых, а положительных значений  $V$  (в направлении от радиолокатора) – в лилово-красных тонах цветовой гаммы. Эти зоны разделяет линия нулевых значений скоростей  $V$  белого цвета. В окрестности этой линии направление движения гидрометеоров перпендикулярно направлению распространения радиолокационного луча.

С помощью области нулевых значений скоростей  $V$  можно определить среднее направление движения совокупности гидрометеоров. Для этого необходимо через область максимальных скоростей провести прямую, перпендикулярную линии нулевых скоростей. Она будет являться указателем направления движения потока гидрометеоров в облаке (рис. 28). Этот метод обеспечивает наилучшие результаты в случае слоистообразной облачности и устойчивого воздушного по-

тока, которые обычно реализуются при средних скоростях более 10 м/с. В условиях развития конвективной внутримассовой облачности, в силу усложнения схемы воздушных потоков, данный метод работает хуже.

Ориентация линии нулевых скоростей и зон максимальных значений  $V$  в слое дает представление о степени горизонтальной однородности потока, скорости и направлении его перемещения. В случае устойчивого потока линия нулевых скоростей представляет собой ровную белую полосу, а зона максимальных скоростей по отношению к ней располагается строго перпендикулярно.

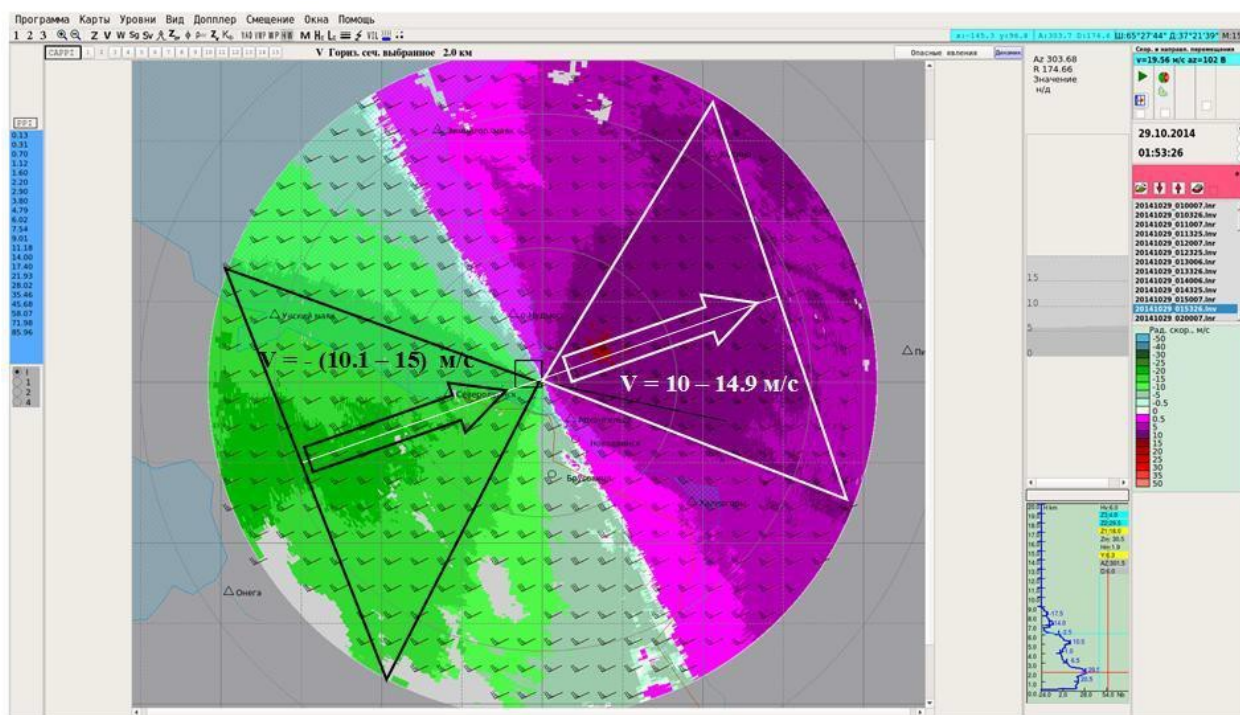


Рис. 28. Пример карты пространственного распределения  $V$  на высоте 2 км по данным ДМРЛ «Архангельск» 29.10.2014 г. срок 01:52 ВСВ

Рис. 28 демонстрирует наличие на высоте 2 км устойчивого воздушного потока юго-западного направления, движущегося со скоростью в диапазоне 10–15 м/с. S-образная форма линии нулевых скоростей (рис. 29, а), наблюдающаяся на картах распределения направления и скорости движения гидрометеоров, свидетельствует о том, что в следующем, более высоком километровом слое будет наблюдаться поворот ветра (рис. 29, б). На рис. 29, б белыми пунктирными линиями показано положение линии нулевых скоростей на высоте 3 км, а белой пунктирной стрелкой – направление движения воздушного потока. Черные стрелки указывают на величину поворота потока, а белая стрелка – на направление воздушного потока на высоте 4 км. Степень изогнутости S-образной формы линии нулевых скоростей свидетельствует о величине угла поворота ветра с высотой (чем круче изгиб, тем значительнее поворот ветра). В данном случае это небольшой (порядка  $10^\circ$ ) правый поворот ветра с высотой.

Информация о сходимости (конвергенции) и расходимости (дивергенции) воздушного потока используется в авиационной и синоптической метеорологии как фактор, соответственно, возникновения и развития или размывания облачных образований. Привлечение данных о радиальной компоненте доплеровской скорости гидрометеоров позволяет уточнять положение барических образований и атмосферных фронтов в зоне расположения ДМРЛ значительно чаще, чем это возможно с помощью синоптических карт, а именно каждые 10 минут.

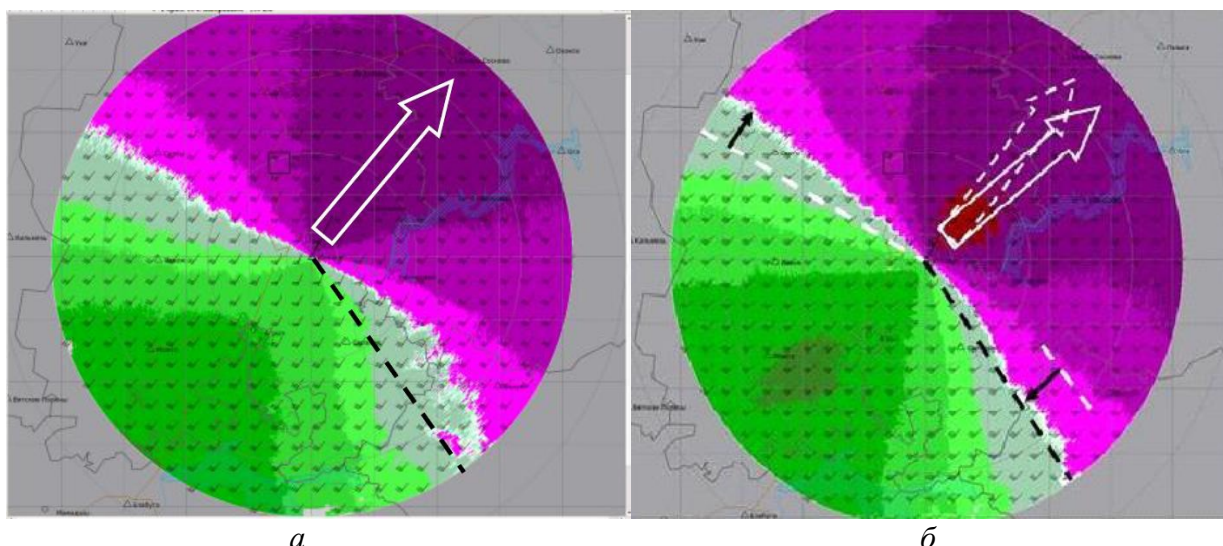


Рис. 29. Карта распределения скорости гидрометеоров: а) на высоте 3 км; б) на высоте 4 км

Зоны дивергенции и конвергенции воздушного потока также определяются по конфигурации линии нулевых скоростей, точнее, по ее изгибу. На рис. 30, а видно, что на высоте 1 км гидрометеоры приближаются к ДМРЛ с двух направлений (черные стрелки), а удаляются только в одном направлении – на северо-запад (белая стрелка). При этом преобладающее значение  $V$  гидрометеоров, приближающихся к ДМРЛ с обоих направлений, находится в диапазоне 10,1–15,0 м/с. Удаляются же гидрометеоры от ДМРЛ с максимальной скоростью, соответствующей диапазону 15,0–19,9 м/с. При этом линия нулевых скоростей имеет  $U$ -образную форму и вогнута в сторону *удаляющихся* частиц (в сторону больших скоростей). Такая картина пространственного распределения  $V$  свидетельствует о наличии **конвергенции** (сходимости) воздушных потоков в рассматриваемом воздушном слое, что и подтверждается анализом барических полей, построенных по данным аэрологического зондирования атмосферы (рис. 30, в).

Неопределенность в определении высоты локализации рассеивающих частиц облаков и осадков растет вместе с увеличением поперечных размеров радиолокационного луча. Поэтому при анализе представленных ниже данных следует иметь в виду, что на периферии карты действительная высота, на которой



мог располагаться основной объем гидрометеоров, ограничена слоем тропосферы 0 – 2 км.

На основании анализа данных ДМРЛ о распределении радиальной составляющей скорости гидрометеоров (по всем просматриваемым высотам за один срок) можно определить адвекцию тепла или холода. Изменение направления потока с высотой в правую сторону (правый поворот ветра с высотой) свидетельствует об адвекции тепла над местом расположения ДМРЛ.

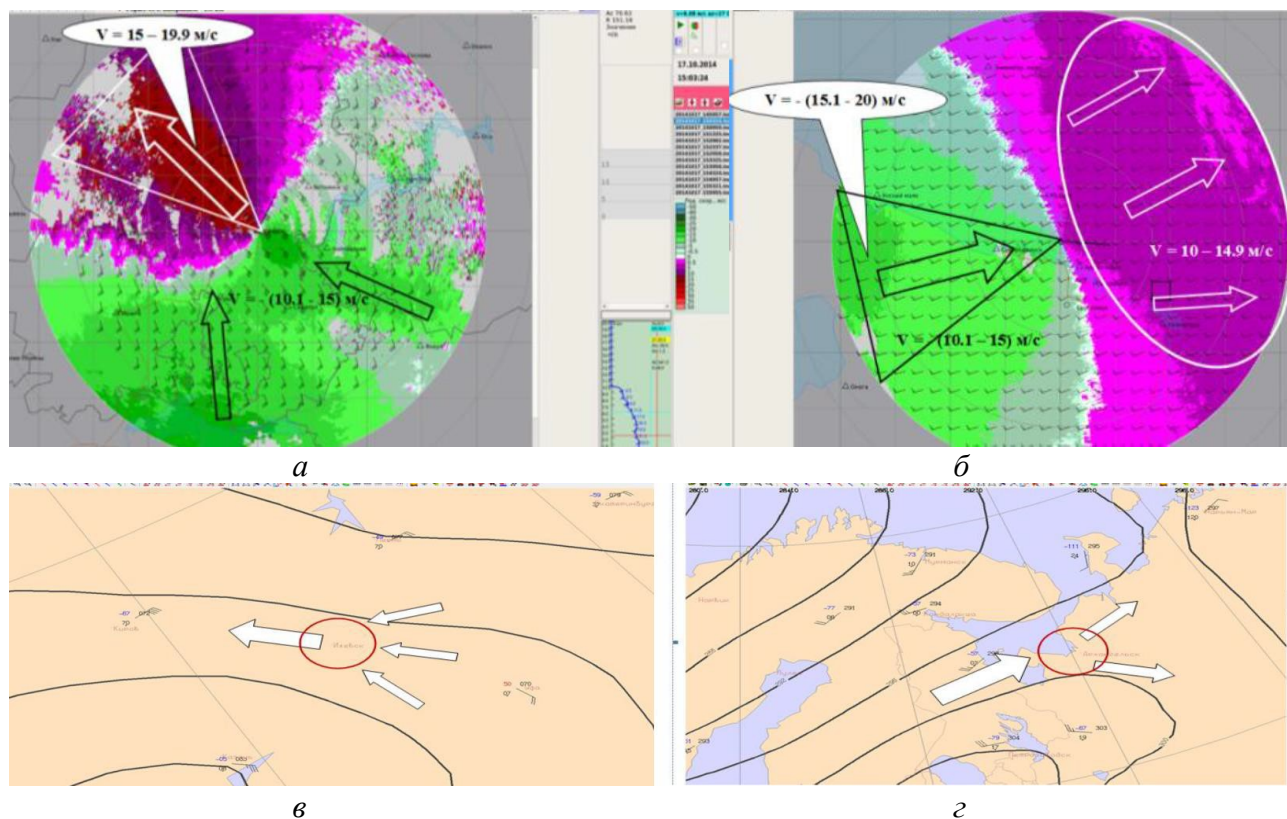


Рис. 30. Примеры синоптических ситуаций с наблюдаемой дивергенцией и конвергенцией воздушного потока в районе ДМРЛ-С:

- а) карта распределения  $V$  на высоте 1 км 17.10.2014 г. за 15:03 ВСВ в районе ДМРЛ «Ижевск»;
- б) карта распределения  $V$  на высоте 3 км 26.10.2014 г. за 06:03 ВСВ в районе ДМРЛ «Архангельск»;
- в) карта абсолютной топографии изобарической поверхности 925 гПа 17.10.2014 г. за 12:00 ВСВ в районе г. Ижевск;
- г) карта абсолютной топографии изобарической поверхности 700 гПа 26.10.2014 г. за 00:00 ВСВ в районе г. Архангельск

Подобная адвекция наблюдается при прохождении теплых фронтов, сопровождающихся обширными полями облачности (в зимний и переходный периоды), и хорошо прослеживается в зоне обзора ДМРЛ. Аналогично адвекцию холода можно проследить по левому повороту потока (ветра) с высотой. Но адвекция холода, как правило, наблюдается в тыловых частях циклонов и ложбин и сопровождается разрозненной кучево-дождевой облачностью. Поэтому отследить этот процесс по данным ДМРЛ значительно труднее. Для центральных частей малоактивных циклонов характерно квази-хаотичное распределение ради-

альных составляющих скоростей гидрометеоров. В этих случаях поток направлен к центру циклона с нескольких направлений одновременно. Если при последующих обзорах ДМРЛ появляется возможность определять генеральное направление движения гидрометеоров, а скорость их движения при этом усиливается, это является надежным признаком того, что центральная часть циклона, ложбины, седловины удалилась от пункта наблюдения (места расположения ДМРЛ) и погода стала определяться периферийной частью барического образования.

В подобных случаях по изменению направления воздушного потока можно определить направление смещения центра барического образования, например:

- установившийся юго-западный поток после хаотичного распределения скоростей свидетельствует о том, что центр циклона (или ось ложбины) сместился в северном, северо-западном направлении;

- установившийся поток западного, северо-западного направления является показателем того, что циклон сместился в восточном направлении;

- установившийся поток северного, северо-восточного направления указывает на смещение центральной части циклона в южном направлении.

Поворот воздушного потока в дальнейшем к северо-западному указывает на смещение центральной части циклона в юго-восточном направлении;

- установившийся южный, юго-восточный поток свидетельствует о смещении центра циклона в северном, северо-западном направлении.

Подобным образом, по характеру воздушного потока (переход от хаотического движения гидрометеоров в облачной массе к направленному) и изменению его направления, можно судить и о смещении барических ложбин и других барических образований циклонического характера, расположенных в северном полушарии. На их основании может быть получен краткосрочный прогноз о перемещении зон опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью.

### ГЛАВА 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА МЕТЕОУСЛОВИЙ И ПОДГОТОВКИ ПРОГНОЗОВ ПОГОДЫ И ШТОРМОВЫХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЙ

Приведем краткие сведения об объектах радиолокационных метеорологических наблюдений.

*Кучево-дождевые облака* являются основным объектом радиолокационных наблюдений. Часто используют термины «конвективные облака» или «облака вертикального развития».

Общеизвестно, что *Cb* образуются в атмосфере при высокой влажности в пограничном слое, неустойчивости в средней тропосфере и наличии ниже уровня конденсации термической или динамической конвекции.

При внутримассовой синоптической ситуации (к ней относят и слабо выраженные вторичные фронты) *Cb* образуются над районами, где отчетливо выражена неоднородность подстилающей поверхности (побережья рек, озер, морей, границы городской застройки).

В зонах активных атмосферных фронтов *Cb* образуются в результате квазиупорядоченного мезомасштабного подъема воздуха. Мезомасштабные восходящие потоки обычно связаны с мезомасштабной конвергенцией в нижней тропосфере.

Формирование кучево-дождевых облаков из мощных кучевых (*Cu cong.*) происходит при проникновении вершин *Cu cong.* в слои с отрицательной температурой воздуха. При этом наблюдается оледенение вершин облаков и выпадение из них крупнокапельных осадков. В наиболее развитых по вертикали и горизонтали *Cb* отмечаются град, смерчи, сдвиги ветра, значительные объемные электрические заряды. Такие *Cb* становятся грозовыми.

*Гроза* – комплексное атмосферное явление, неотъемлемой частью которого являются многократные электрические разряды между облаками или между облаком и землей (молнии), сопровождающиеся громом. С момента начала интенсивного укрупнения частиц в конвективных облаках происходит их интенсивная электризация и разделение разноименных зарядов. Электризация в основном характерна для зоны, где существуют и капли, и кристаллы.

Для облаков, переходящих в грозовое состояние, характерно чрезвычайно быстрое нарастание напряженности электрического поля во времени. Наиболее мощные конвективные облака, которые дают интенсивные осадки, имеют и максимальную молниевую активность. Средняя толщина переохлажденной зоны в

грозах составляет 4,7–5,6 км. С увеличением высоты нулевой изотермы возрастает количество гроз, их средние и максимальные высоты.

Молниевая активность, как правило, отмечается в одном или двух слоях (от 0 до  $-20^{\circ}\text{C}$  и от  $-20$  до  $-45^{\circ}\text{C}$ ). На тех же высотах находятся центры отрицательного заряда, эффективно нейтрализуемого молниевыми разрядами. Длина ионизированных молниевых каналов изменяется от 2 до 14 км при среднем значении 5 км. Диаметр канала молний составляет от 1 до 1,5 см, скорость их распространения –  $(0,2... 1,4) \cdot 10^8$  м/с.

Скорость перемещения большинства гроз находится в диапазоне 20–60 км/ч. При скорости перемещения более 70 км/ч грозы обыкновенно сопровождаются градом и смерчами.

Град растет в мощных восходящих потоках *Cb* за счет гравитационной коагуляции зародышей града. Кучево-дождевое облако может состоять из одной или нескольких (до пяти–восьми) конвективных ячеек. Эволюция каждой из них определяется преобладающим направлением вертикального движения воздуха и имеет три стадии: роста, зрелости и распада. По структуре *Co* подразделяют на одноячейковые, мультіячейковые и суперячейковые (рис. 31–33). В этой последовательности возрастает их разрушительный потенциал (см. табл. 1). При такой классификации за ячейку принимают элемент кучево-дождевого облака, с которым связаны локальные максимумы интенсивности осадков и скорости восходящих потоков.

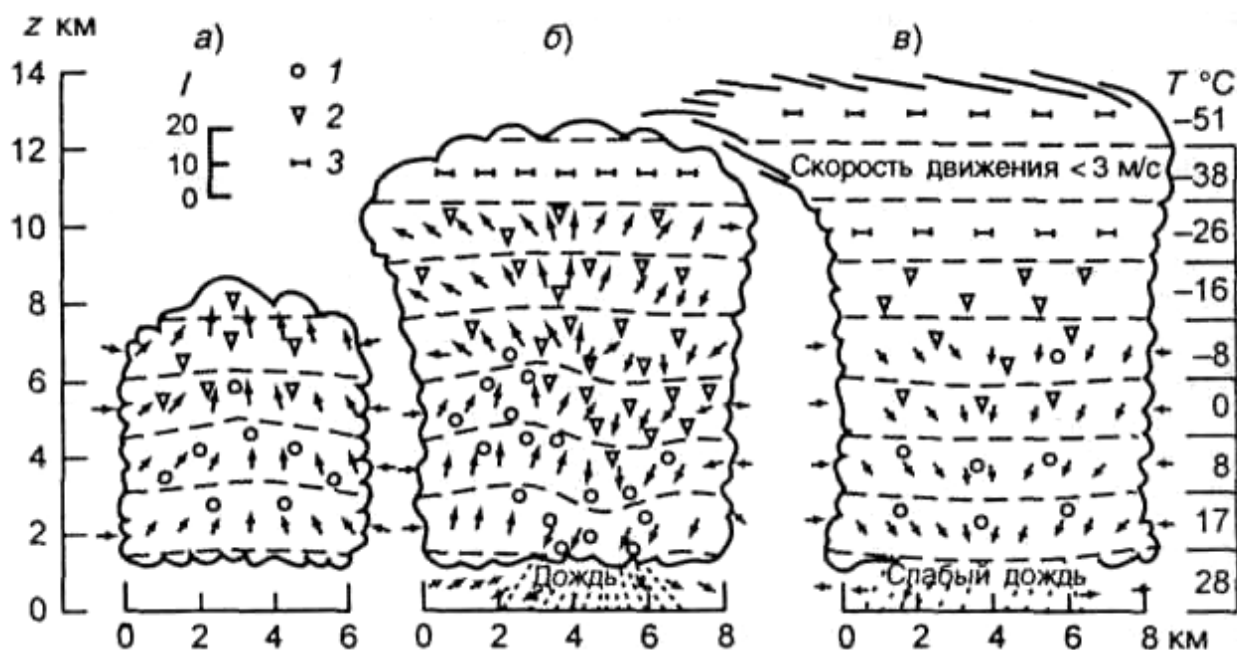


Рис. 31. Модель Байерса и Брейама. Строение грозовой ячейки в разных стадиях развития:

а) стадия развития кучевого облака; б – стадия зрелости; в) стадия распада; 1 – дождь, 2 – снег, 3 – ледяные кристаллы; *I* – масштаб вектора скорости (м/с)

Часто одноячейковые *Cb* являются начальной стадией формирования мультіячейковых облаков. Дочерние ячейки могут быстро возникать на расстоянии до 20–30 км от первичной (материнской) ячейки. Чем больше развита первичная ячейка по вертикали, тем выше скорость ее переноса и тем быстрее она догонит дочернюю ячейку и сольется с ней. Типичная схема градового четырехячейкового *Cb* приведена на рис. 31.

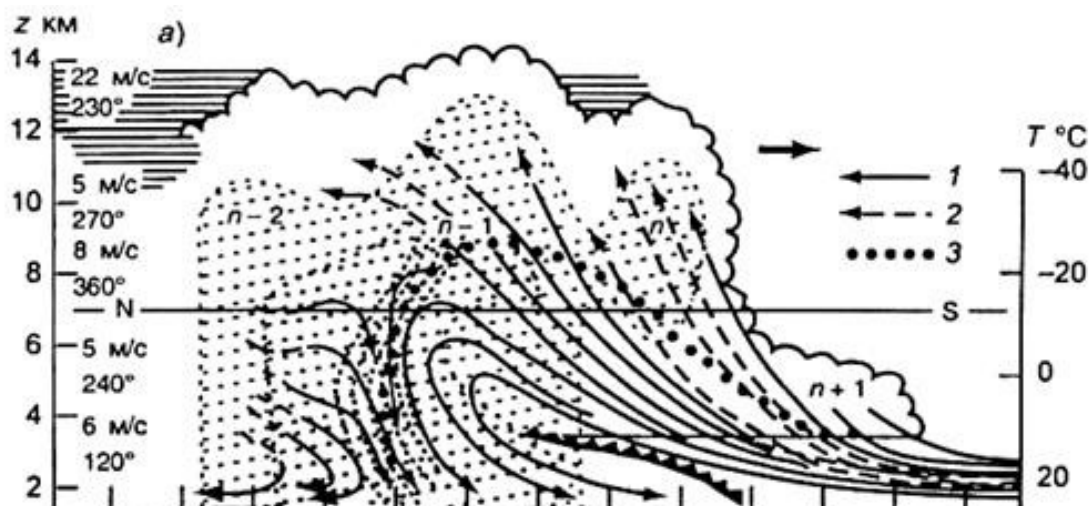


Рис. 32. Схема мультіячейкового грозового облака. На оси ординат указаны высота, скорость и направление ветра относительно облака, температура воздуха. Заштрихован участок сильной турбулентности

Мультіячейковые *Cb* могут существовать в течение нескольких часов. Разрушения, связанные с мультіячейковыми облаками, возрастают по сравнению с разрушениями, связанными с одиночными ячейками, из-за увеличения скорости ветра и размера градин. Длина полосы града может достигать нескольких десятков километров.

Таблица 1

#### Характеристики градовых процессов на Северном Кавказе

Основные параметры градового облака	Градовый процесс		
	однойячейковый	многоячейковый	суперячейковый
Максимальная высота радиоэха, км	8–12	10–14	11–16
Максимальный размер в спектре выпадающего града, см	1–3	2–5	3–8
Площадь выпадения града, км <sup>2</sup>	0,5–10	5–100	60–1800
Длина и ширина градовых дождей, км	0,5–4; 0,3–3	3–60; 0,5–10	15–180; 3–20
Синоптическая ситуация	Внутримассовое развитие, малоградиентные поля пониженного и повышенного давления	Прохождение основного и вторичного холодных фронтов	Прохождение холодных фронтов и фронтов окклюзии по типу холодного
Скорость ведущего потока, км/ч	<30	30–100	50–80



Суперячейковые *Cb* состоят из одной квазистационарной конвективной ячейки (рис. 32), которая объединяет восходящий и нисходящий потоки, расположенные по соседству друг с другом.

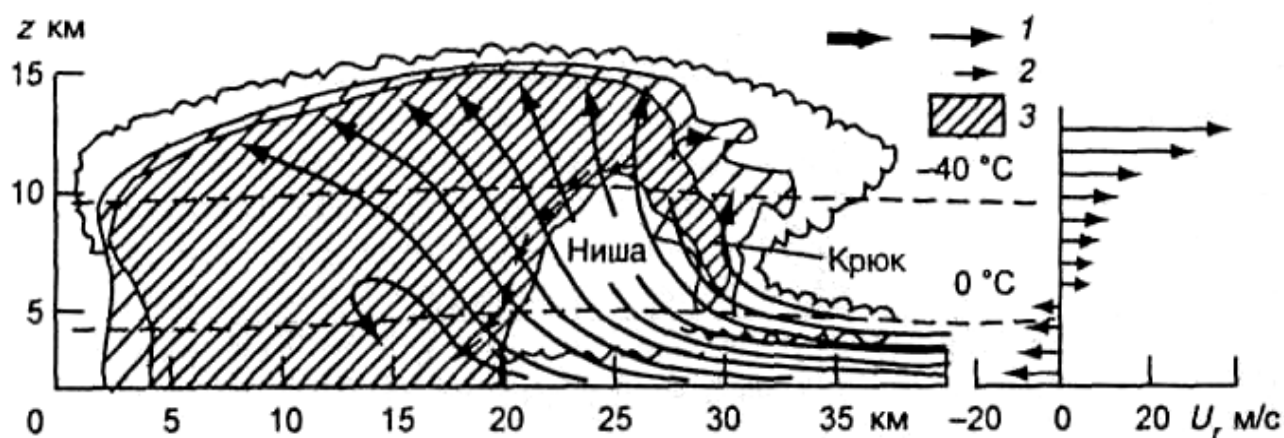


Рис. 33. Схема строения суперячейкового грозового облака:  
1 – линии тока, 2 – траектории градин, 3 – область наиболее интенсивного радиоэха;  
 $U_r$  – скорость движения воздуха по отношению к облаку, м/с

Суперячейковые *Cb* возникают, когда в результате сильного сдвига ветра в верхней атмосфере и сильной неустойчивости образуется обширное восходящее течение. Из-за большой скорости восходящих движений (несколько десятков метров в секунду) отмечается обтекание таких *Cb* внешним потоком. В области особо сильных восходящих потоков существуют куполообразные ниши (навесы), в которых происходит интенсивный рост ледяных частиц. С суперячейковыми *Cb* связано большинство катастрофических градобитий – полоса града может растягиваться на сотни километров.

*Шквалистое усиление ветра*, связанное с *Cb*, и возникающие в процессе развития *Cb* сдвиги ветра вызваны нисходящими потоками из *Cb*. Положительная энергия неустойчивости атмосферы создает восходящие потоки, которые обладают значительными запасами кинетической энергии. Такие восходящие потоки могут проникать в тропопаузу (задерживающий слой в районе нижней границы тропосферы) или даже пробивать ее. По статистике число таких *Cb* составляет не более 10 % от числа наблюдавшихся за грозовой сезон. Чем выше расположена верхняя граница *Cb*, тем сильнее компенсирующие нисходящие потоки, больше сдвиги ветра и скорость шквала (рис. 34). Параметры различных сдвигов ветра, связанных с *Cb*, приведены в табл. 2.

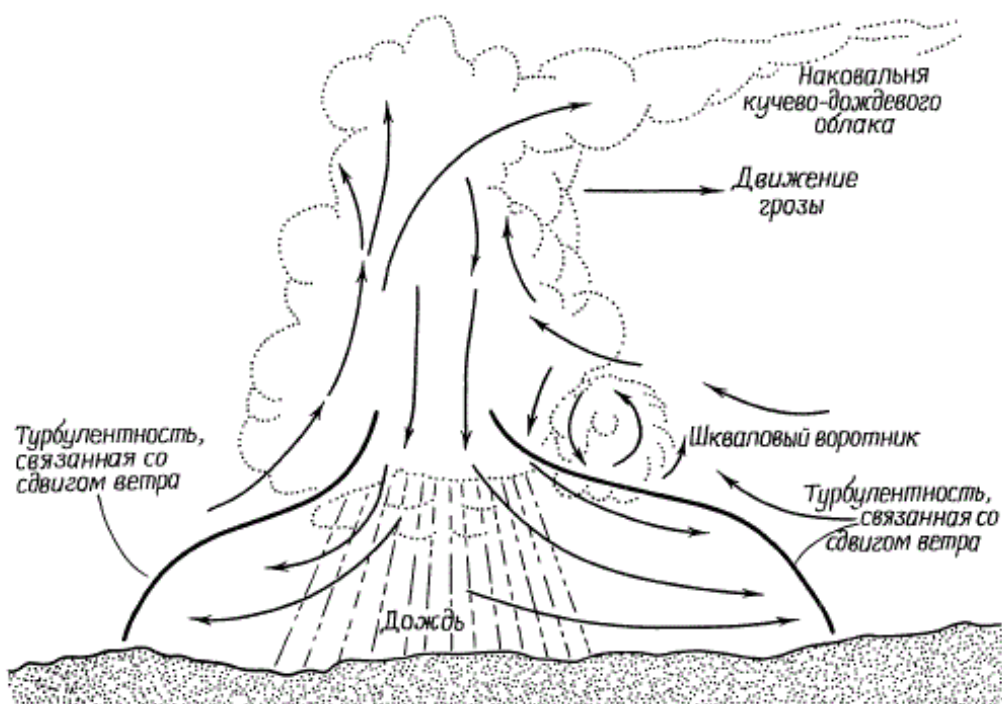


Рис. 34. Воздушные потоки в окрестности кучево-дождевого облака в стадии развития

Таблица 2

#### Сравнение различных сдвигов ветра

Наименование	Горизонтальные размеры, км	Временной интервал	Максимальная скорость ветра, км/ч (м/с)
Фронт порывов	10–100	1–10 ч	65 (18)
Макровзрыв	4–10	10–60 мин	70 (23)
микровзрыв	1–4	2–20 мин	85 (27)

*Смерч.* Наиболее высокие грозовые *Cb*, помимо шквалов, могут сопровождаться смерчами (торнадо). При этом внутри грозового *Cb* возникает спиральный вихрь типа водоворота. Смерч представляет собой расположенный в нижней части грозового *Cb* вихрь с диаметром сечения порядка сотен метров и скоростью кругообразного движения воздуха 50–100 м/с.

Часто в *Cb* смерчу предшествует область мезоциклона с повышенной скоростью циркуляции воздуха (против часовой стрелки). Размеры этой мезоциклонической области превышают размеры смерча и составляют 2–15 км. Установлено, что циркуляция в смерчеобразующих *Cb* начинается на высоте 6–8 км и затем развивается в направлении к земле. С мезоциклонами связаны в основном мощные и долгоживущие смерчи. Менее интенсивные смерчи часто возникают в областях повышенных градиентов ветра (сдвига ветра): на фронтах порывистости, холодных фронтах и т.д.

Повторяемость смерчей зависит от частоты и интенсивности гроз в данном районе. С увеличением интенсивности грозоградового процесса вероятность появления смерчей возрастает. Наибольшая повторяемость смерчей отмечена в районе Великих равнин в США.

*Cb на фронтальных разделах.* За время существования мультячейковых и суперячейковых *Cb* образуется мезомасштабная зона осадков, размеры которой в несколько раз превышают размеры зоны осадков из одиоячейкового *Cb*. Конфигурация такой зоны осадков и поле изогнет (линий равной интенсивности осадков) определяются площадью и траекторией *Cb*, а также интенсивностью конвекции.

На рис. 35 приведена схема расположения конвективных полос осадков в циклоне. Согласно рис. 34, мезомасштабные зоны осадков имеют вид длинных полос шириной порядка 100 км. Перед теплым фронтом полосы параллельны, а в теплом секторе они вытягиваются в направлении ветра в потоке теплой несущей полосы, т.е. параллельно холодному фронту. Полосы имеют составляющую скорости в направлении от фронта. Конвективные формы облаков в полосах, параллельных теплему фронту, развиваются на фоне слоистой облачности, которая формируется общим восходящим движением в зоне теплого фронта.

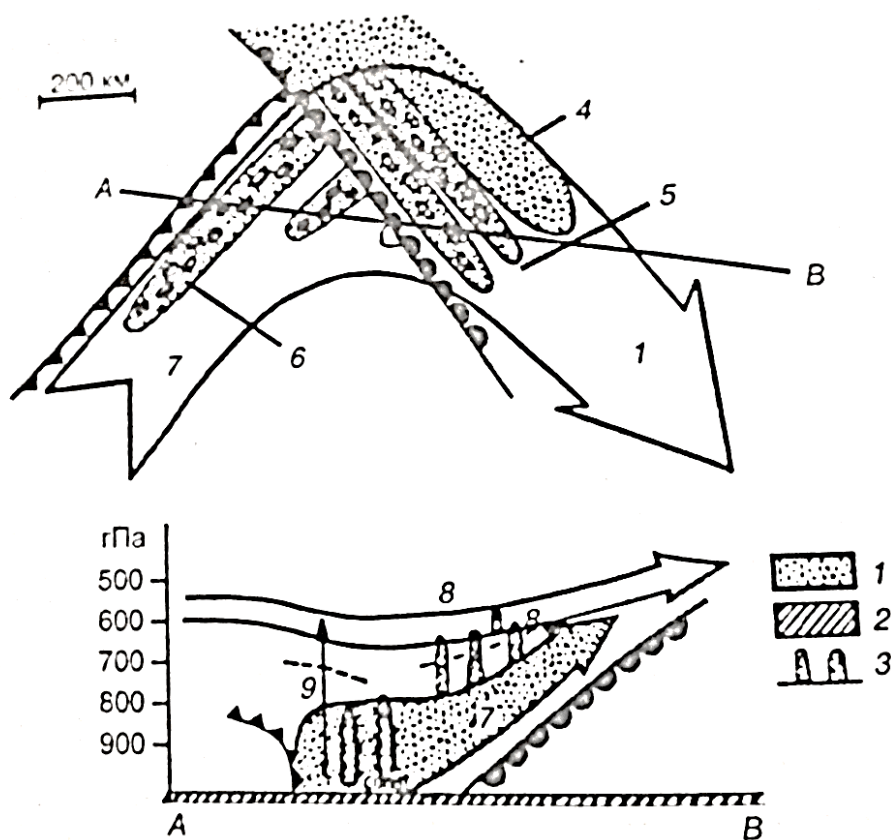


Рис. 35. Расположение конвективных полос осадков в циклоне (вверху) и вертикальный разрез циклона по линии АВ (внизу):

1 – обложные осадки, 2 – ливневые (конвективные) осадки, 3 – конвективная облачность, 4 – обложные осадки теплого фронта, 6 – конвективные осадки теплого сектора, 7 – теплая несущая полоса, 8 – слой относительно сухого воздуха, 9 – неустойчивый слой

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

При уточнении анализа синоптической обстановки, выполненного с использованием аэросиноптических материалов и спутниковых данных, необходимо использовать радиолокационную метеорологическую информацию о следующих характеристиках:

- наличия и местоположении зон облачности, осадков и метеоявлений на композитных картах с детализацией по данным ближайшего радиолокатора;
- структуре обнаруженной облачности и ее верхней границы с использованием соответствующей карты и вертикальных разрезов по нескольким направлениям;
- скорости перемещения зон радиоэха облаков, осадков, метеоявлений (ливни, грозы, шквалы и др.);
- времени начала и продолжительности периодов выпадения осадков во фронтальных системах, а также их интенсивности для конкретного пункта наблюдений или территории;
- тенденции эволюции метеорологических объектов (фазы: развитие, затухание, сохранение), при внутримассовых и фронтальных процессах.

### **3.1. Использование информации МРЛ для анализа и прогноза опасных явлений погоды**

*Рекомендуемые критерии и признаки смерча.* При использовании комплексного критерия смерча  $H \geq 10$  км,  $\lg Z_3 \geq 3,0$ ,  $\Delta H = H - H_{\text{тр}}$  на высокую степень вероятности (50 %) существования в *Cb* смерча указывают следующие признаки:

- 1) смерч – в месте слияния гряд или пересечения гряд РКО; или в месте слияния гряды с отдельным грозовым очагом – до 300 км,
- 2) слияние отдельных грозовых очагов при  $V \geq 65$  км/ч; смерч – в U-образной впадине РКО – до 300 км,
- 3) наблюдение на карте или на вертикальном сечении крючкообразного отростка на верхней границе РКО длиной по горизонтали 16 км и высотой 10,5–12,5 км – до  $R_{\text{макс}}$  – 50 км,
- 4) наличие вращения РКО или его частей против часовой стрелки – до 300 км.

*Оценка скорости шквала по данным АМРК «Метеоячейка».* Так как скорость шквала, связанного с  $Cb$ , является результатом взаимодействия нисходящего потока воздуха из  $Cb$  и приземного поля ветра, то определить факт наличия шквала только по радиолокационным данным не представляется возможным. Вместе с тем при наличии у поверхности земли благоприятных условий для возникновения шквала АМРК позволяет определить местоположение очага шквала, направление и скорость его перемещения и скорость шквала.

Определение благоприятных для возникновения шквала условий может быть выполнено с помощью расчетных методов прогноза, рекомендованных для использования в данном авиационном метеорологическом подразделении, или по сообщениям штормового кольца о появлении данного явления.

При появлении или при прогнозе появления шквалов синоптик имеет возможность уточнить место расположения зоны  $Cb$  со шквалом и максимальную скорость порывов ветров у земли в этой зоне с помощью карты АМРК «Скорость шквалов». Зная скорость и направление смещения зоны по радиолокационным или аэрологическим данным (по потоку на  $AT_{700}$  либо на  $AT_{500}$ ), можно определить траекторию смещения зоны. При этом следует учитывать, что время существования зоны шквала существенно зависит от структуры поля радиоэха.

Алгоритмы распознавания шквалов в АМРК «Метеоячейка» следующие:

$$\begin{aligned} H=10 \text{ км, } V_{ш}&=13,9+0,16 V+0,03 \lg Z_3, \\ H=11-12 \text{ км, } V_{ш}&=17,7+0,07 V+2,0 \lg Z_3, \\ H>13 \text{ км, } V_{ш}&=15,7+0,22 V+0,12 \lg Z_3, \end{aligned}$$

где  $V_{ш}$  – скорость шквала, м/с;  $V$  – скорость радиоэха, км/ч;  $Z_3$  – отражаемость в логарифмах, измеренная в слое «Метеоячейки», содержащем «грозовой» уровень – уровень  $H_3$  по «ручным» наблюдениям, середина которого превышает высоту нулевой изотермы на 2 км.

Пороговое значение скорости шквала (15, 20 или 25 м/с) устанавливается по распоряжению начальника метеоподразделения, где установлен АМРК.

*Интенсивность осадков.* Как показывает практика, количество осадков  $Q$  – условный слой осадков (в миллиметрах толщины слоя) для площади  $4 \times 4$  км за любой период наблюдений (измерений)  $T$ , которое для получения значений, наиболее близких к фактическим данным, может рассчитываться только при обновлении измерений через промежуток времени  $\Delta t \leq 10$  мин, по формуле

$$Q = \sum_{\Delta t=1}^T I \Delta t .$$

Количество осадков  $Q$  по автоматизированным радиолокационным данным оказывается систематически ниже, чем по данным наземных измерений осадков. Объясняется это в основном двумя причинами: разными масштабами пространственного осреднения и увеличением затухания радиоволн с расстоянием.

При нулевых углах возвышения антенны МРЛ измерять количество осадков по слою  $h_1$  (по  $Z_1$ ) можно фактически до 50 км. На расстоянии свыше 50 км приходится оценивать  $Z_1$  по  $Z_2$  с учетом вертикального профиля  $Z$  в осадках.

*Методика оценки количества осадков в квадрате  $4 \times 4$  км.* При периодичности наблюдений 1–3 раза в час оценка количества жидких осадков  $Q$  в квадрате  $4 \times 4$  км в радиусе 90 км от МРЛ может производиться по измерению отражаемости  $Z$  в слое  $h_1$  – по  $Z_1$  и по использованию физико-статистической зависимости между максимальной интенсивностью осадков и их количеством за дождь.

Методика оценки состоит из нескольких этапов:

1. По измеренному значению  $Z_1$  в квадрате  $4 \times 4$  км (из табл. 3) выбирается соответствующее ему  $Q$ , равное среднему значению  $\bar{Q}$  в градации.

Таблица 3

**Градации жидких осадков**

Характеристика осадков	Градация осадков по значениям $Z_1$ , dBZ	Градация осадков по значениям $I_{\text{макс}}$ , мм/мин	Среднее количество осадков $\bar{Q}$ , мм
Слабые	18-29	0,008-0,048	0,3
Умеренные	30-45	0,049-0,417	1
Сильные	46-50	0,418-1000	4
Очень сильные	$\geq 51$	$\geq 1,001$	15

2. Выбранное таким образом значение  $\bar{Q}$  характеризует максимальный слой осадков в квадрате  $4 \times 4$  км за часовой интервал времени и фиксируется в данном квадрате на карте «Количество осадков». Если в течение часа проведено два срока наблюдения (два измерения), то выбирается наибольшее из них.

3. Если осадки в данном квадрате  $4 \times 4$  км отмечаются несколько часов, то ежечасные (получасовые) данные  $Q$  суммируются.

4. Для проверки соответствия наземных и радиолокационных характеристик данные наземной дождемерной сети за 6-часовые сроки наносятся на карту с накопленными осадками по данным АМРК «Метеоячейка» в радиусе 90 км. Сутки делятся на четыре срока: 09–15, 15–21, 21–03, 03–09 ч.

5. Зоны максимумов суммарных значений  $\bar{Q}$  за 6-часовой интервал выделяются на карте штриховкой (или цветом).

6. При наличии больших значений  $Z - Z_1 \geq 46$  dBZ ( $\lg Z_1 \geq 2,8$ ) – в ближней зоне, следует учитывать ослабление в зоне осадков. Можно в тот же часовой срок

после прекращения осадков в ближней зоне (если оно очевидно из наблюдений АМРК) провести еще раз наблюдения.

Пример 1. В квадрате  $4 \times 4$  км за два последовательных получасовых срока измерены максимальные значения отражаемости  $Z_1$ , равные 25 dBZ ( $\lg Z_1 = 0,7$ ) и 31 dBZ ( $\lg Z_1 = 1,3$ ). По табл. 3 им соответствуют количества осадков  $\bar{Q}$  на метеостанции, расположенной в этом квадрате, равны 0,3 и 1 мм. Из двух указанных значений  $\bar{Q}$  выбираем максимальное, равное 1 мм. Таким образом, суммарное среднее количество осадков, по данным АМРК, за 1 ч равно 1 мм, по данным метеостанции – 2 мм. Такое соотношение можно считать допустимым.

Пример 2. В квадрате  $4 \times 4$  км за шесть получасовых сроков (не обязательно последовательных) измерены максимальные значения отражаемости  $Z_1$ , равные 26 dBZ ( $\lg Z_1 = 0,8$ ), 30 dBZ ( $\lg Z_1 = 1,2$ ), 43 dBZ ( $\lg Z_1 = 2,5$ ), 47 dBZ ( $\lg Z_1 = 2,9$ ), 53 dBZ ( $\lg Z_1 = 3,5$ ) и 62 dBZ ( $\lg Z_1 = 4,4$ ). По табл. 3  $\bar{Q}$  при этом равны 0,3, 1, 1, 4, 4 и 15 мм соответственно. Суммарное среднее количество осадков составит за время наблюдений 25,3 мм. По данным наземной метеостанции количество осадков за тот же период наблюдений составило 28 мм. Такое соотношение можно считать удовлетворительным.

Примечание. Для большинства регионов нашей страны полусуточное количество осадков около 50 мм составляет месячную или полумесячную норму осадков. Если бы, по данным АМРК, такое количество осадков выпало за полусутки, то это означало бы, что в радиусе 90 км от МРЛ отмечались стихийные явления, а возможно, было и наводнение.

*Расчет количества осадков по данным АМРК «Метеоячейка».* Расчет количества осадков по радиолокационным данным основан на зависимости интенсивности осадков от радиолокационной отражаемости, характеризующей рассеивающие свойства облаков и осадков в диапазоне радиоволн.

Для правильного расчета количества осадков за определенный период времени в радиусе 200 км от МРЛ рекомендуется:

1. Подобрать из Архива радиолокационных данных корректный ряд наблюдений, соответствующий следующим требованиям:

- период между обзорами не должен превышать 30 мин;
- в архиве, подобранном для расчета, не должно быть более двух сроков без расчета направления  $D$  и скорости  $V$  перемещения радиоэха.

2. Ввести в диалоговую панель для расчета осадков следующие параметры:

- дату и срок начала расчета (выбрать среди имеющихся в архиве);
- дату и срок окончания расчета (выбрать среди имеющихся в архиве);
- номер осадкообразующего слоя (1 или 2).

Параметры  $D$  и  $V$  не вводятся, так как при расчете количества осадков будут учитываться направление и скорость перемещения радиоэха, рассчитанные АМРК «Метеоячейка».

Период между обзорами должен быть не более 30 мин.

После окончания расчета на экране ПЭВМ появится карта «Количество осадков» в соответствии с указанными градациями.

Расчет количества осадков прерывается в следующих случаях:

- при обнаружении среди выбранных для расчета сроков наблюдений двух последующих сроков без определения направления и скорости перемещения радиоэха;

- при обнаружении среди выбранных сроков наблюдений двух последующих сроков с периодом наблюдений больше требуемого для расчета.

Если в Архиве радиолокационных данных для расчета количества осадков выбираются произвольные сроки наблюдений (без учета периода времени между обзорами, наличия направления и скорости перемещения радиоэха), то в диалоговую панель для расчета осадков можно ввести любые  $D$  (°) и  $V$  (км/ч) перемещения и период между обзорами (мин).

*Определение направления и скорости перемещения радиоэха.* Определение направления  $D$  и скорости  $V$  перемещения радиоэха метеообъектов производится следующим образом:

- 1) вычисляется интервал времени  $dt$ , за который произошло смещение поля радиоэха;

- 2) производится смещение поля радиоэха таким образом, чтобы достичь максимального совмещения площадей радиоэха за два последовательных обзора. При этом для каждого смещения поля радиоэха за предыдущий обзор относительно поля за текущий обзор вычисляется коэффициент совмещения площадей (количество совмещенных квадратов представленных данных). Одновременно определяется максимальный коэффициент совмещения площадей;

- 3) при максимальном значении коэффициента совмещения площадей в прямоугольной системе координат  $XU$  определяются величины смещения по осям  $X$  и  $Y$ . Если максимальный коэффициент совмещения площадей не один, то значения  $dx$  и  $dy$  при нескольких максимальных коэффициентах осредняются;

- 4) исходя из средних значений смещения поля  $dx$  и  $dy$  вычисляется скорость поля радиоэха за интервал  $dt$ :

$$V = \frac{\sqrt{dx^2 + dy^2}}{dt}.$$

Погрешность  $\Delta V$  определения  $V$  составляет  $\pm 5$  км/ч.



Направление смещения  $D$  определяется исходя из того, что

$$D = \arctg\left(\frac{dx}{dy}\right).$$

Погрешность  $\Delta D$  определения  $D$  составляет  $\pm 15^\circ$ .

В результате многолетней эксплуатации АМРК было установлено, что заметные ошибки при определении перемещения поля радиоэха имеют место, как правило, в следующих случаях:

- в период одновременного возникновения и развития РКО над различными участками наблюдаемого района, когда направление и скорость перемещения поля радиоэха могут резко меняться (что обычно имеет место во внутримассовой ситуации). По мере прекращения возникновения новых ячеек РКО и их слияния, когда конфигурация радиоэха метеообъектов и его площадь мало изменяются, рассчитываемое перемещение поля радиоэха при внутримассовой ситуации стабилизируется;

- в случаях наличия радиоэха слоистообразной облачности, имеющей форму размытого пятна с центром над МРЛ;

- в период, когда полосы (фронтальные) радиоэха входят в радиус обзора АМРК или выходят за его пределы;

- в периоды сильного ослабления радиоволн в жидких (смешанных) ливневых осадках, выпадающих в пункте расположения МРЛ.

Ошибки определения  $D$  и  $V$  сводятся к минимуму, если период между обзорами составляет не более 10 мин.

*Формирование контуров опасных явлений погоды.* Формирование контуров опасных явлений погоды происходит при обработке исходного поля метеоявлений по следующему алгоритму:

1. На первом шаге выполняется построение контуров конвективных ОЯ с объединением в общий контур очагов с ОЯ, удаленных друг от друга на расстояние не более 8 км.

2. Если полученное количество контуров больше максимально возможного, то расстояние между очагами увеличивается до 12 км и этап построения контуров повторяется. Значения максимального количества контуров и максимального количества точек перегиба определяются в Протоколе информационного взаимодействия автоматизированной системы управления воздушным движением с АМРК «Метеоячейка» в каждом авиаметподразделении.

3. Если количество контуров меньше максимально возможного, то проверяется общее количество точек перегиба, которое тоже оговаривается в Прото-

коле. Если количество точек больше максимально возможного значения, то выполняется сглаживание контуров до тех пор, пока общее количество точек не будет соответствовать заданному количеству.

Максимально возможное количество точек перегиба может достигать 240.

4. После удовлетворения требованиям Протокола по количеству контуров и количеству точек перегиба для каждого контура проводится определение наиболее опасного явления, наибольшей высоты верхней границы радиоэха, наибольшей отражаемости, площади контура, максимальной скорости шквала, координат центра контура.

5. Полученные значения параметров, характеризующих контур конвективных ОЯ, оформляются в виде отдельного файла и записываются на жесткий диск.

Файл координат точек перегиба очагов ОЯ является исходным для построения карты «Контуров опасных явлений» и карты «Скорость шквалов».

*Определение тенденции изменения поля радиоэха.* Для характеристики тенденции изменения поля радиоэха используются следующие градации: *Развитие*, *Сохранение*, *Распад*, *Не определена*.

Определение тенденции выполняется в два этапа:

1) на первом определяется изменение класса наиболее опасного в поле радиоэха явления (град, гроза, ливень, осадки). Если класс явления изменился, то при появлении более опасных явлений констатируется *Развитие*, при их распаде – *Распад*.

2) если наиболее опасный класс явления сохранился, то выполняется анализ площади, занятой явлениями этого класса: при увеличении площади констатируется *Развитие*, при уменьшении – *Распад*, при неизменности площади – *Сохранение* (без изменений).

Малые (менее 10 %) и очень большие (более 90 %) изменения площади не учитываются.

Случаи, когда определить тенденцию нельзя (в частности, при первом обзоре), соответствуют градации *Не определена*.

*Оценка видимости.* Оценка видимости программным обеспечением АМРК производится на основе оперативных данных определения видимости, полученных несколькими МРЛ в «ручном» режиме наблюдений, когда оправдываемость видимости составляла 70 % и более, и учитывает следующие условия, при которых по АМРК выполняется определение видимости в каждом квадрате с неприподнятым радиоэхом в радиусе 100 км от МРЛ:

- значение отражаемости  $Z_1$  в слое «Метеоячейки»  $h_1$  или  $Z_2$  в слое  $h_2$ , если слой  $h_1$  занят местником, соответствующее выпадению осадков;
- фазовое состояние осадков;

- скорость ветра у земли  $V_3$  в районе местонахождения неприподнятого радиоэха;

- расстояние до центра квадрата, в котором определяется видимость.

Определяемые АМРК значения видимости главным образом обусловлены осадками (их интенсивностью, фазовым состоянием) и не учитывают влияния на видимость атмосферных явлений, которые могут сопровождать осадки и ухудшать видимость (дымка, мгла, туман).

Значения видимости по «Метеоячейке» являются ориентировочными. Используемый программным обеспечением алгоритм определения видимости требует уточнения.

*Оценка обледенения.* По результатам исследований установлено, что повторяемость обледенения в облаках имеет выраженный сезонный ход: наименьшая повторяемость отмечается в летние месяцы, затем она увеличивается к весенним и зимним месяцам и достигает максимума в зимние месяцы (табл. 4).

Таблица 4

**Критерии качественной оценки интенсивности обледенения**

Лето			Зима		
$\lg Z$	$Z, \text{dBZ}$	Качественная оценка интенсивности обледенения	$\lg Z$	$Z, \text{dBZ}$	Качественная оценка интенсивности обледенения
0,6–1,0	24–38	Слабое	-1,5–0,4	3–14	Слабое
1,1–2,5	39–43	Умеренное	-0,3–0,3	15–21	Умеренное
$\geq 2,6$	$\geq 44$	Сильное	$\geq 0,4$	$\geq 22$	Сильное

Обнаружение МРЛ облаков, в которых отмечалось обледенение, также имеет сезонный ход, но повторяемость радиоэха таких облаков по сравнению с повторяемостью обледенения в облаках обратная, так зафиксировано:

- в летний период (май–сентябрь) – 87 %;
- в переходные периоды – 62 %;
- в зимний период (декабрь–февраль) – 40 %.

В теплый и переходные периоды года нижней границей обледенения является уровень нулевой изотермы. Однако наиболее сильное обледенение встречается в  $Cb$ , возникающих в поле  $Ns$ . В таких  $Cb$  обледенение может быть на любых высотах. Учитывая сезонный ход повторяемости обледенения в облаках, особую ценность имеет информация МРЛ о наличии  $Cb$  в поле  $Ns$  в переходные и холодные периоды.

В теплый и переходные периоды года для определения интенсивности обледенения в каждом квадрате выбирается максимальное значение отражаемости  $Z$ , измеренное в слоях, расположенных всегда выше слоя, содержащего нулевую изотерму.

В холодный и переходные периоды года выбирается максимальное значение  $Z$  в слоях, расположенных всегда выше первого слоя.

### **3.2. Использование информации ДМРЛ для анализа и прогноза опасных явлений погоды**

Оптимальный результат при использовании радиолокационной метеорологической информации может быть получен для подготовки следующей прогностической продукции:

- свехкраткосрочного прогноза на период от 0 до 12 часов;
- прогноза текущей погоды (наукастинг) на период от 0 до 2 часов;
- предупреждений о комплексах неблагоприятных явлений;
- штормовых предупреждений об опасных явлениях согласно «Наставлению по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения РД 52.27.724 – 2019» (ОЯ).

Для подготовки перечисленных выше прогнозов необходимо использовать данные с привлечением информации композитных радиолокационных карт сети ДМРЛ Росгидромета (Веб-ГИС «МЕТЕОРАД») и отдельных ДМРЛ, наиболее близко расположенных к территории или пункту прогноза.

Радиолокационная информация для подготовки прогнозов на период от 12 до 24 ч может являться вспомогательной, так как от момента составления прогноза до начала его действия радиоэхо облачных полей и связанные с ними явления погоды претерпевают значительную эволюцию, как и синоптические объекты (воздушные массы, барические образования, атмосферные фронты), обуславливающие его образование. Для подготовки таких прогнозов необходимо привлекать данные композитных радиолокационных карт сети ДМРЛ. Использование радиолокационной информации для подготовки краткосрочных прогнозов большей заблаговременности является малоэффективным.

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, поэтому информация об опасных метеорологических явлениях, получаемая с помощью ДМРЛ, имеет вероятностный характер, особенно на краях его зоны обзора. В табл. 5 приведены «максимально возможный» ( $R_{\max}$ ) и «эффективный» ( $R_{\text{эф}}$ ) радиусы обнаружения облаков и связанных с ними явлений на ДМРЛ в теплый период года, подтвержденные в ходе работы с информацией ДМРЛ.

В холодный период года значения  $R_{\max}$  и  $R_{\text{эф}}$  ниже, чем в теплый. Под «эффективным радиусом» понимают расстояние, на котором ДМРЛ обнаруживает облака и явления с достаточно высокой вероятностью (более 80 %).

Таблица 5

**Метеообъекты и радиусы их обнаружения с помощью ДМРЛ**

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); - скорость и направление перемещения	250 250	200 125
Осадки, связанные с кучево-дождевыми и слоисто-дождевыми облаками: - тип осадков (ливневой, обложной); - мгновенная интенсивность осадков; - накопленная сумма осадков	250 250 250	100 100 100
Опасные явления, связанные с кучево-дождевыми облаками: - вид явления (град, гроза, шквал); - верхняя граница облаков	250 250	220 250
Доплеровская радиальная скорость ветра	250	125

В оперативной синоптической практике для составления краткосрочных прогнозов погоды на срок до 12 ч (как правило, это могут быть уточнения к суточным прогнозам на предстоящую ночь или текущий день, специализированные прогнозы погоды по договорным обязательствам) и предупреждений рекомендуется наряду с аэросиноптическими материалами использовать следующую радиолокационную информацию, содержащуюся на картах ДМРЛ:

- об удалении, ширине, высоте верхней границы, вертикальной структуре обнаруженных зон облачности;
- о наличии и положении зон осадков, их интенсивности и суммарном количестве осадков за периоды до 1, 3, 6, 12 ч;
- о наличии яркой полосы (зоны повышенной (на 5-10 дБ) отражаемости на вертикальном профиле  $Z$ , располагающейся ниже нулевой изотермы, и обусловленной таянием частиц осадков в слоисто-дождевой облачности;
- о наличии очагов опасных явлений погоды (ливень, гроза, град, шквал);
- о скорости и направлении перемещения зон радиоэха облаков и осадков.

Эти данные используются при разработке прогнозов погоды общего назначения по территории обслуживания и по конкретному пункту, для уточнения следующих характеристик:

- количества облачности, кроме низкой слоистой, подынверсионной облачности, с высотой нижней границы менее 600 м;
- наличия осадков, их вида (фазового состояния), количества и продолжительности;
- вида и интенсивности явлений погоды, включая опасные;
- временной детализации начала и окончания наблюдаемых условий погоды.

Количество облачности прогнозируется в соответствии с общей синоптической обстановкой и уточнением этой характеристики по данным ДМРЛ с использованием карт: «Метеоявления», «Верхняя граница облачности» и «Нижняя граница облачности». При этом необходимо учитывать: если облачность ниже 600 м или из облачности выпадают осадки, то карта «Нижняя граница облачности» не является информативной, так как в этих случаях  $H_{\text{нго}}$  считается равной нулю.

Явления погоды, связанные с конвекцией (кроме грозы), при достижении ими интенсивности, характеризующейся термином «сильный», относятся к категории опасных явлений. В этом случае синоптик должен разработать и передать штормовое предупреждение. Для своевременного выполнения этой функции необходимо использовать данные радиолокационных наблюдений, приведенные в табл. 6.

В соответствии с положениями «Наставления по краткосрочным прогнозам погоды», к ОЯ относятся комплексы конвективных явлений, где каждое по отдельности не достигло критерия «сильный», но которые в сочетании могут нанести значительный экономический ущерб. К таким явлениям необходимо относить грозу + град любой интенсивности + шквал не менее умеренной интенсивности, определяемые по картам «Метеоявления» ДМРЛ.

*Шквал* – кратковременное (в течение нескольких минут, но не менее 1 мин), резкое усиление ветра до 25 м/с и более. Шквалы преимущественно возникают на холодных фронтах, особенно на быстро движущихся холодных фронтах (второго рода). Сильные шквалы, со скоростями порывов  $\geq 25$  м/с, возникают при общем контрасте температуры у земли не менее  $10^{\circ}\text{C}$ , температуре точки росы на поверхности земли более  $15^{\circ}\text{C}$  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 кривизну.

**Данные радиолокационных наблюдений, используемые для разработки штормовых предупреждений**

Наименование ОЯ	Характеристики и критерии определения ОЯ	Информация 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 20×20 км; наличие по ДМРЛ явления Гроза+шквал не ниже умеренной интенсивности; наличие МКК с $H_{\text{вго}}$ , превышающими среднюю $H_{\text{вго}}$ на 3-4 км; наличие больших градиентов доплеровской радиальной скорости на уровне 600 м (разность скоростей в соседних ячейках не менее 25-30 м/с)
Смерч	Сильный маломасштабный вихрь в виде столба или воронки, направленный от облака к подстилающей поверхности	МКК – с $H_{\text{вго}}$ , превышающими среднюю $H_{\text{вго}}$ на 3-4 км; наличие по ДМРЛ явления гроза+шквал сильный; наличие признаков смерча, в т.ч. больших градиентов доплеровской радиальной скорости на уровне 600 м (разность скоростей в соседних ячейках – не менее 40 м/с)
Сильный ливень	Сильный ливневый дождь с количеством выпавших осадков не менее 30 мм за период не более 1 ч	Обширная зона стационарного или медленно смещающегося радиоэха облачности с осадками интенсивностью не менее 20 мм/ч; если суммы осадков за 1 час по ДМРЛ превышают 30 мм; значения VIL в течение 1 часа не менее 3 кг/м²
Крупный град	Град диаметром 20 мм и более	Наличие явления более опасного, чем «Град умеренный»; значения VIL не менее 16 кг/м²

На карте метеоявлений ДМРЛ шквалы сопутствуют грозам и граду различной интенсивности, однако алгоритм расчета 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 усилений ветра (до 30-40%) ДМРЛ объективно не может идентифицировать, т.к. они приходятся на область отсутствия радиоэха. 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) (прил. 2, рис. 3).



Особенно велика вероятность возникновения шквалов, если при высоких значениях, рассчитанных по ДМРЛ скоростей переноса облачности, наблюдается несколько параллельных линий конвективных явлений на фронтах (прил. 3, рис. 1).

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. В настоящее время критерии шквалов в ПО ВОИ «ГИМЕТ» уточняются.

*Град* – осадки, выпадающие в теплое 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 *Sb* служат повышенные значения VII: их значения в градовых ячейках, как правило, превышают 12 кг/м<sup>2</sup> и могут достигать значений более 65 кг/м<sup>2</sup>; особенно велики значения VII в градовых ячейках в южных районах РФ.

Опыт мониторинга конвективных ОЯ, регулярно проводящегося в ФГБУ «ЦАО» в течение нескольких лет, свидетельствует о том, что зачастую наблюдатель за град принимает крупу. Если по данным метеостанции отмечено явление «град», а значения VII в это время вблизи этой метеостанции не превышают 8 кг/м<sup>2</sup>, это очень часто означает, что наблюдатель «крупу» принял за «град». Исследования возможности использования параметра VII в качестве предиктора явлений «град слабый» – «град сильный» продолжаются.

*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. Возникновение смерчей связано с очень сильной неустойчивостью стратификации воздушной массы. На территории РФ это явление характерно для теплого 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 10,5–12,5 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 (прил. 3, рис. 2).

Важным аспектом в прогнозе погоды является расчет времени начала и окончания явлений и их продолжительности по определенной территории или в конкретном пункте.

*Определение интенсивности и количества осадков по ДМРЛ и использование этих данных для прогноза погоды.* На карте «Метеоявления» ДМРЛ осадки классифицируются как ливневые и обложные. Каждый из этих двух видов осадков для 3 сезонов года (холодный, переходный, теплый) делится на градации в зависимости от интенсивности (слабые, умеренные, сильные). Интенсивность осадков определяется по значению отражаемости  $Z_1$  на уровне измерения осадков (уровень «1», как правило, расположен на высоте 600 м над уровнем установки ДМРЛ). Градации интенсивности осадков (слабые, умеренные, сильные), реализующиеся в настоящее время в ПО ВОИ «ГИМЕТ-2010» (табл. 7), незначительно отличаются от градаций, применяемых в прогнозе осадков в соответствии с «Наставлением по краткосрочным прогнозам погоды».

Градации интенсивности осадков в разные периоды года

Характеристика осадков на карте «Метеоявления»	Градации интенсивности осадков по данным ДМРЛ после обработки, мм/ч		
	холодный	переходный	теплый
Осадки (обложные) слабые	0,03–0,21	0,03–0,20	0,03–0,25
Осадки (обложные) умеренные	0,21–0,50	0,21–0,50	0,26–1,00
Осадки (обложные) сильные	>0,50	>0,50	>1,00
Ливневые осадки слабые	1,0–3,6, при $H_{ВГО}>3$ км	1,0–3,6, при $H_{ВГО}>3$ км	1,8–5,6, при $H_{ВГО}>4$ км
Ливневые осадки умеренные	3,7–10,0, при $H_{ВГО}>3$ км	3,7–10,0, при $H_{ВГО}>3$ км	5,7–15,4, при $H_{ВГО}>4$ км
Ливневые осадки сильные	$\geq 10,1$ , при $H_{ВГО}>3$ км	$\geq 10,1$ , при $H_{ВГО}>3$ км	$\geq 15,5$ , при $H_{ВГО}>4$ км

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, которые рассчитываются по их интенсивности в исходном районе, откуда осуществляется перенос воздушной массы на территорию (пункт) прогноза, могут использоваться для ориентировочной оценки ожидаемого количества осадков. Этот вид информации позволяет оценить количество выпавших осадков за периоды 3, 6, 12, 24 ч в радиусе 100 км от места установки локатора. Анализ сравнения радиолокационных накопленных сумм осадков с данными наземной наблюдательной сети показывает, что погрешность количественной оценки среднесуточного слоя выпавших осадков, по данным ДМРЛ, может достигать более 50 %. Данные о количестве сильных осадков, полученных от ДМРЛ, имеют зачастую значительно заниженные значения.

Опыт использования данных сумм осадков, определенных по ДМРЛ, показывает, что за более продолжительный период расчета этот показатель дает лучшие результаты. Этот фактор необходимо учитывать при разработке прогнозов погоды и штормовых предупреждений. Важным фактором для оценки возможной накопленной суммы осадков является учет местных физико-географических

условий и суточной изменчивости синоптических объектов, способствующих выпадению осадков.

*Прогноз времени начала и продолжительности явлений.* Прогноз времени начала явлений по данным одного ДМРЛ сводится к определению расстояния от пункта прогноза до переднего края радиоэха и определению скорости перемещения зоны осадков (явлений погоды), которая, предположительно, смещается в направлении пункта (территории) прогноза.

Расчет времени начала явления  $t_n$  производится по формуле

$$t_n = L_n/v + t_0,$$

где  $v$  – скорость смещения радиоэха,  $t_0$  – время составления прогноза,  $L_n$  – расстояние от пункта прогноза до передней кромки радиоэха.

Расчет времени окончания явления  $t_{ок}$  производится по формуле

$$t_{ок} = L_m/v + t_0,$$

где  $v$  – скорость смещения радиоэха,  $t_0$  – время составления прогноза,  $L_m$  – расстояние от пункта прогноза до тыловой кромки радиоэха.

Продолжительность явления определяется по формуле

$$dt = dL/v,$$

где  $dL$  – ширина зоны явления (осадков) по данным радиоэха.

Продолжительность и время окончания явления определяются только в тех случаях, когда уверенно наблюдается и может быть определена тыловая граница радиоэха осадков. Одного локатора для этого может быть недостаточно, и в этом случае лучше воспользоваться композитной картой сети ДМРЛ.

В процессе обновления данных о фактических параметрах радиоэха при проведении очередных наблюдений на ДМРЛ синоптик должен в случае значительного изменения ширины радиоэха и скорости его движения оперативно корректировать время начала и продолжительности ожидаемого явления.

При заблаговременности прогноза до 1 ч для определения скорости перемещения отслеживаемых по ДМРЛ метеобъектов рекомендуется использовать «вектор перемещения», позволяющий определить с большой точностью направление и скорость приближающихся к пункту зон осадков и опасных явлений. Вектор представляет собой отрезок, начинающийся в месте расположения ДМРЛ, направление которого указывает на направление перемещения поля облачности, а длина соответствует расстоянию, на которое поле облачности в зоне радиолокационного обзора переместится за 1 ч.

При заблаговременности до 3 ч можно использовать фактические данные о скорости и направлении движения, полученные из наблюдений за движением исследуемой площади радиоэха. Для этого можно воспользоваться в главном окне программы UVK пунктом меню «Перемещение». В дальнейшем экстраполируется перемещение зон радиоэха и определяется их прогностическое положение на период до 3 ч.

При заблаговременности прогноза более 3 ч, когда необходимо определить перемещение зон синоптического масштаба, следует вычислить скорость и направление перемещения радиоэха в соответствии с правилом ведущего потока с учетом вертикальной мощности радиоэха (высоты верхней границы облачности). При значениях высоты верхней границы:

- до 6 км – рекомендуется использовать направление и скорость ветра на уровне изобарической поверхности 850 гПа ( $V=V_{850}$ );
- от 6 до 7 км – необходимо использовать ветер на уровне 700 гПа ( $V=0,8V_{700}$ );
- от 7 до 9 км – необходимо использовать ветер на уровне 500 гПа ( $V=0,6V_{500}$ );
- от 9 до 11 км – скорость перемещения определяется как  $V=V_{500}$ ;
- более 11 км –  $V=1/2(V_{500}+V_{300})$ .

Для оценки скорости радиоэха фронтального происхождения по вышеизложенным правилам допускается использовать данные о ветре в пункте аэрологического зондирования, расположенном не более чем в 150 км от границы радиоэха, или по данным численных прогнозов на соответствующих уровнях и в соответствующий период времени.

В зависимости от средней скорости переноса облачных систем заблаговременность прогнозов, подготовленных с использованием радиолокационной информации отдельного радиолокатора, может составлять до 12 ч, а с использованием композитных радиолокационных карт – до 24 ч.

При внутримассовом характере конвекции, когда прогноз или предупреждение дается по территории или по большому населенному пункту, допускается в отношении явлений погоды использовать термин «местами».

Ошибки в автоматических расчетах вектора перемещения могут возникать в следующих случаях, когда объективно затруднено определение вектора:

- в периоды, когда фронтальные полосы радиоэха «входят» или «выходят» за пределы радиуса обзора ДМРЛ;
- при наличии радиоэха слоистообразной облачности большой площади круглой формы, с центром над радиолокатором;

- в период одновременного возникновения и развития конвективной облачности над различными участками зоны обзора. При прекращении формирования новых ячеек расчет вектора стабилизируется.

Высокие значения скорости перемещения радиоэха зон облачности и осадков (более 25-30 м/с), отмечающиеся по данным ДМРЛ в течение нескольких сроков подряд, как правило, являются признаком расположения в зоне обзора ДМРЛ струйного течения со скоростями ветра, превышающими 100 км/ч. Струйное течение обычно связано с наличием высотной фронтальной зоны (ВФЗ) в анализируемом районе, характеризующейся высокими градиентами температуры и давления. Облачность (часто среднего и верхнего ярусов *As-Cs*) на картах метеоявлений ДМРЛ в таких зонах представляет собой полосы, вытянутые в направлении вектора перемещения, как на примере – рис. 36, на котором представлена карта метеоявлений по ДМРЛ «Архангельск» с вытянутыми полосами приподнятой облачности (рис. 36, а) и высотная карта АТ<sub>300</sub> (рис. 36, б) с изображением ветви струйного течения в этом районе.

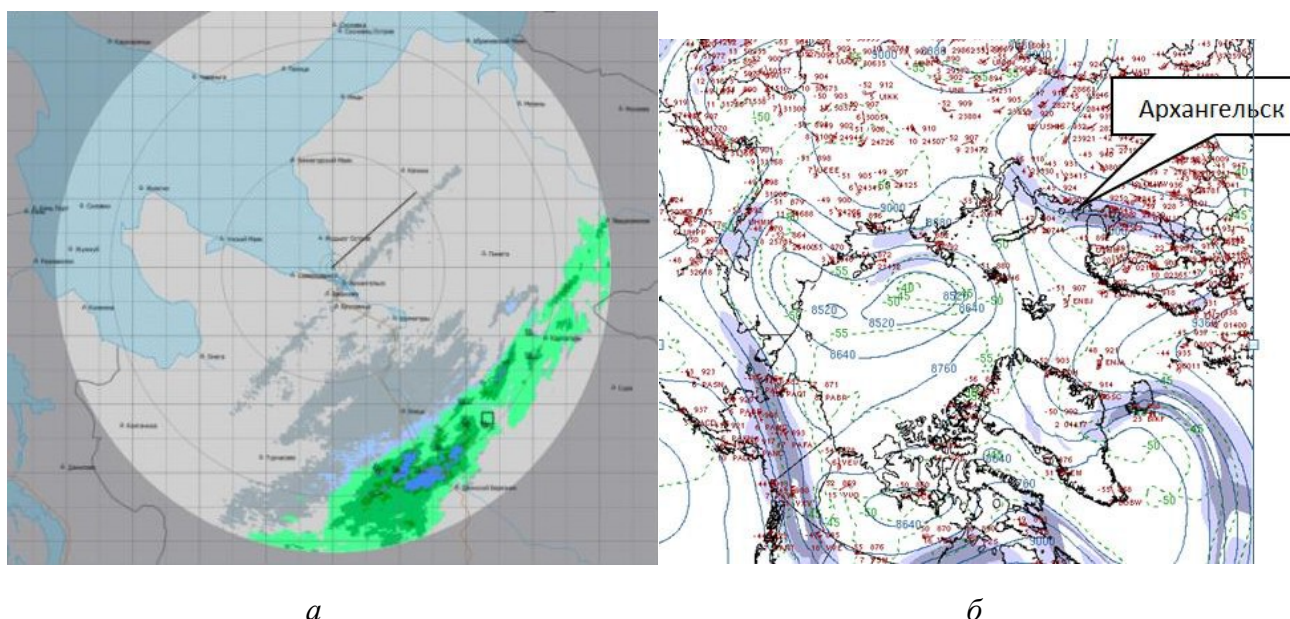


Рис. 36. Вид поля облачности, вытянутой параллельно вектору перемещения, при наличии вблизи струйного течения (ДМРЛ Архангельск, 27.09.2015 г.); а) вектор переноса 28 м/с параллелен полосам облачности; б) ветвь струйного течения севернее Архангельска с ветрами более 25 м/с юго-западного направления

Скорость переноса в этом примере по данным ДМРЛ сохранялась высокой (более 25 м/с) несколько сроков подряд. При этом на карте АТ<sub>300</sub> в районе Архангельска имело место наличие ветви струйного течения с высокими скоростями ветра юго-западного направления.



## ЛИТЕРАТУРА

Базлова Т.А., Бочарников Н.В., Брылев Г.Б., Каргальский А.В. и др. Радиолокационные метеорологические наблюдения: в 2 т. / под ред. А.С. Солониной. СПб.: Наука, 2010.

Брылев Г.Б., Низдойминова Г.Л. Использование радиолокационных данных в синоптической практике: метод. пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 78 с.

Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике: введ. приказом Росгидромета от 14 февр. 2014 г. №52.

Инструкция для оперативно-прогностических и авиаметподразделений Росгидромета по использованию информации ДМРЛ в синоптической практике: приказ Росгидромета от 23 авг. 2016 г. №368.

Методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. 3-я ред.: введ. приказом Росгидромета от 14 февр. 2014 г. № 52. М., 2019. 129 с.

Методические указания по использованию радиолокационных данных в синоптическом анализе и краткосрочном прогнозе погоды / под ред. Г.К. Веселовой, Ю.К. Федорова / Моск. отд-ние Гидрометеиздата. М., 1981. 23 с.

О внедрении на радиолокационной сети Росгидромета «Основных технических требований к системе обнаружения опасных атмосферных явлений и штормового оповещения на базе метеорологических радиолокаторов»: приказ Росгидромета от 21.06.2004 г. №95.

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. Л.: Гидрометеиздат, 1996. 180 с.

РД 52.04.320-91. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2 и МРЛ-5. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 360 с.

РД 52.27.724 – 2019. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. М.: ФГБУ «Гидрометцентр России», 2019. 72 с.

Чередниченко А.В., Чередниченко В.С. Радиометеорология: учеб. пособие. Алматы: Казак университеті, 2016. 272 с.

Электронный ресурс «Опасные природные явления Пермского края» <http://accident.perm.ru/> (дата обращения: 12.11.2020).

Электронный ресурс Веб-ГИС «Метеорад» <http://meteorad.ru> (дата обращения: 15.08.2020).

# *Приложения*

### К определению высот верхней ( $H_{\text{ВГО}}$ ) и нижней ( $H_{\text{НГО}}$ ) границ радиоэха

*Высота верхней границы радиоэха.* При прохождении холодного фронта через территорию зоны обзора ДМРЛ «Вологда» 30.05.2019 г. (рис. 1) в течение нескольких часов на карте  $H_{\text{ВГО}}$  прослеживалась область округлой формы со значениями  $H_{\text{ВГО}}$  в ее центре свыше 14 км, которые превышали преобладающие значения  $H_{\text{ВГО}}$  на фронте на 5–7 км (рис. 2). В этой области по карте  $H_{\text{ВГО}}$  можно диагностировать максимальное развитие конвекции: в ней отмечены зоны грозы и града (рис. 1); причем на карте  $H_{\text{ВГО}}$  зона наиболее опасных метеоявлений выражена даже лучше, чем на карте метеоявлений.

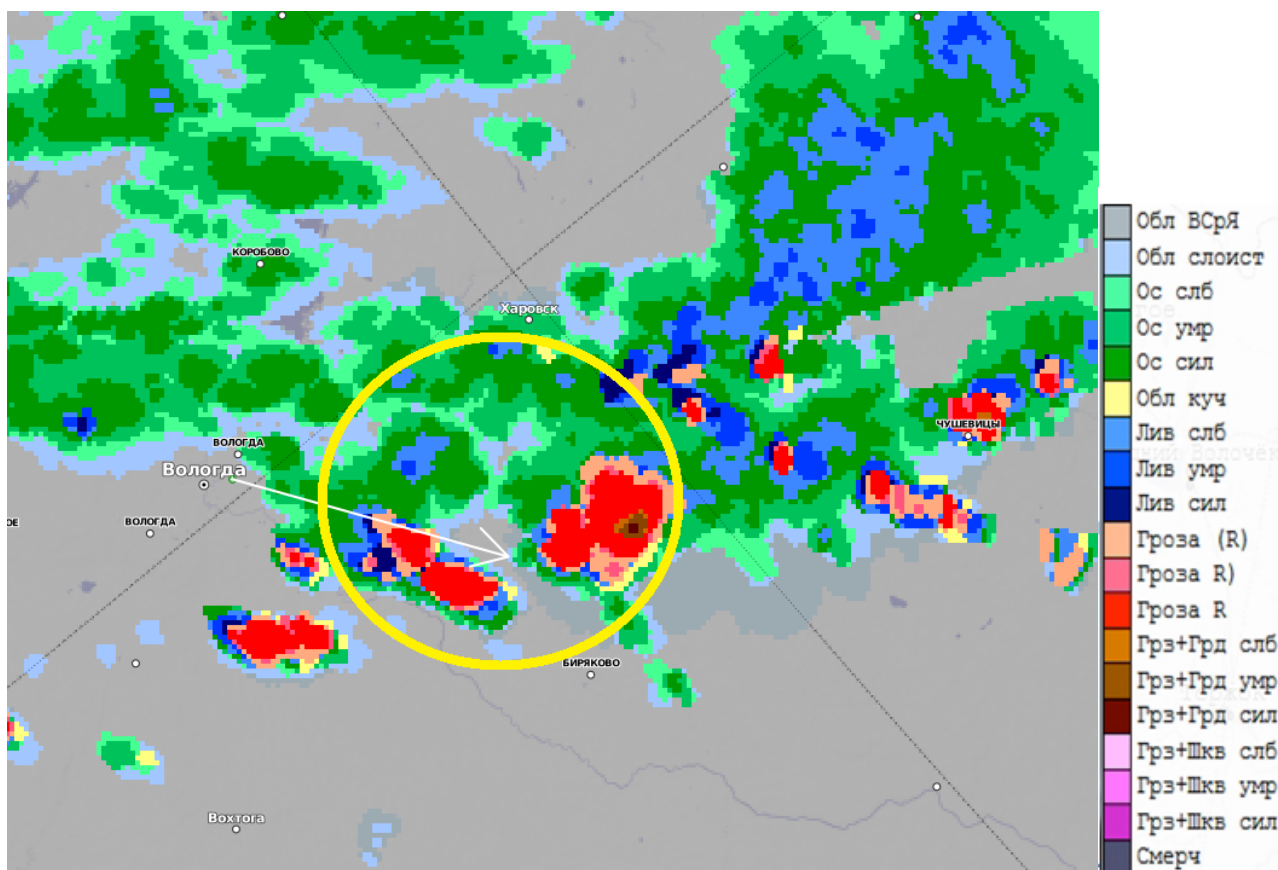


Рис. 1. Фрагмент карты метеоявлений ДМРЛ «Вологда»  
30.05.2019 г., 09:30 ВСВ

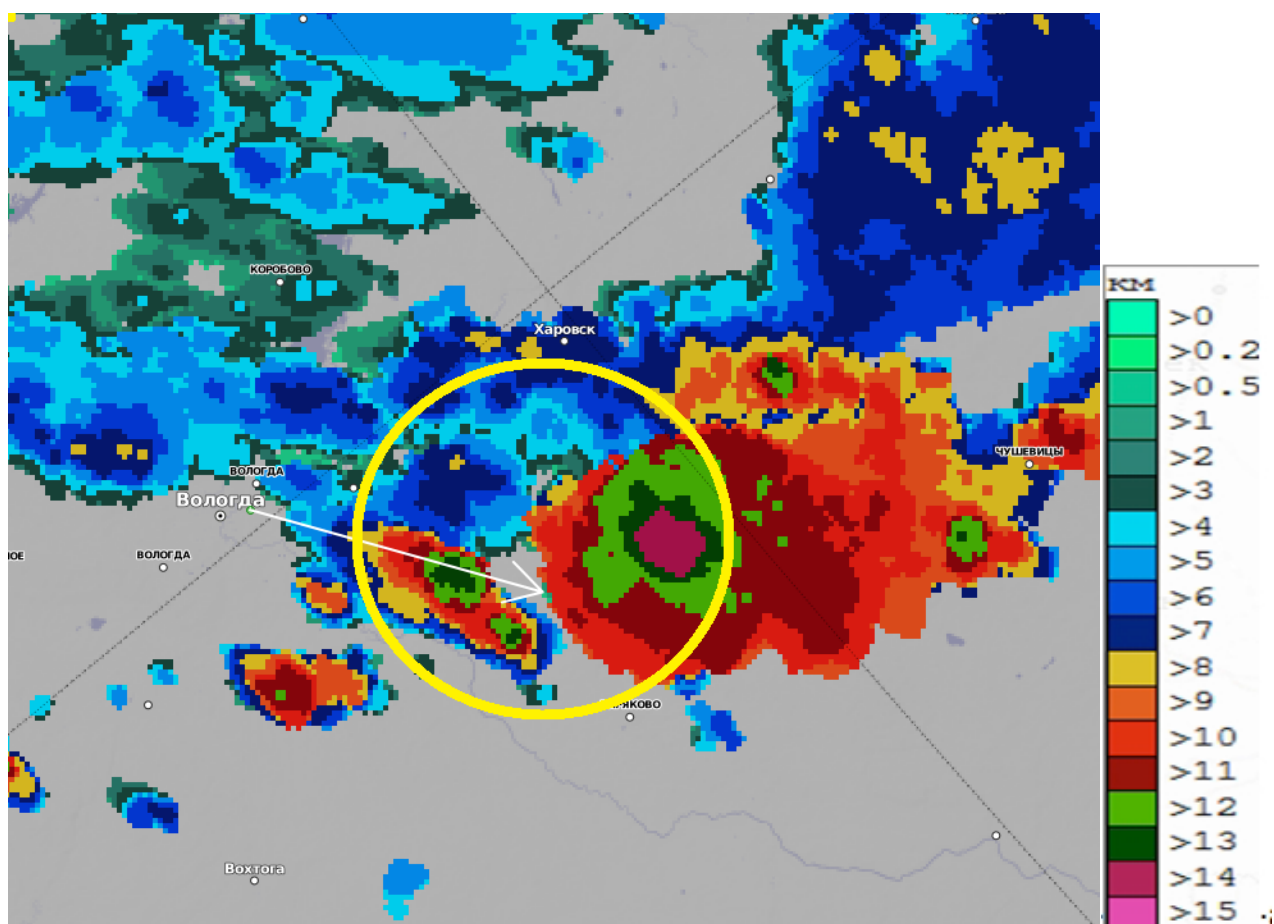


Рис. 2. Фрагмент карты  $H_{ngo}$  ДМРЛ «Вологда»  
30.05.2019 г., 09:30 ВСВ

*Высота нижней границы облаков* используется при классификации метеоявлений. На карте  $H_{ngo}$  синоптик сразу может видеть области с осадками (белого цвета) и области с облачностью среднего и верхнего ярусов (рис. 3).

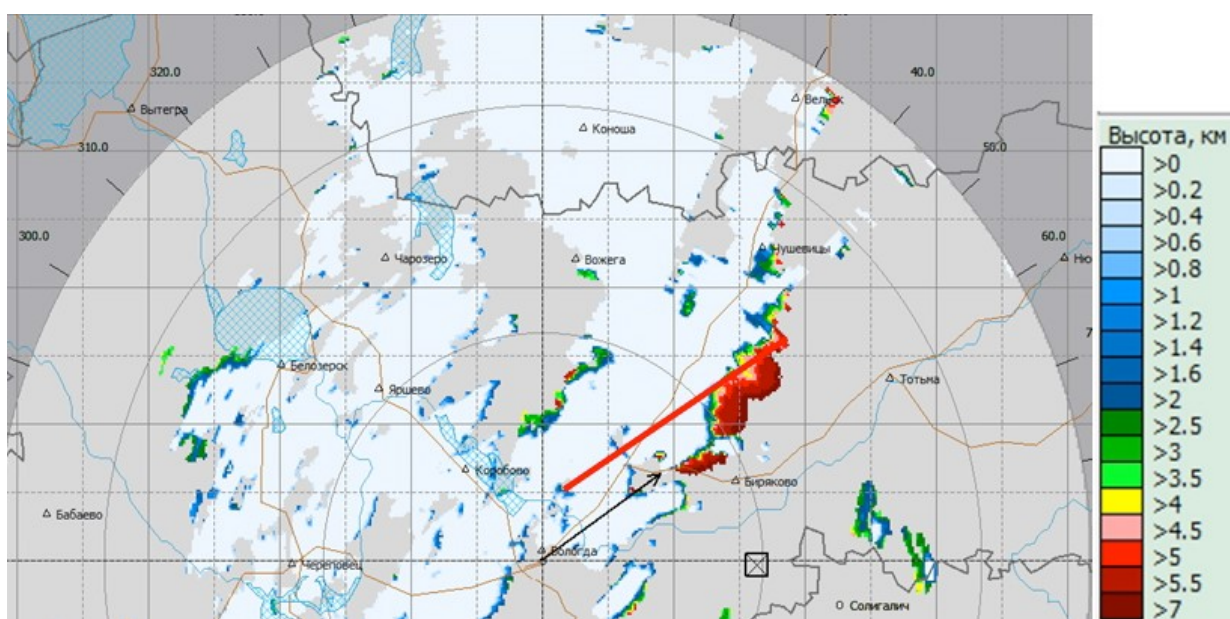


Рис. 3. Фрагмент карты  $H_{ngo}$  ДМРЛ «Вологда» за срок 09:30 ВСВ 30.05.2019 г.

Вертикальный разрез облачности, проведенный в интересующем синоптика направлении (красный отрезок на рис. 4), позволяет легко оценить толщину слоя облачности верхнего и среднего ярусов и «плотность» этой облачности по значениям радиолокационной отражаемости ( $Z$ ) в ней. Так, значения  $Z$  в облачности среднего яруса на вертикальном разрезе (рис. 4) от 10 до 20 dbZ свидетельствуют о наличии плотных облаков форм  $As$ ,  $Ac$ .

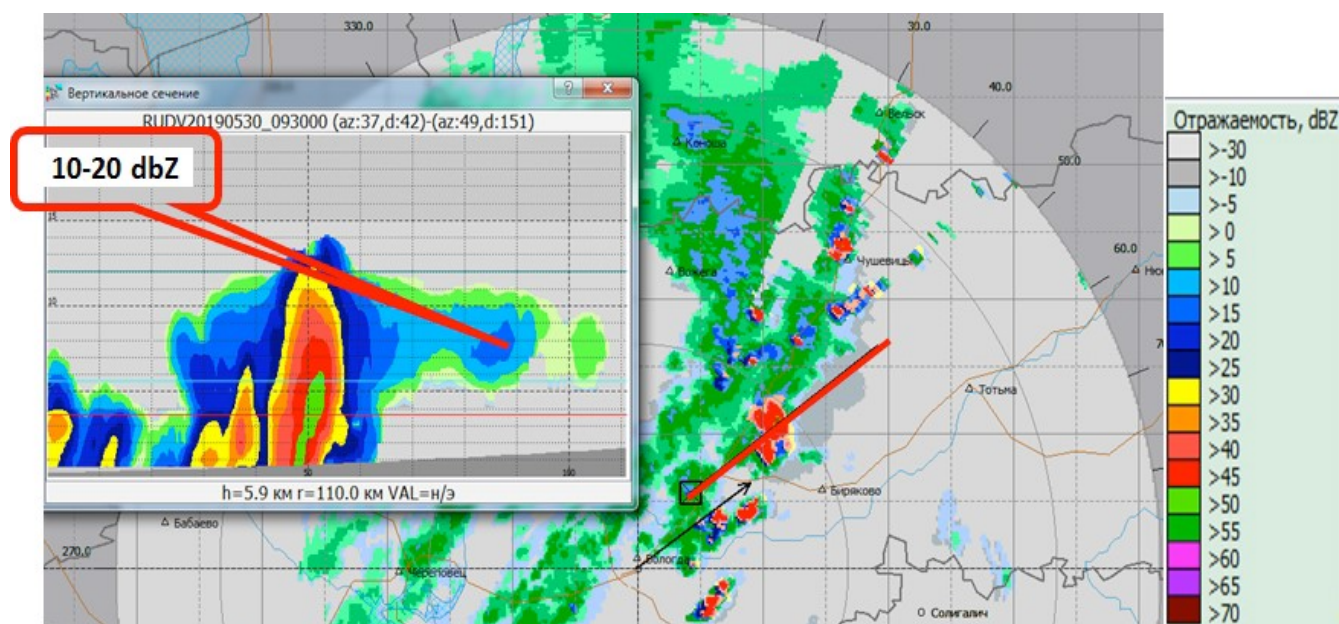
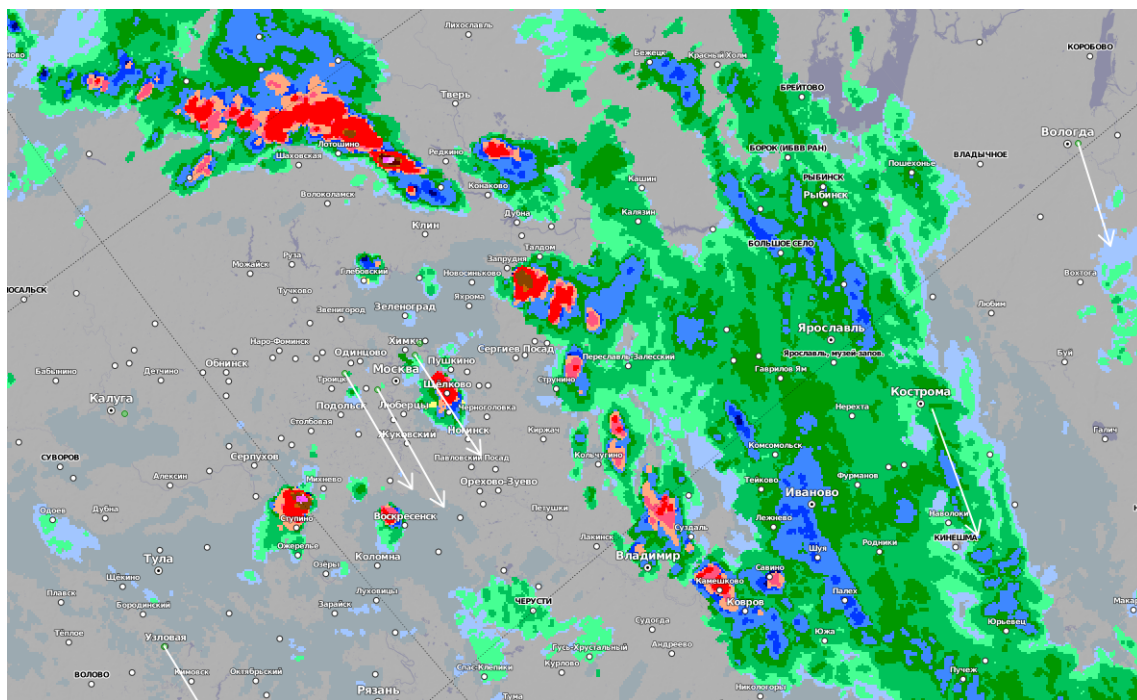


Рис. 4. Фрагмент карты метеоявлений с вертикальным разрезом (красная линия) ДМРЛ «Вологда» для оценки  $H_{\text{нго}}$  и  $H_{\text{го}}$  за срок 09:30 ВСВ 30.05.2019 г.

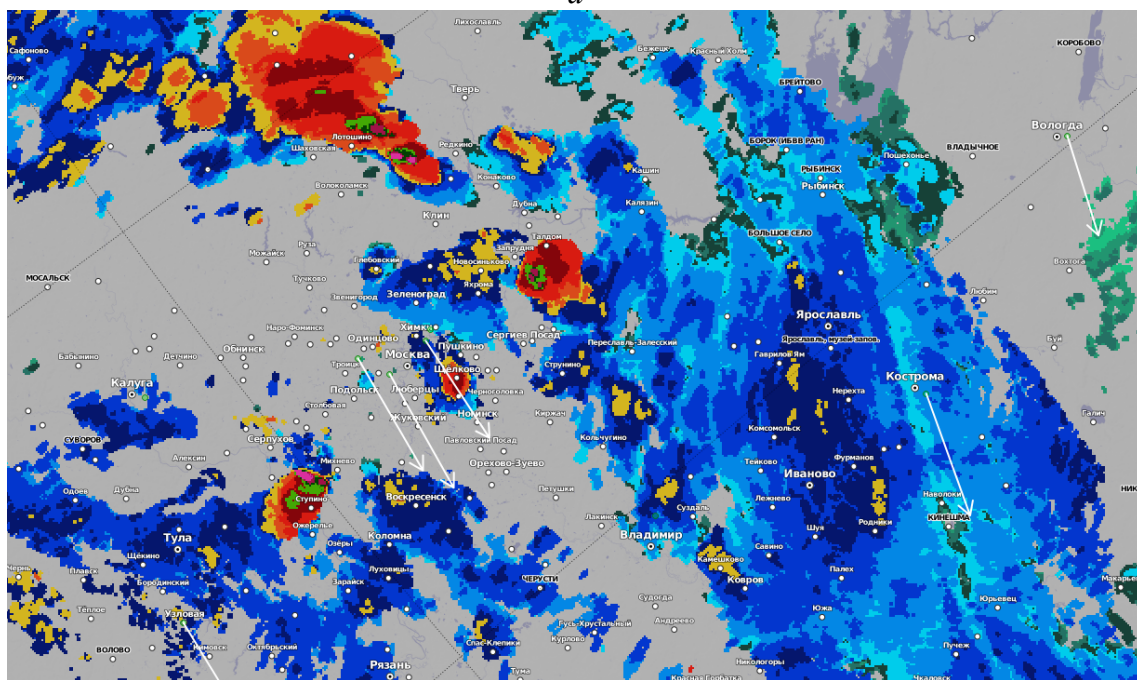


## Использование информации ДМРЛ при фронтальном анализе

*Холодный фронт.* 29 мая 2017 г. через ЕТР проходил быстро смещающийся холодный фронт (скорости порядка 70-80 км/ч по данным разных ДМРЛ (по зонам обзора которых проходил фронт) (рис. 1, 2).



а



б

Рис. 1. Карты: а) метеоявлений; б) высоты  $H_{\text{вго}}$  29.05.2017 г., 11:00 ВСВ



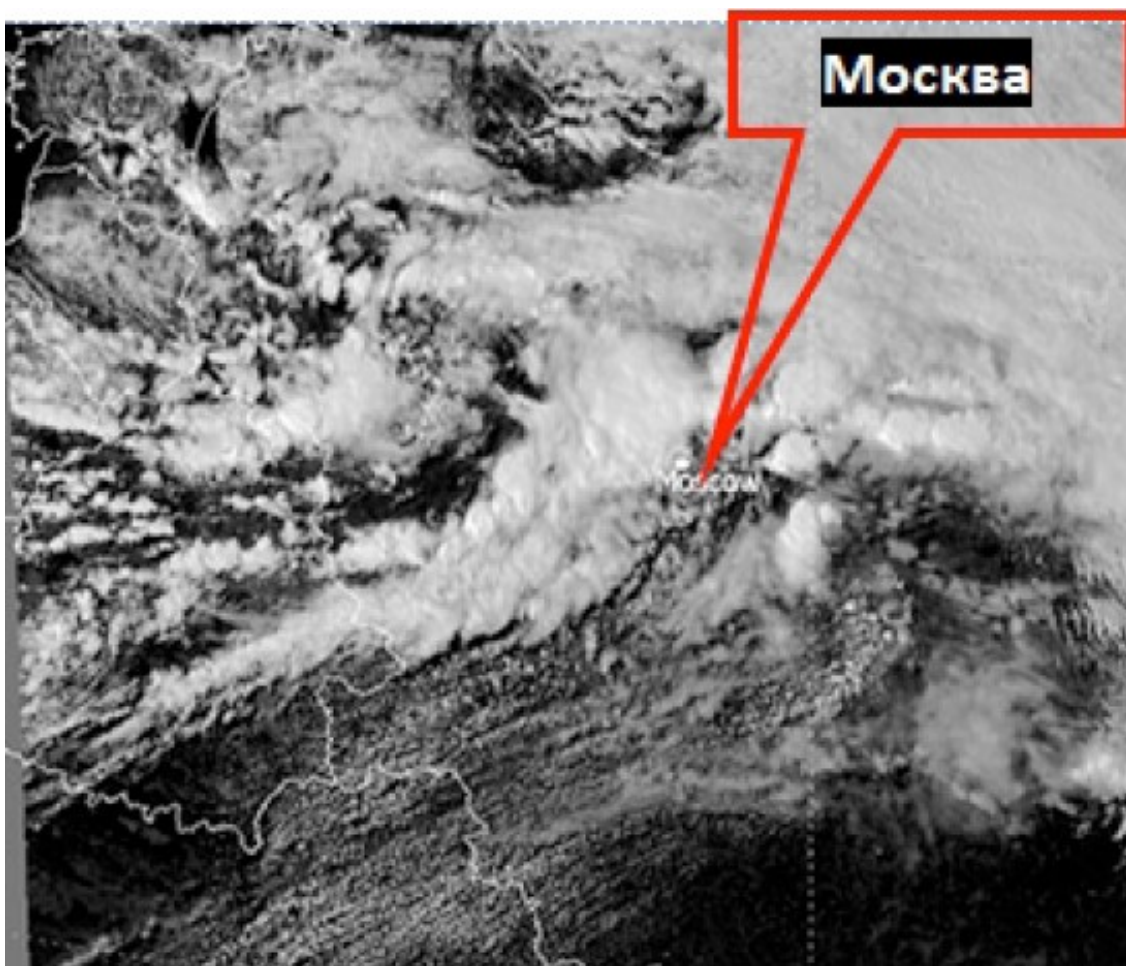


Рис. 2. Спутниковая карта облачности с видимыми элементами развитой конвективной облачности в районе г. Москвы 29.05.2017 г.

На рис. 3 приведена карта единого радиолокационного поля за 30 мая 2018 г. (09:40 ВСВ) во время прохождения через Нижегородскую область и респ. Чувашию холодного фронта с несколькими параллельными линиями конвективных явлений. Скорость порывов ветра при шквалах на метеостанциях Нижегородской области достигала 28 м/с (аэропорт Стригино, г. Нижний Новгород), в г. Чебоксары были отмечены порывы ветра до 21 м/с. На метеостанциях Нижегородской области были также зафиксированы многочисленные грозы.

На рис. 4 приведен фрагмент приземной карты за 12 ВСВ 30 мая 2018 г.

На рис. 5 представлена карта метеоявлений единого радиолокационного поля по данным ДМРЛ «Нижний Новгород», «Киров», «Казань» за 11:20 ВСВ 30 мая 2018 г.

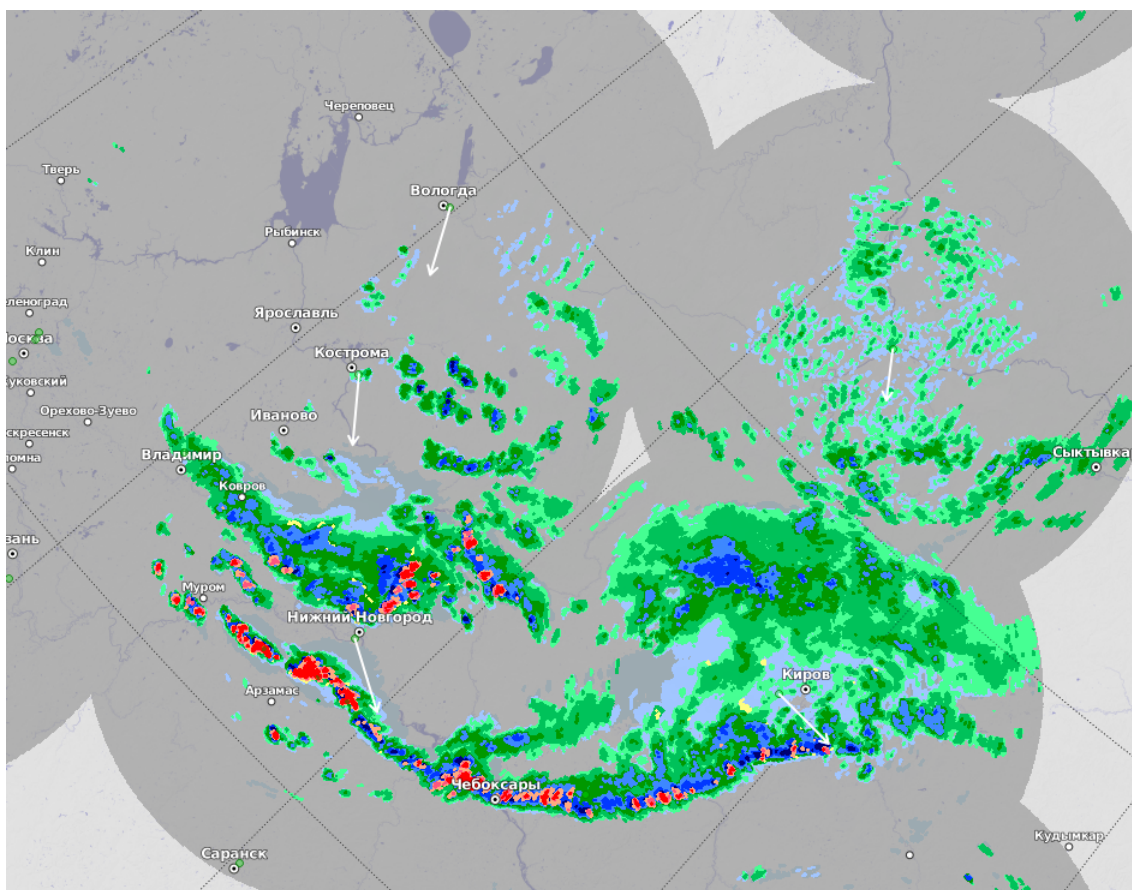


Рис. 3. Прохождение быстро смещавшихся (векторы переноса более 70 км/ч) нескольких полос холодных фронтов, сопровождавшихся шквалами в Нижегородской области и респ. Чувашии, 30.05.2018 г., 09:40 ВСВ

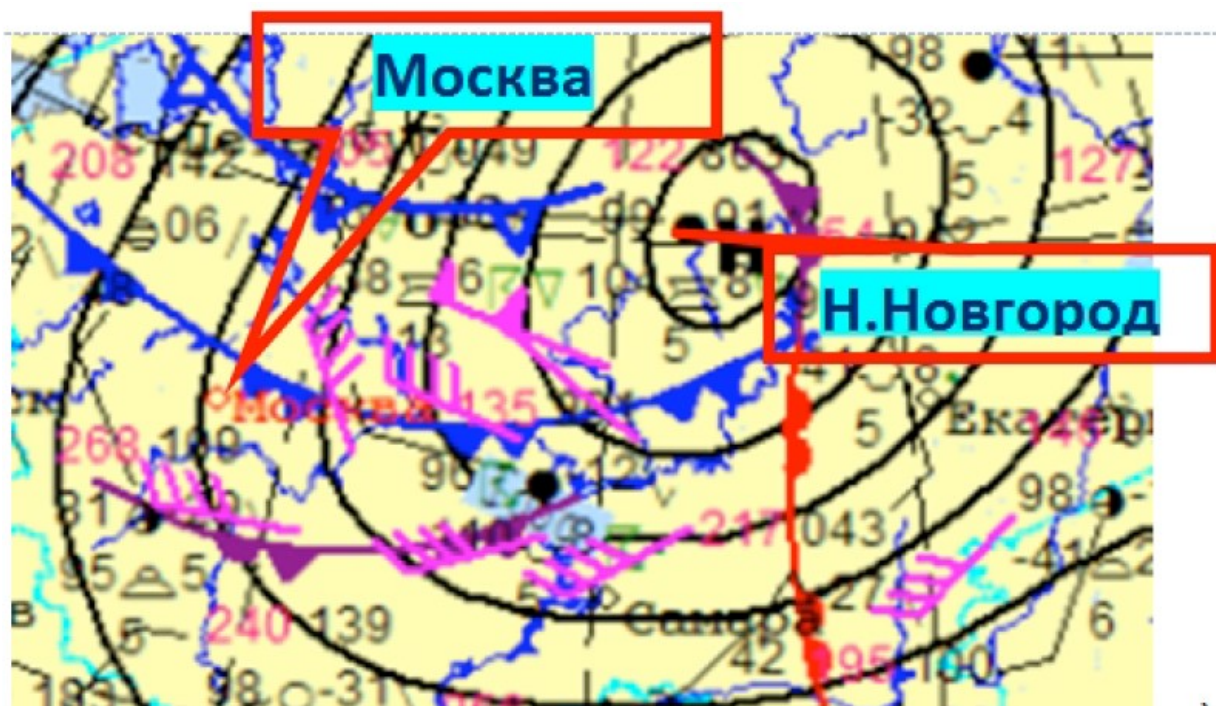


Рис. 4. Фрагмент приземной карты за 12 ВСВ 30.05.2018 г., иллюстрирующей прохождение нескольких фронтальных систем (фронт окклюзии в теплом секторе, основной и вторичный холодные фронты)



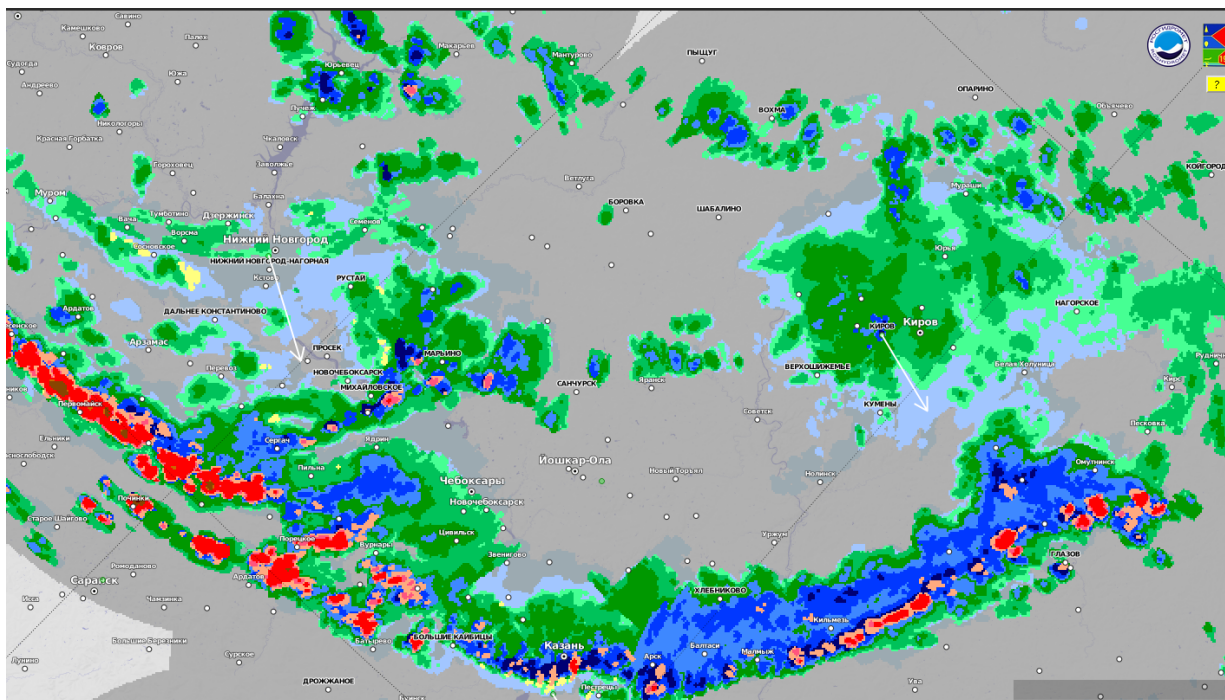


Рис. 5. Карта метеоявлений единого радиолокационного поля по данным ДМРЛ «Нижний Новгород», «Киров», «Казань» за 11:20 ВСВ 30.05.2018 г.

*Фронт окклюзии.* 27.06.2019 г. точка окклюзии располагалась западнее г. Калуги (рисунок 6 г.; на рисунках 6 а-в окрестность точки окклюзии выделена желтой окружностью).

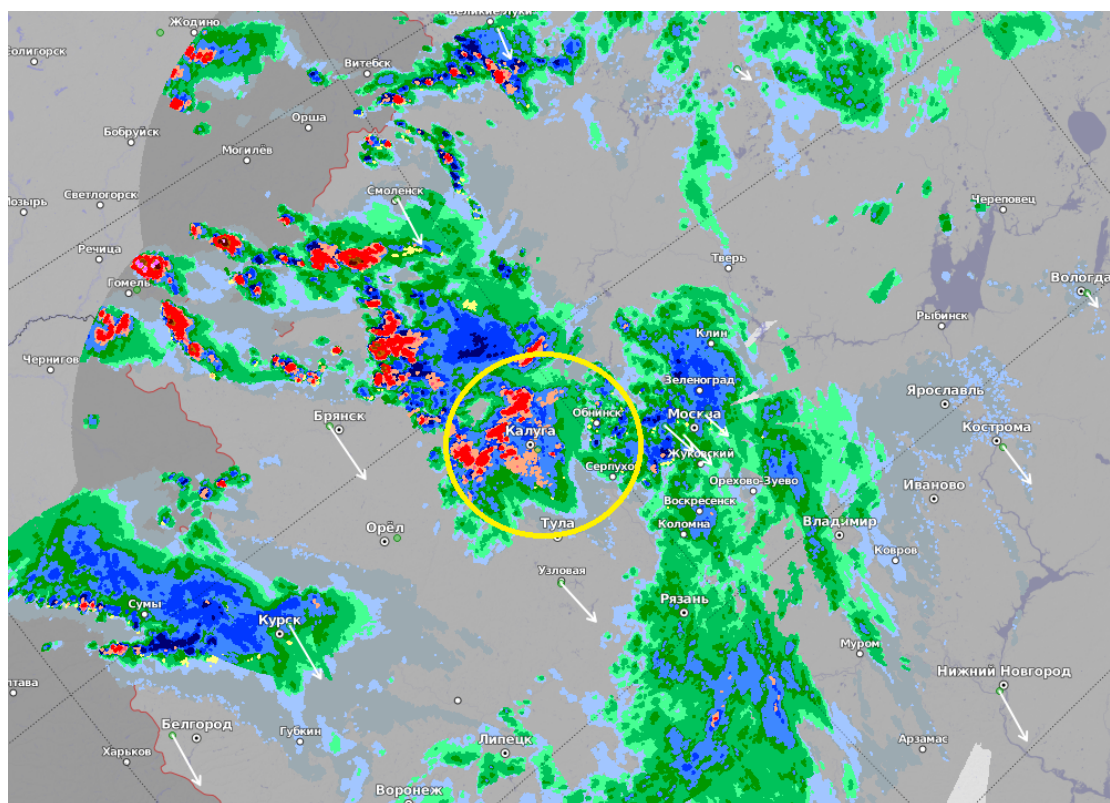


Рис. 6. Пример отображения точки окклюзии на картах единого радиолокационного поля. Карта метеоявлений за 12:00 ВСВ 27.06.2019 г.

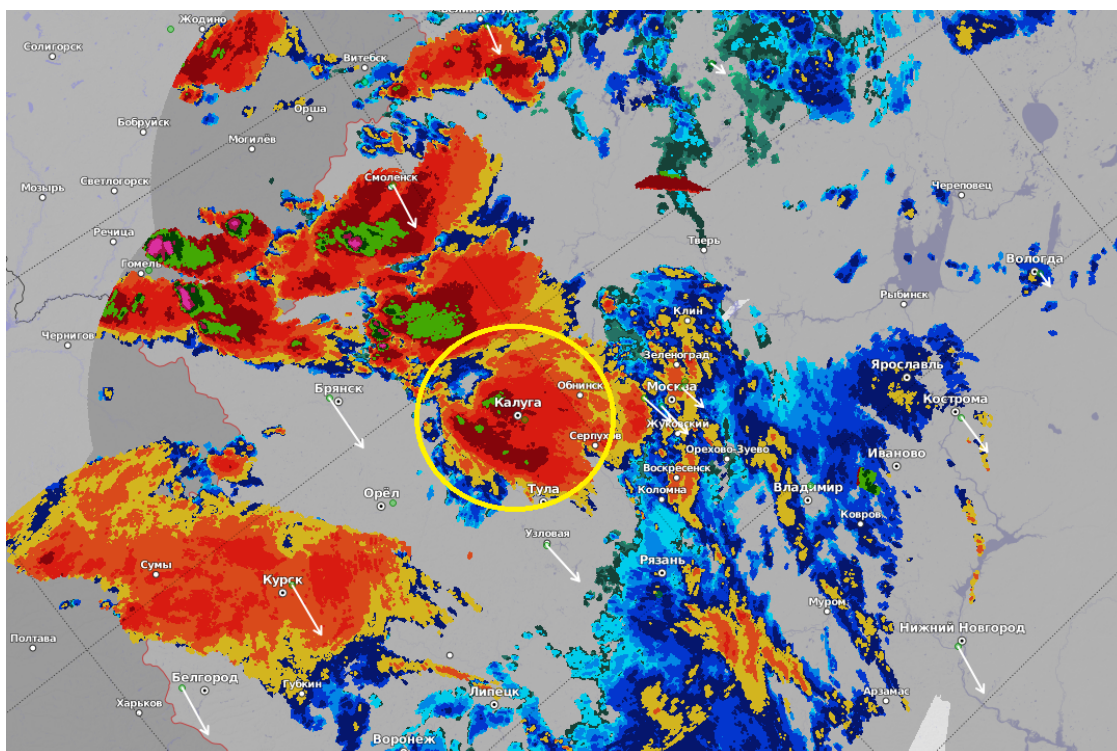


Рис. 7. Пример отображения точки окклюзии на картах единого радиолокационного поля.  
Карта  $H_{\text{ВГО}}$  за 12:00 ВСВ 27.06.2019 г.

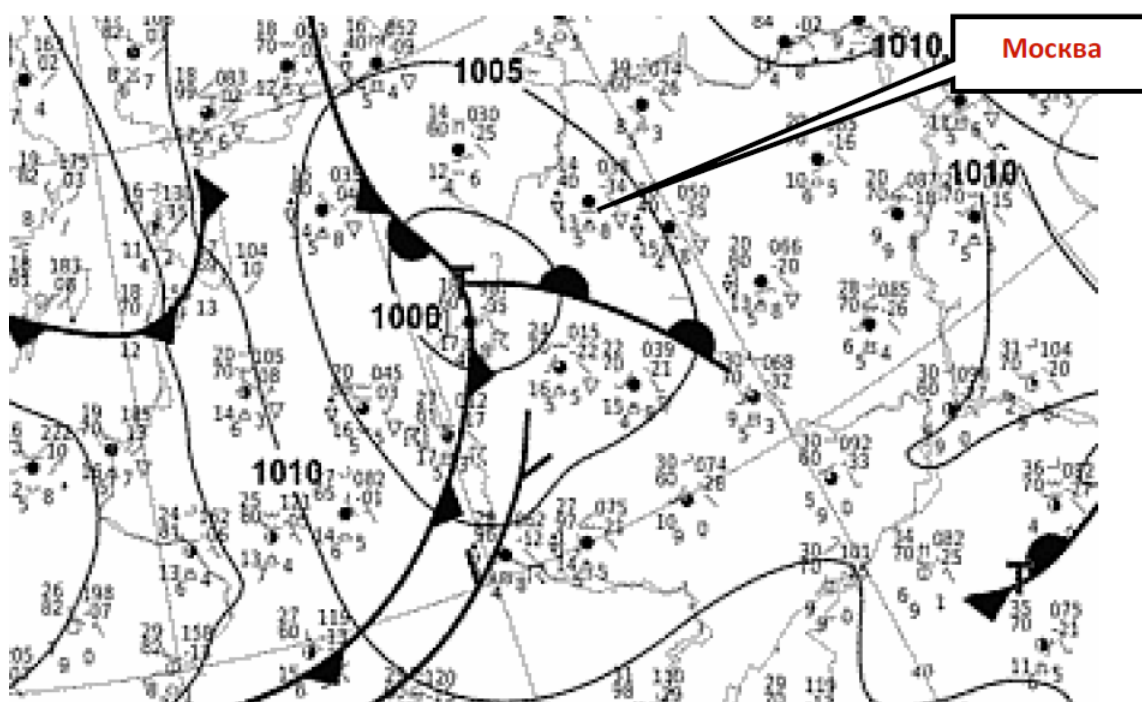


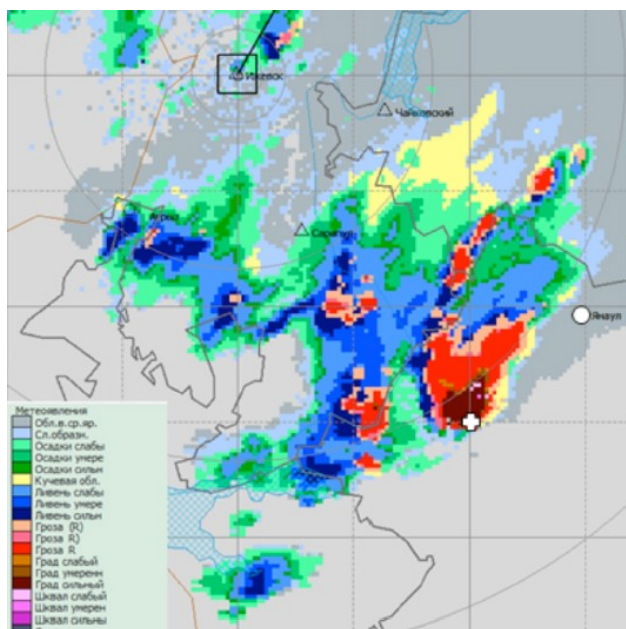
Рис. 8. Фрагмент синоптической карты за 12:00 ВСВ 27.06.2019 г.

На картах единого радиолокационного поля вблизи точки окклюзии отмечаются наиболее интенсивные осадки (свыше 100 мм/ч), грозы;  $H_{\text{ВГО}}$  составляет более 12 км. Значения сумм осадков, выпавших вблизи точки окклюзии за 1 час, существенно больше, чем в ее окрестности.

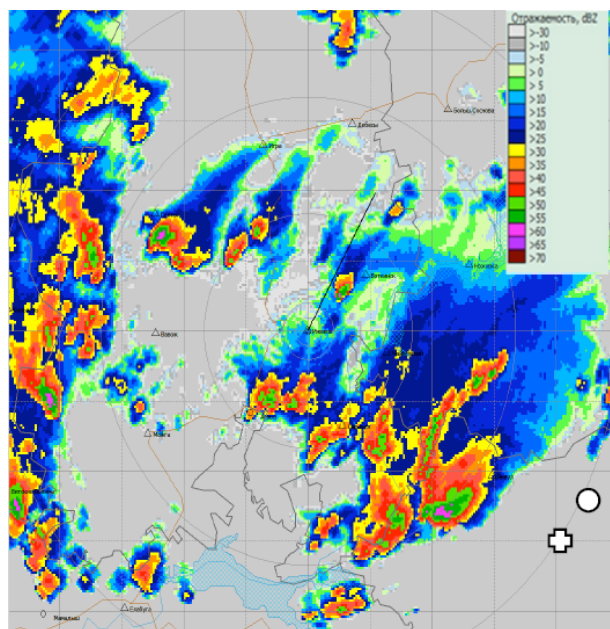




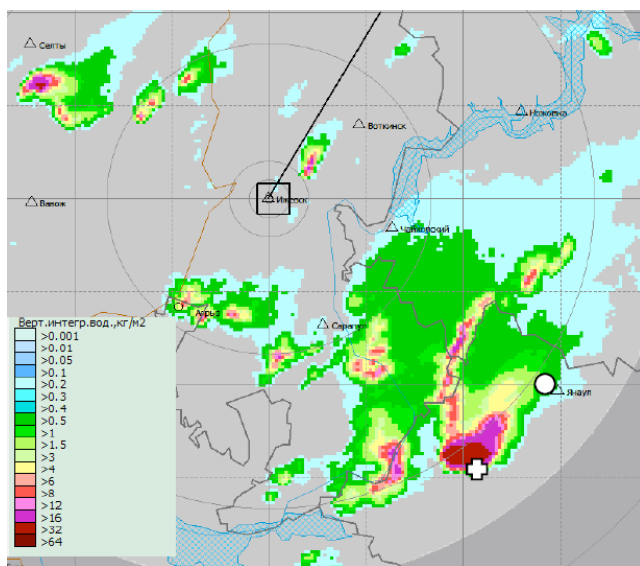
Смерч, произошедший 29 августа 2014 г. в респ. Башкирия, попал в зону обзора ДМРЛ «Ижевск». На рис. 2 приведены некоторые карты ДМРЛ, иллюстрирующие прохождение смерча (с. Кариево, где отмечался смерч, отмечено белым крестом, г. Янаул – белым кругом). В течение всего времени перемещения мезомасштабного конвективного комплекса, в котором образовался смерч, отмечались грозы с градом и шквалом (рис. 2 а).



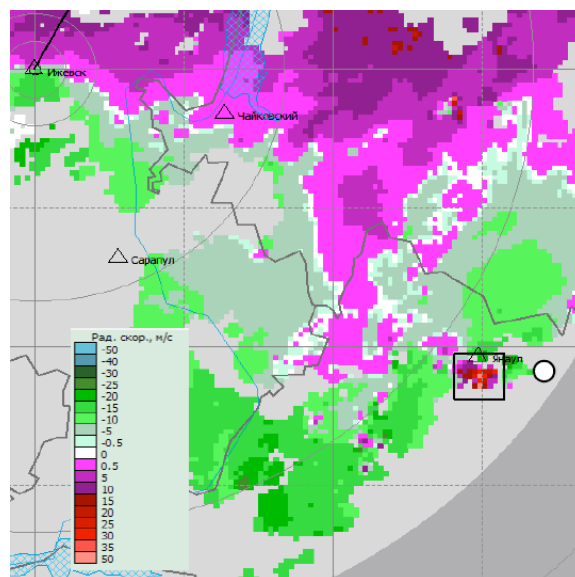
а



б



в



г

Рис. 2. Карты ДМРЛ «Ижевск»: а) метеоявлений, б) максимальной отражаемости  $Z$  выше 1 км, в) вертикальной интегральной водности (VIL), г) радиальной скорости на высоте 700 м



Максимальные значения радиолокационной отражаемости в облаках в слое 5,5–7,1 км составляли 65-67 дВZ (рис. 2 б), значение максимальной интегральной водности в слое выше 1 км достигало  $63 \text{ кг/м}^2$ , максимальные положительные значения радиальной скорости на высоте 700 м составляли 55 м/с (рис. 2 г). Значения  $H_{\text{вго}}$  достигали 15 км.

## Развитие опасных конвективных явлений

### Шквалы, смерч, сильный град 27.06.2020

Основные сведения о рассматриваемых случаях конвективных ОЯ и их вспышек приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

#### Общие характеристики опасных явлений, отмечавшихся 27.06.2020 г.

Дата, время (ВСВ)	Регион	Тип явления	Максимальная интенсивность и место наблюдения	Количество отчетов об ОЯ и ущербе по всем источникам данных	Характеристика ущерба
27.06.2020, 08.00 – 17.00	Кировская область, Удмуртия, Татарстан	Шквалы	25 м/с (Вятские Поляны) 24 м/с (Кирс)	62	Повреждены кровли зданий, автомобили, нарушено электроснабжение, сплошные ветровалы в лесах на площади ~1080 га
		Смерчи	≥ EF2 (Кильмезский Уржумский районы)	9	Сплошные ветровалы в лесах на площади ~420 га
		Крупный град	40 мм (Оричевский район)	19	Уничтожен урожай, повреждены автомобили, кровли домов

## Синоптические условия развития опасных явлений 27.06.2020 г.

Дата, время (BCB)	Характеристики циклона			Характеристики атмосферного фронта		Количествен- ные характе- ристики*			Тип конвек- тив-ного шторма
	Происхождение	Стадия развития	Направление смещения	Тип	Ориентация	$\Delta T_{850} \text{ } ^\circ\text{C} / 500 \text{ км}$	$Td_{2m}, \text{ } ^\circ\text{C}$	$V_{850}, \text{ м/с}$	
27.06.2020, 08.00 – 17.00	ныряющий	молодой	СЗ-ЮВ	холодный у точки окклюзии	З-В	9	13	22	Линия шква- лов

Рассмотрим условия в свободной атмосфере 27.06.2020 г. (рис. 1, 2).

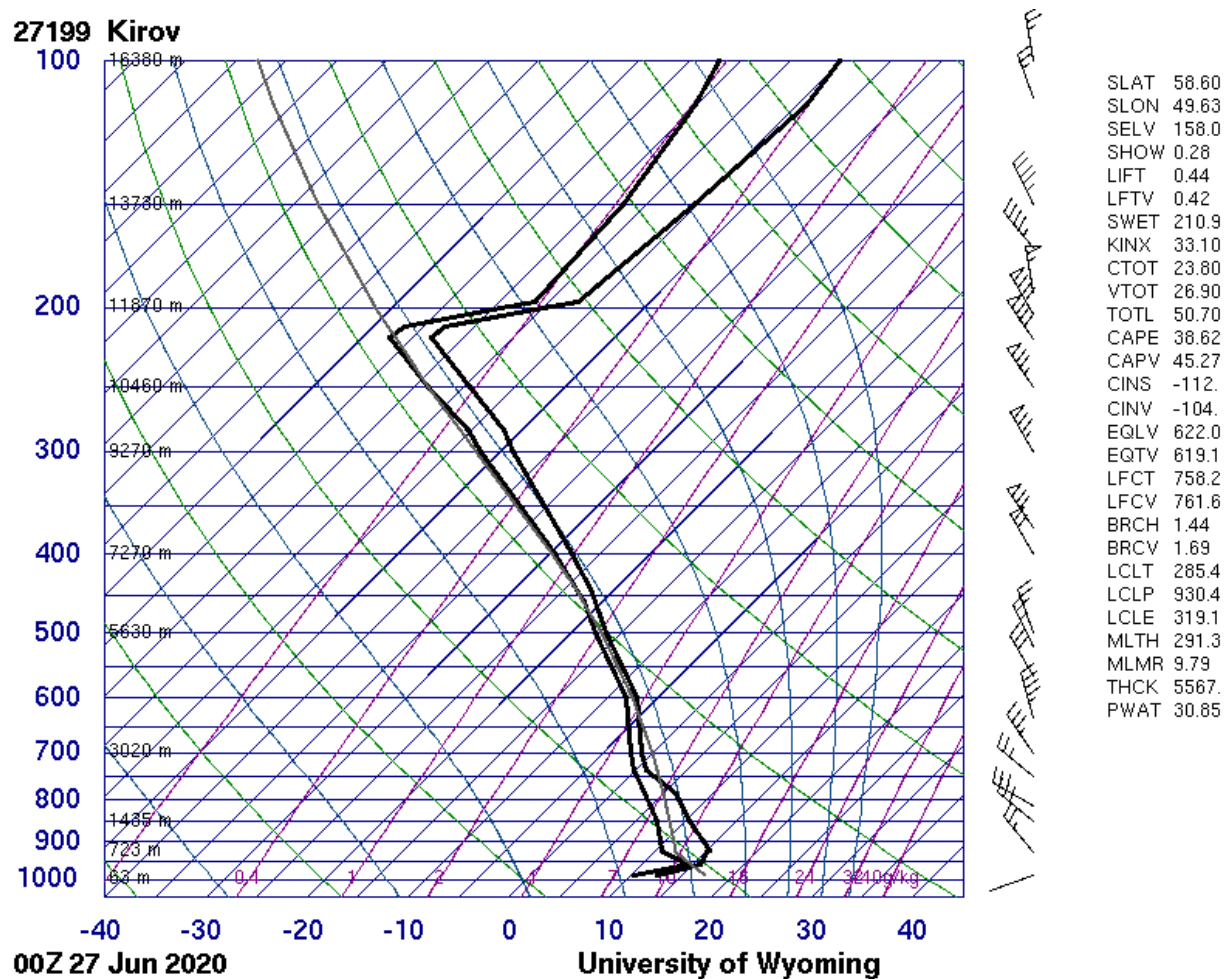
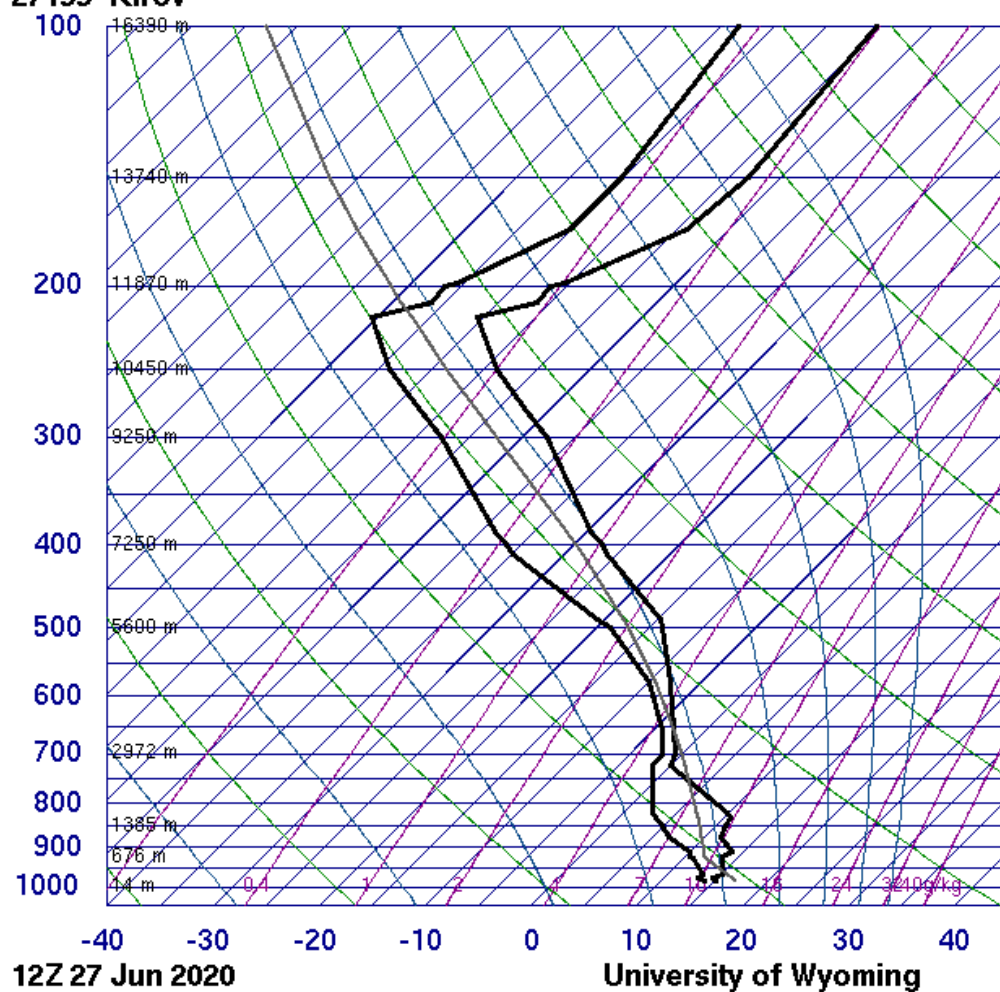


Рис. 1. Аэрологическая диаграмма за срок 00 ч BCB 27.06.2020 г.

27199 Kirov



SLAT 58.60  
SLON 49.63  
SELV 158.0  
SHOW 4.50  
LIFT 3.27  
LFTV 3.23  
SWET 195.9  
KINX 28.50  
CTOT 18.70  
VTOT 24.70  
TOTL 43.40  
CAPE 25.03  
CAPV 31.29  
CINS -114.  
CINV -99.2  
EQLV 653.2  
EQTV 650.6  
LFCT 755.2  
LFCV 761.1  
BRCH 0.15  
BRCV 0.18  
LCLT 285.2  
LCLP 926.1  
LCLE 319.0  
MLTH 291.5  
MLMR 9.65  
THCK 5586.  
PWAT 28.04

Рис. 2. Аэрологическая диаграмма за срок 12 ч ВСВ 27.06.2020 г.

*Учебное издание*

**Поморцева Анна Александровна**

## **Использование метеорадаров в синоптической практике**

Учебное пособие

Редактор *Л. В. Хлебникова*

Корректор *М. Н. Демидова*

Техническая подготовка материалов: *О. К. Кардакова*

---

Объем данных 12,4 Мб

Подписано к использованию 11.08.2021

---

Размещено в открытом доступе

на сайте [www.psu.ru](http://www.psu.ru)

в разделе НАУКА / Электронные публикации  
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Издательский центр

Пермского государственного  
национального исследовательского университета  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15