

УДК 551.501.8

А.А. Поморцева

ОЦЕНКА ЭВОЛЮЦИИ МЕЗОМАСШТАБНЫХ ЛИНИЙ ШКВАЛОВ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРАДАРОВ

Метеорологические радиолокаторы служат для целей штормового оповещения о наступлении опасных явлений погоды, связанных с действием атмосферной конвекции. К таким явлениям относятся ливни, грозы, град, шквалистые усиления ветра, смерч. С 2013 г. на территории России происходит замена выработавших свой ресурс и устаревших радиолокаторов МРЛ-5 на радары нового типа — ДМРЛ-С. В настоящее время метеорологическая автоматизированная радиолокационная сеть России насчитывает 25 радаров ДМРЛ-С. Рассматриваются возможности таких радаров и дается оценка качества данных зондирования ДМРЛ-С Ижевск; приводятся результаты сравнения информации ДМРЛ-С и МРЛ-5 с эталонными данными наземных метеорологических станций. Оцениваются радиолокационные характеристики при эволюции шторма, зафиксированного 10.07.2013 г. Исследование показало надежность и высокую достоверность результатов зондирования опасных явлений погоды, обусловленных конвекцией и полученных с помощью метеорадара типа ДМРЛ-С.

Ключевые слова: метеорологический радар, опасные явления погоды, конвективные системы, мезомасштабные линии шквалов.

С 1960-х гг. и до настоящего времени на гидрометеорологической сети России для штормового оповещения использовались некогерентные импульсные метеорологические радиолокаторы МРЛ [1-3]. В 2013 г. на смену им пришли метеорологические радиолокаторы когерентного типа (ДМРЛ-С), которые в сравнении с некогерентными обладают рядом дополнительных возможностей [4]. Введение когерентного режима в радиолокаторе позволяет измерять дополнительную информацию цели – ее радиальную скорость. За счет такой информации становится возможным решение принципиально иных, чем в некогерентных МРЛ, задач [5]. Однако, до настоящего времени в качестве критериев распознавания опасных явлений погоды (грозы, сильных дождей и снегопадов, ливней, града, шквала) в ДМРЛ-С приняты критерии, разработанные в свое время для неавтоматизированных МРЛ [2]. Доплеровские характеристики и уникальные возможности ДМРЛ-С в режиме штормоповещения практически не используются. Специалисты отмечают, что необходима корректировка критериев обнаружения опасных явлений и обоснований их применимости в разные сезоны года с учетом физико-географических особенностей региона в каждом конкретном месте расположения ДМРЛ-С. Такая корректировка может быть выполнена в условиях эксплуатации радара при сравнении полученных характеристик с данными эталонных МРЛ, расположенных вблизи позиций ДМРЛ-С, и по информации метеорологической и аэрологической сети.

Объект и методы исследования

МРЛ распознает только те явления погоды, которые могут быть обнаружены. Вероятность обнаружения облачности (отношение числа случаев, наблюдаемых на МРЛ, к числу случаев, наблюдаемых на метеостанциях) зависит от водности облаков, их мощности и удаления от радиолокатора. При заданном потенциале радиолокационной станции вероятность обнаружения определяется только микроструктурными особенностями облаков и осадков, которые зависят от сезона и физико-географических условий.

Рассмотрим два способа получения информации об облачности и явлениях погоды – синхронные радиолокационные и станционные наблюдения [6; 7]. Радиолокационные данные представлены информацией, полученной на МРЛ-5 АМСГ Большое Савино (г. Пермь) за период 2009-2013 гг. и ДМРЛ-С Ижевск (2013 г.). При проведении анализа использовались следующие данные: вид и интенсивность явления; азимут и удаление явления; высота и максимальная отражаемость ядра радиоэха облачности и опасных явлений погоды (ОЯ), связанных с кучево-дождевой (*Cb*) облачностью – сильных ливней, гроз, града, шквалистых усилений ветра; отражаемость на 11 уровнях; значение высоты тропопаузы и изотерм 0° и –22°C; VII; скорость порывов при шквалистом усилении ветра.

В качестве исходного станционного материала использовались данные наблюдений на метеостанциях (МС) Пермского края, Республик Удмуртия, Татарстан, Башкортостан, Коми-Пермяцкого

автономного округа, Свердловской и Кировской областей, расположенных в радиусах действия МРЛ-5 и ДМРЛ-С. Источником станционных данных послужили Таблицы метеорологических наблюдений, из которых бралась информация об общем балле облачности, о форме облачности и ОЯ по метеорологическому коду КН-1 в срок наблюдения и в течение последнего часа перед сроком, а также штормовые телеграммы станций штормового кольца, вошедших в область исследования.

Оценка синоптической ситуации производилась по синоптическим бюллетеням северного полушария, предоставленным Гидрометцентром РФ, приземным и кольцевым картам погоды.

Мезомасштабный характер ОЯ не позволяет отклоняться от основных синоптических сроков наблюдения, поэтому для того чтобы сохранить синхронность радиолокационных наблюдений со станционными (при сравнении информации МРЛ с данными станционных наблюдений, мы пропускали радиолокационные измерения, произведенные в сроки, отличающиеся от основных синоптических более чем на 20 мин. При сопоставлении информации МРЛ о грозах с данными штормовых телеграмм учитывалось наличие явления, время его начала и окончания. Допускалось, чтобы время начала явления по данным наблюдателя отличалось от времени регистрации явления МРЛ не более чем на 20 мин.

Вся станционная информация предварительно подвергалась процедуре климатического контроля, применение которой позволило отбросить заведомо ложные значения. Заведомо ложными считались значения, обнаруживающие следующие ошибки:

- балл общей облачности меньше балла нижней облачности;
- станция дает явление, не подтвержденное данными ближайших к ней станций, или, наоборот, отмечает отсутствие явления при его наличии по информации ближайших станций (при расстоянии между соседними станциями не более 50 км).

Эти атмосферные явления могут быть зафиксированы доплеровскими МРЛ при детальном анализе структуры полей радиальной скорости и ширины спектра.

Радиолокационное распознавание облачности и явлений погоды осуществляется по радиолокационным критериям распознавания. Вероятность распознавания зависит от потенциала МРЛ, удаления явления от радиолокатора, наличия между распознаваемым явлением и МРЛ экранирующих осадков, состояния радиопрозрачного укрытия антенны МРЛ (сухое или мокрое). Сравнивая радиолокационные наблюдения с визуальными (информация Таблиц метеорологических наблюдений в основные синоптические сроки и штормовые телеграммы), оценим вероятность распознавания облачности на территории исследования.

При оценке распознавания принимались следующие условия:

1. Конвективное явление, зафиксированное МРЛ, но не отмеченное наблюдателем, считалось подтвержденным, если оно регистрировалось на метеостанции в ближайшие 20 мин после срока радиолокационного наблюдения.

2. Когда наблюдатель на станции отмечал облака типа N , а согласно радиолокационным характеристикам наблюдались Q и синоптическая обстановка подтверждала возможность наличия конвективной облачности, то принималось, что наблюдаются Q .

В настоящее время существуют следующие требования по оформлению годовой отчетности о распознавании ОЯ, наблюдаемых в грозовой сезон: под «одновременностью» радиолокационных и станционных наблюдений понимают следующее:

- 1) пространственный радиус обнаружения ОЯ метеостанциями – 20 км [8];
- 2) временной интервал обнаружения – «10» мин от времени начала обзора МРЛ (АМРК, ДМРЛ) и «+10» мин ко времени конца обзора, а не «±30» мин, как это было ранее (в [1; 9-11]), так как за 30 мин МС могут зафиксировать 2 «независимые» грозы [8].

Методика сопоставления радиометеорологических измерений и данных сети МС, приведенная в [3], была написана и апробирована применительно к неавтоматизированным МРЛ, с помощью которых наблюдение за ОЯП можно было производить не чаще 1 раза в 30 мин. В настоящее время все системы автоматизации, применяемые на сети «МРЛ-Штормоповещения», ровно как и ПО ДМРЛ-С, позволяют производить наблюдения каждые 7-10 мин. Кроме того, 10-минутный темп обновления информации в режиме «шторм» регламентирован Приказом [12] и Методическими документами по производству наблюдений на автоматизированных комплексах Метеоячейка, АКСОПРИ, МЕРКОМ, АСУ-МРЛ.

Однако, поскольку МРЛ-5, расположенный в г. Перми находится в таком техническом состоянии, при котором зондирование чаще, чем 1 раз в 30 мин невозможно, то для сравнения результатов наблюдений использовалась информация, полученная при приведенных выше условиях.

Явления погоды считались распознанными МРЛ, если они подтверждались данными визуальных наблюдений.

Результаты и их обсуждение

Основное назначение метеорологического радиолокатора — получение информации об опасных явлениях погоды, связанных с *Cb*. Определим вероятность радиолокационного распознавания ОЯ (табл. 1) по данным МРЛ и ДМРЛ-С. Согласно приведенным данным, МРЛ распознает грозы в радиусе 0 – 150 км с вероятностью 91 %, в радиусе 0 – 200 км с вероятностью 85 %. Вероятность распознавания града в радиусе 50 – 200 км составила 85 %. Эти данные показывают, что вероятность радиолокационного распознавания ОЯ близка к вероятности их радиолокационного обнаружения. Однако для ливней вероятность распознавания в радиусе 0 – 50 км в теплый период оказывается неудовлетворительной. Возможная причина этого заключается в том, что одна из двух метеорологических станций, расположенных в рассматриваемом радиусе, находится в зоне с углом закрытия радиозема, превышающим 0°.

Таблица 1

Результаты сопоставления радиолокационных и станционных наблюдений за опасными явлениями погоды (в числителе информация по данным МРЛ, в знаменателе – ДМРЛ-С)

Радиус обзора, км	Станционные наблюдения		Радиолокационные наблюдения, %					Вероятность распознавания, %	
	Явление	Число случаев	гроза	град	ливень	облака <i>Cu</i>	дождь		PCO или нет радиозема
0 – 50	ливень	96/5		1	79/80		5/20	15	79/80
	гроза	62/4	97/100		3				97/100
50 – 100	ливень	385/20	1/5		62/95	8	6	23	62/95
	гроза	102/21	90/100		9	1			88/100
	град	10/2		100					100
100 – 150	ливень	425/22	1/5		60/95	2	7	30	
	гроза	99/18	89/100		11				89/100
	град	13/4	25	75					75
150 – 200	ливень	/15			80			20	/80
	гроза	72/16	67/94	27	/6			6	67/94
	град	15/5	20	80					80
200–250	ливень	/14			/93			/7	93
	гроза	/14	/93		/7				93
	град	/2	/50	/50					50

В радиусе 50 – 100 км был отмечен также ливневый снег. Вероятность его распознавания оказалась лишь на 2 % ниже вероятности распознавания ливневого дождя в этом же радиусе.

Для радиуса 100 – 150 км высока вероятность не определения ливней, либо они были распознаны как радиозема слоистообразных облаков. Это естественное ограничение радиолокационного метода наблюдений, так как МРЛ дает достоверную информацию о ливневых осадках на расстоянии до 100 км [2; 3]. Начиная с расстояния 100 км, нижняя часть облака, а для облаков небольшой вертикальной протяженности и их вершина оказывается ниже линии радиогоризонта локатора.

Отметим также, что согласно [4], оправдываемость ОЯ на МРЛ-5 Пермь составляет 84,6 %, что соответствует полученным нами значениям.

ДМРЛ-С распознает грозы в радиусе 0 – 250 км с вероятностью выше 97 %; вероятность распознавания града составила 76 %, что объясняется малым числом зафиксированных случаев. Ливни распознаются в среднем с вероятностью свыше 88 % и даже в радиусе 200–250 км вероятность их распознавания составила 93 %. Часть ливневых осадков распознается как слабые грозы или обложные осадки. Оценка точности распознавания ОЯ с помощью ДМРЛ-С требует уточнения, так как была выполнена по данным наблюдений лишь за два летних месяца 2013 г.

Таким образом, при прочих равных условиях, информация ДМРЛ-С является более надежной по сравнению с данными МРЛ-5. Одной из причин этого является технический износ оборудования МРЛ.

Рассмотрим проявление активных конвективных процессов по данным ДМРЛ-С, отмечавшихся на территории исследования 6, 9, 10, 11 и 25 июля 2013 г. В эти дни наблюдалось прохождение долгоживущих конвективных систем (продолжительность конвективной деятельности более 1 ч) умеренной и глубокой конвекции. Критерием выделения систем глубокой конвекции послужили значения максимальной отражаемости в ядре радиоэха в момент времени $T_{\max} = t(H_{\max}, Z_{\max})$. При $Z_{\max} \geq 55$ dBZ конвективные системы относятся к глубоким. Все конвективные системы можно разделить на линейные и хаотические, при этом такое конвективное явление, как шквалы в подавляющем большинстве связаны с линейными конвективными системами. Выделив линейные конвективные системы, оценим способ их образования (табл. 2).

Таблица 2

**Радиолокационные характеристики, структура и способ образования
глубоких конвективных систем**

Дата, пункт	Z_{\max} / I_{\max}	Тип, протяженность в стадии 2Δt	Способ образования
06.07, Чернушка	58,8/13,1	Линейная, 150/30	broken line (прерывистая линия)
06.07, Пермь	62,5/12,3	хаотическая	
10.07, Пермь	62,5/11,6	хаотическая	
10.07, Кудымкар	60/13,6	Линейная, 110/40	broken areal (прерывистые площади)
25.07,	60/12,2	Линейная, 400/15	broken line (прерывистая линия)
30.07	62,5/13,2	Линейная, 65/15*	broken line (прерывистая линия)
31.07	62,5/13,2	Линейная, 350/30	broken line (прерывистая линия)

Учитывая особенности развития процессов в умеренных широтах, в настоящем исследовании применяются следующие понятия конвективных систем: мезомасштабные конвективные линии (МКЛ) — системы глубокой конвекции ($Z > 55$ dBZ) линейной формы, в которых конвективные ячейки повышенной отражаемости (40 dBZ и более) образуют зоны осадков горизонтальной протяженностью более 150 км и соотношением длины и ширины этих зон порядка 4:1, и просто МКН будем называть системы глубокой конвекции нелинейной формы с конвективными ячейками повышенной отражаемости нелинейной формы при длительности существования не менее 1 ч и соотношении размеров зоны повышенной отражаемости к общей зоне радиоэха конвективных облаков не менее 1:3.

МКЛ в течение жизненного цикла проходит несколько стадий, при этом ее структура и конфигурация определяется взаимным расположением конвективных ячеек, каждая из которых возникает и развивается по вертикали в течение примерно 30 мин. Конвективные ячейки могут возникать как отдельно, так и в виде скоплений, образуя одно-, много- или суперячейковые штормы.

Все элементы МКЛ движутся с одинаковой скоростью — скоростью потока или скоростью трансляции (\vec{V}_m). Однако скорость переноса ячеек в ядре радиолокационной отражаемости (\vec{V}_s) может отличаться от скорости трансляции МКЛ. Поскольку понятие трансляции МКЛ очень важно для прогнозирования штормов, рассмотрим соотношение скорости трансляции МКЛ и скорости переноса отдельных штормов.

Скорость и направление перемещения \vec{V}_s между циклами радиолокационных обзоров вычислялись по формулам:

$$\vec{V}_{s,t} = \frac{L_{s,t}}{\Delta t}, \quad (1)$$

$$A_{s,t} = \arctg \frac{x_{s,t} - x_{s,t-1}}{y_{s,t} - y_{s,t-1}}, \quad (2)$$

где $V_{s,t}$ и $A_{s,t}$ – скорость и направление перемещения центра ядра радиоэха, соответственно; Δt – временной интервал между циклами обзора, равный 10 мин; $L_{s,t}$ – смещение ядра радиоэха за время между двумя последовательными циклами обзора, рассчитанное по формуле:

$$L_{s,t} = \sqrt{(x_{s,t} - x_{s,t-1})^2 + (y_{s,t} - y_{s,t-1})^2}. \quad (3)$$

На рис. 1 представлена траектория перемещения очагов радиоэха многоячейкового шторма, который развивался 10.07.2013 г. в период с 5:40 до 11:40 UTC.

Для удобства анализа шторм будем называть по району возникновения радиоэха конвективных облаков. Так, видно, что длина траектории перемещения шторма зависит от размера зоны повышенной отражаемости. Многоячейковый шторм (Пермь) имеет более короткие траектории, по сравнению с суперячейковыми штормами (Верещагино, Кудымкар). Рис. 2 показывает, что существует отличие и в направлении перемещения шторма.

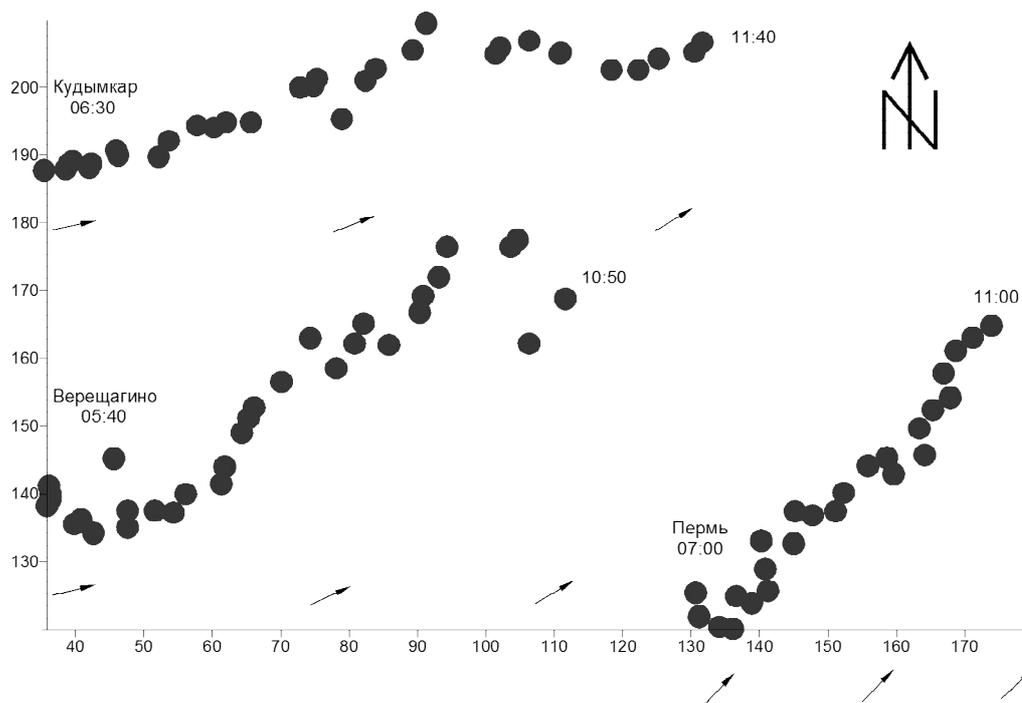


Рис. 1. Траектория смещения много- и суперячейковых штормов

За период развития штормов траектория смещения МКЛ изменялась от 55 до 74° , составляя в среднем 62° . При этом траектория смещения многоячейкового шторма отклонялась от траектории МКЛ влево на 19° , а траектории суперячейковых МКЛ на $5-7^\circ$ – вправо от потока. Последнее соответствует климатологии движения штормов в северном полушарии, однако требует дополнительной проверки тот факт, что многоячейковый шторм отклонялся по мере развития влево от трансляции. Заметим, что на основании рассмотрения единичного случая нельзя сделать окончательное заключение [13; 14].

Скорости движения \vec{V}_s , вычисленные по траекториям многоячейковых и суперячейковых штормов, существенно различаются между собой и явным образом не связаны с вычисленной скоростью трансляции \vec{V}_m (рис. 2).

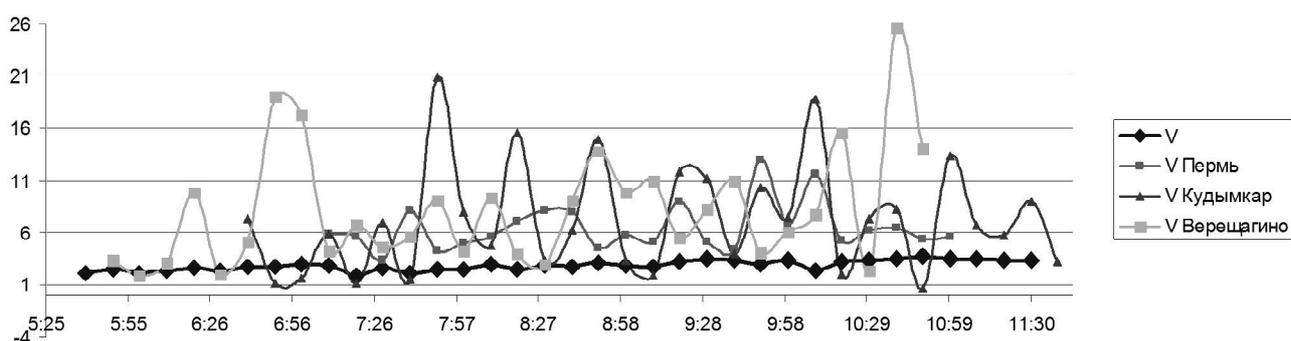


Рис. 2. Скорость потока и скорость перемещения максимума отражаемости МКЛ

Скорость трансляции \vec{V}_m в среднем составляет 2,9 м/с, изменяясь по мере развития МКЛ от 2,4 до 3,7 м/с. Градиент скорости трансляции от срок к сроку изменяется от $-0,95$ до $0,7$ м/с. Для скорости движения \vec{V}_s характерны большие значения и резкие изменения, связанные с циклическим развитием конвективных ячеек. Согласно [15], цикл начинается с появления в момент t новой ячейки C_{n+1} справа от доминирующей C_n , восходящие движения которой способны поддерживать относительно крупные гидрометеоры. Максимум отражаемости многоячейкового шторма обнаруживается в зрелой доминирующей ячейке C_n , транслируемой потоком. Такое распределение сохранится до момента $t+\Delta$, когда убывающая отражаемость диссипирующей C_n , где преобладают нисходящие потоки, сравняется с растущей отражаемостью более молодой C_{n+1} , почти достигшей максимальной интенсивности. В этот момент максимум отражаемости шторма совершит скачок вправо к новой доминанте C_{n+1} , чтобы далее транслироваться с \vec{V}_m , вплоть до появления новой доминанты C_{n+2} . Таким образом, траектория и скорость перемещения ядра радиоэха мультичейкового шторма сочетает в себе развитие новых, трансляцию зрелых и диссипацию старых ячеек.

Рассмотрим процесс развития МКЛ. От момента появления первого конвективного элемента до исчезновения последнего изменяются горизонтальные и вертикальные размеры конвективной системы и ее радиолокационные характеристики. На рис. 3 приведен временной ход площади конвективных явлений (ливня, грозы, града, шквала) в условных единицах, выражающих площадь конкретного явления по отношению к площади квадрата, в который вписан МКЛ.

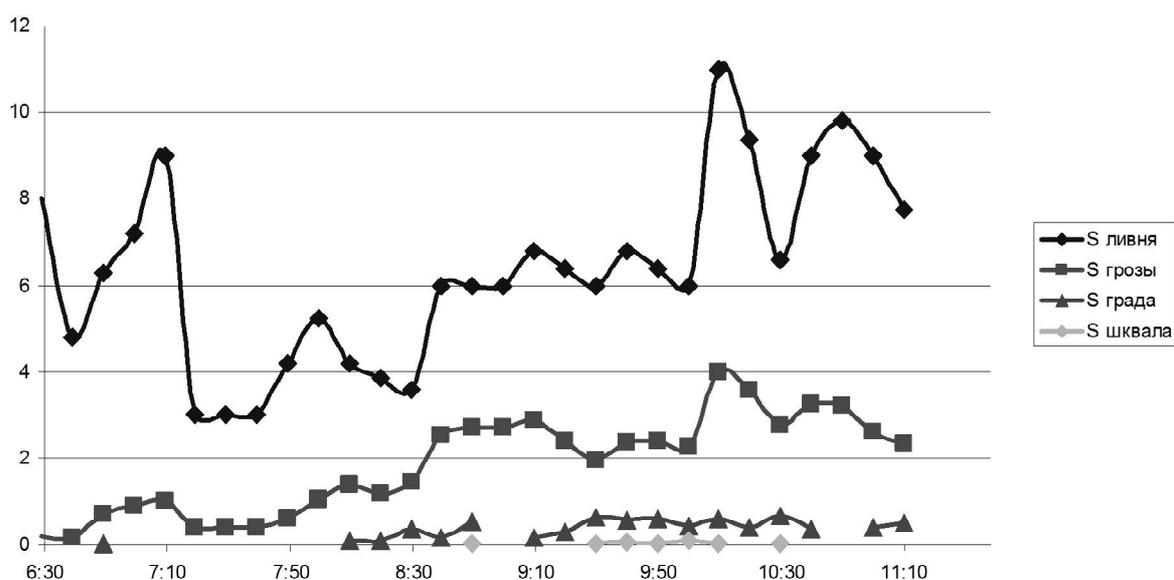


Рис. 3. Временной ход площади радиоэха конвективных явлений, МКЛ в районе Кудымкара, 10.07.2013 г.

На рис. 3 отражено развитие МКЛ. Здесь отмечается цикличность появления доминирующих ячеек Cb в и колебания интенсивности ядра радиоэха. Конвективная фаза длится 5 ч, однако не удалось зафиксировать момент диссипации и исчезновения конвективных элементов МКЛ, поскольку данная конвективная система сместилась за пределы радиуса действия ДМРЛ-С.

Таким образом, можно выделить МКЛ, которая перемещается в соответствии с ведущим потоком. В ней образуются отдельные конвективные ячейки, составляющие скопления большего масштаба. Продолжительность существования конвективной ячейки с максимальными радиолокационными характеристиками (доминантной ячейки) (γ -масштаб) – 15-20 мин, скоплений ячеек масштаба 30-50 км (β -масштаб) – локальный шторм – около 1 ч, скоплений масштаба ≥ 100 км (α -масштаб) – 3-8 ч.

Характеристики интенсивности конвекции (высоты, отражаемости, интенсивность гроз и т.д.) подвержены колебаниям, связанным с появлением новых, доминирующих над остальными, ячеек (рис. 4). Можно выделить три стадии развития конвективной системы, которые характеризуются следующим изменением основных радиолокационных характеристик: 1) стадия возникновения; характеризуется резким изменением всех характеристик. В каждый момент времени происходит возникновение и диссипация конвективных ячеек, однако в целом отмечается тенденция увеличения значений; 2) стадия максимального развития, при которой характеристики достигают наибольших значений и стабилизируются; 3) стадия разрушения; отмечается резкий или постепенный спад интенсивности конвективных процессов и диссипация конвективной системы. Наибольшей изменчивостью во всех трех стадиях отличается радиолокационная отражаемость.

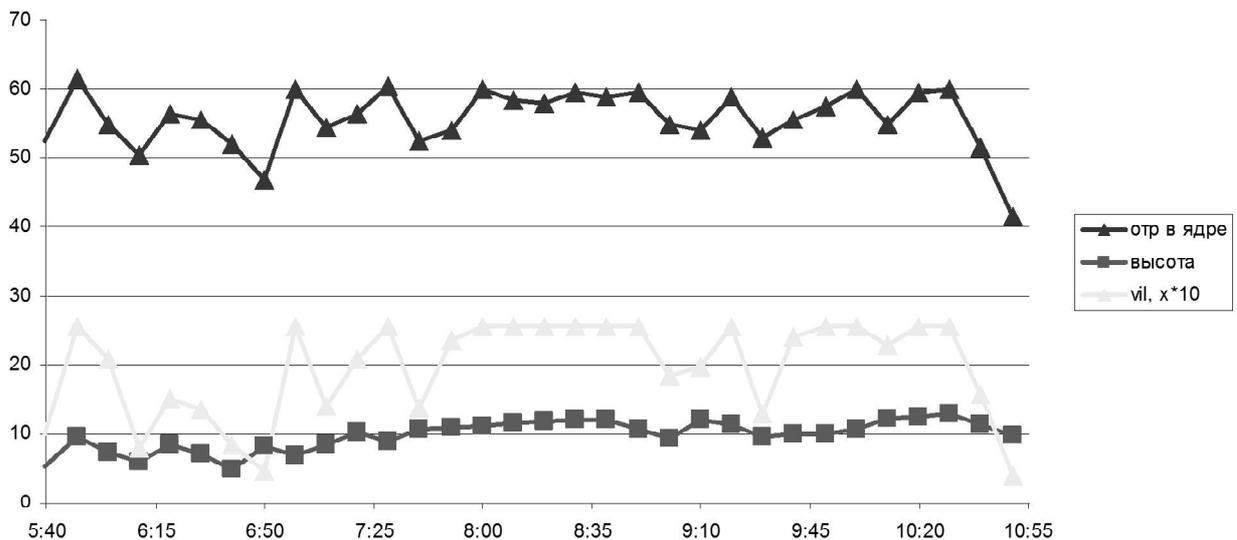


Рис. 4. Временной ход радиолокационных характеристик МКЛ в Кудымкаре, 10.07.2013 г.

Каждому виду явления соответствует определенное значение и вертикальная структура отражаемости. Вертикальные разрезы конвективной системы показывают горизонтальные и вертикальные размеры радиолокационного ядра, а также позволяют судить о градиенте отражаемости. Значения высоты распространения верхней границы радиоэха (H_{\max}) и соответствующих ей кривых отражаемости в ядре МКЛ приведены на графике максимальной отражаемости (рис. 5). Отражаемость изменяется во всем слое облака от его основания до верхней границы. Зона максимальной отражаемости в ливнях находится обычно вблизи уровня нулевой изотермы (Z_2), в грозах и граде – на уровне Z_3 (уровень, расположенный на 2 км выше положения изотермы 0°C – так называемый уровень массовой кристаллизации капель, выше которого облака главным образом кристаллические [16]). В большинстве случаев отражаемость в кучево-дождевом облаке растет до уровней Z_2 , Z_3 , а затем убывает по экспоненциальному закону со скоростью, различной для разных видов явления [16-18].

Согласно рис. 5, рассматриваемые КС находятся на значительном удалении от места установки радара, и видна лишь часть облака, лежащая выше радиолуча (выше 3-4 км). Поэтому вертикальный профиль максимальной отражаемости в ядре радиоэха Cb с ОЯ можно оценить с высоты 4 км. Отмечается, что вблизи этой высоты зафиксирован максимум отражаемости, до высоты примерно 7 км (вблизи которой располагается изотерма -22°C – уровень Z_3) отражаемость плавно уменьшается, а выше до верхней границы радиоэха происходит резкое уменьшение отражаемости.

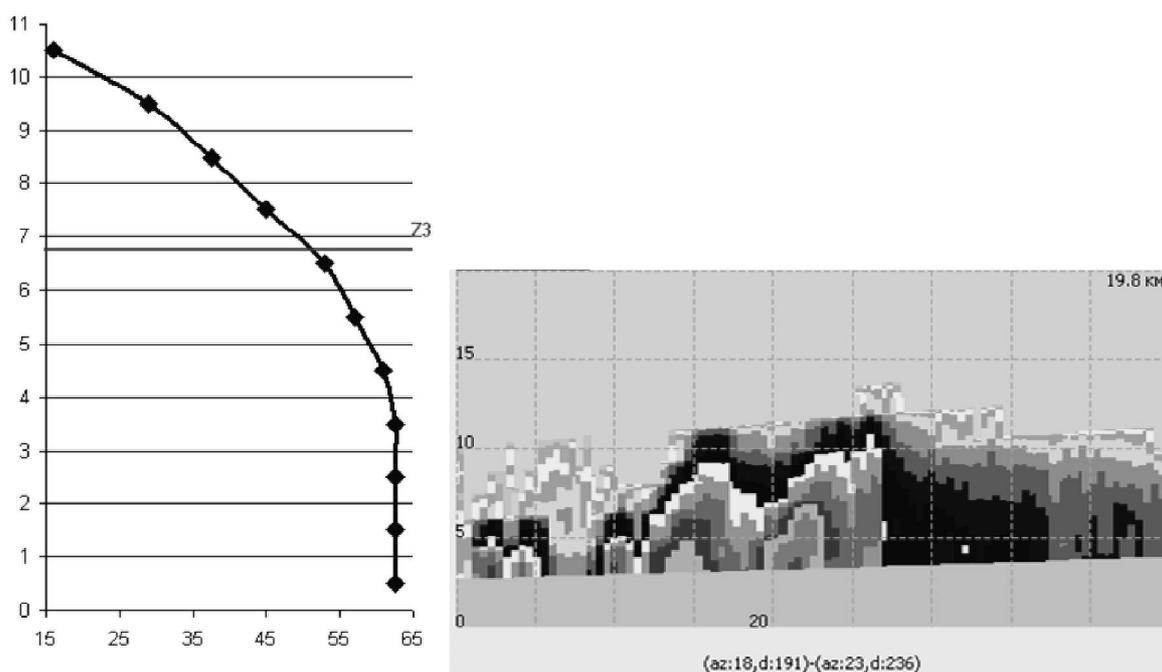


Рис. 5. Вертикальный профиль отражаемости в ядре радиоэха (а), вертикальный разрез КС (б).
10.07.2013 г., 08:50 UTC, Кудымкар

Заключение

Проведенное исследование показало надежность и высокую достоверность результатов зондирования опасных явлений погоды, обусловленных конвекцией, полученных с помощью метеорадара типа ДМРЛ-С.

Благодарим Ю.Б. Павлюкова, Н.И. Серебрякову (ЦАО) и О.Ю. Булгакову (АМСГ Пермь) за предоставление данных метеорологических радаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнова А.А. Объективный анализ облачности и опасных явлений погоды по данным радиолокационных и станционных наблюдений. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2005. 124 с.
2. Руководство по применению радиолокаторов МРЛ-4, МРЛ-5 и МРЛ-6 в системе градозащиты. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 231 с.
3. Руководство по производству наблюдений и применению информации с неавтоматизированных радиолокаторов МРЛ-1, МРЛ-2, МРЛ-5. РД 52.04.320-91. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 360 с.
4. Методическое письмо об итогах работы в 2012 году функционирующей сети «МРЛ - ШТОРМООПОВЕЩЕНИЯ» и сети доплеровских метеорологических радиолокаторов С-диапазона (ДМРЛ-С), создаваемой в рамках ФЦП. СПб.: ГГО, 2013. 45 с.
5. Методические указания по производству метеорологических радиолокационных наблюдений на ДМРЛ-С на сети Росгидромета в целях штормооповещения и метеообеспечения авиации. Проект. СПб.: ГГО, 2013. 100 с.
6. Дивинская Б.Ш., Иванов Т.В. Особенности совместного использования данных МРЛ и ГМС // Тр. ГГО. 1977. Вып. 395. С. 100-105.
7. Дивинская Б.Ш., Сальман Е.М. Сравнительная эффективность радиолокационных и визуальных наблюдений за облачностью // Тр. ГГО. 1969. Вып. 243. С. 3-7.
8. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. Вып. 3, ч. 1. 300 с.
9. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Численный анализ данных радиолокационных и станционных измерений облачности // Метеорология и гидрология. 2003. № 7. С. 31-39.
10. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Исследование радиолокационных характеристик для распознавания опасных явлений погоды, связанных с кучево-дождевой облачностью // Метеорология и гидрология. 2005. № 1. С. 84-95.
11. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Определение водности и водозаписа кучево-дождевой облачности по информации метеорологического радиолокатора // Метеорология и гидрология. 2011. № 2. С. 30-43.

12. Приказ о внедрении на радиолокационной сети Росгидромета «Основных технических требований к системе обнаружения опасных атмосферных явлений и штормового оповещения на базе метеорологических радиолокаторов». М., 2004.
13. Поморцева А.А. Исследование эволюции конвективных систем, сопровождающихся шквалами, в июле 2013 г. // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. 2013. Вып. 6. С. 78-85.
14. Поморцева А.А., Поморцев Ю.А. Исследование радиолокационных характеристик конвективных систем на Урале // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов. Казань, 2013. С. 25-27.
15. Роджерс Р.Р. Краткий курс физики облаков. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 231 с.
16. Брылев Г.Б., Гашина С.Б., Низдойминова Г.Л. Радиолокационные характеристики облаков и осадков. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 232 с.
17. Базлова Т.А. и др. Метеорологические автоматические радиолокационные сети. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 332 с.
18. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Совместное использование данных радиолокационных и станционных наблюдений для анализа облачных полей // Метеорология и гидрология. 2002. № 8. С. 53-60.

Поступила в редакцию 08.05.2018

Поморцева Анна Александровна, кандидат географических наук, доцент,
доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы
ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15
E-mail: smirnova@psu.ru

A.A. Pomortseva

ASSESSMENT OF THE EVOLUTION OF MESOSCALE SQUALL LINES BY RADAR DATA

Meteorological radars serve for the purposes of storm warning of the onset of hazardous weather phenomena associated with the effect of atmospheric convection. Such phenomena include showers, thunderstorms, hail, squally wind gains, tornadoes. Since 2013 on the territory of Russia there is a replacement of exhausted and out-of-date radars MRL-5 by radars of a new type - DMRL-C. At present, the meteorological automated radar network of Russia has 25 radars DMRL-C. This article examines the capabilities of such radars and provides an assessment of the quality of the sounding data of DMRL-C Izhevsk; the results of a comparison of the information of DMRL-C and MRL-5 with the reference data of ground-based meteorological stations are given. The radar characteristics are estimated in the course of the evolution of the storm recorded on July 10, 2013. The study showed the reliability and high confidence of the results of sounding of dangerous weather phenomena caused by convection obtained with the help of a radar of the type DMRL-C.

Keywords: meteorological radar, dangerous weather phenomena, convective systems, mesoscale squall lines.

REFERENCES

1. Smirnova A.A. *Ob'yektivnyy analiz oblachnosti i opasnykh yavleniy pogody po dannym radiolokatsionnykh i stantsionnykh nablyudeniy* [Objective analysis of cloudiness and hazardous weather phenomena from radar and station observations], Perm: Perm. Univ., 2005, 124 p. (in Russ.).
2. *Rukovodstvo po primeneniyu radiolokatorov MRL-4, MRL-5 i MRL-6 v sisteme gradozashchity* [Guidelines for the use of radar detectors MRL-4, MRL-5 and MRL-6 in the system of hail protection], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1980, 231 p. (in Russ.).
3. *Rukovodstvo po proizvodstvu nablyudeniy i primeneniyu informatsii s neavtomatizirovannykh radiolokatorov MRL-1, MRL-2, MRL-5* [Guidance on the production of observations and application of information from the non-automated radar detectors MRL-1, MRL-2, MRL-5], RD 52.04.320-91, St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1993, 360 p. (in Russ.).
4. *Metodicheskoye pis'mo ob itogakh raboty v 2012 godu funktsioniruyushchey seti «MRL-SHTORMOPOVESHCHENIYA» i seti doplerovskikh meteorologicheskikh radiolokatorov C-diapazona (DMRL-C), sozdavayemoy v ramkakh federal'noy tselevoy programmy* [Methodological letter on the results of the operation in 2012 of the functioning network "MRL-SHTORMOPOVESHCHENIYA" and the network of Doppler weather radar C-band (DMRL-C), created within the framework of the Federal Target Program], St. Petersburg: GGO, 2013, 45 p. (in Russ.).
5. *Metodicheskiye ukazaniya po proizvodstvu meteorologicheskikh radiolokatsionnykh nablyudeniy na DMRL-C na seti Rosgidrometa v tselyakh shtormoopoveshcheniya i meteooobespecheniya aviatsii. Proyekt* [Methodological instructions for the production of meteorological radar observations on the DMRL-C on the Roshydromet network for the purpose of storm warning and meteorological support for aviation. Project], St. Petersburg: GGO, 2013, 100 p. (in Russ.).

6. Divinskaya B.Sh. and Ivanov T.V. [Features of sharing the data of MPL and HMS], in *Trudy GGO*, 1977, vol. 395, pp. 100-105 (in Russ.).
7. Divinskaya B.Sh. and Salman E.M. [Comparative effectiveness of radar and visual observations of cloudiness] in *Trudy GGO*, 1969, vol. 243, pp. 3-7. (in Russ.).
8. *Nastavleniye gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam* [Manual for hydrometeorological stations and posts], Leningrad: Gidrometeoizdat, iss. 3, Part 1, 1985, 300 p. (in Russ.).
9. Kalinin N.A. and Smirnova A.A. [Numerical analysis of radar and station measurements of cloudiness] in *Meteorology and Hydrology*, 2003, vol. 7, pp. 31-39 (in Russ.).
10. Kalinin N.A. and Smirnova A.A. [Investigation of radar characteristics for recognition of dangerous weather phenomena associated with cumulonimbus clouds] in *Meteorology and Hydrology*, 2005, vol. 1, pp. 84-95 (in Russ.).
11. Kalinin N.A. and Smirnova A.A. [Determination of the water content and water reserve of cumulonimbus cloud by meteorological radar information] in *Meteorology and Hydrology*, 2011, vol. 2, pp. 30-43. (in Russ.).
12. *Prikaz o vnedrenii na radiolokatsionnoy seti Rosgidrometa «Osnovnykh tekhnicheskikh trebovaniy k sisteme obnaruzheniya opasnykh atmosferykh yavleniy i shtormovogo opoveshcheniya na baze meteorologicheskikh radiolokatorov»* [The order on the implementation of the "Basic Technical Requirements for the System for Detection of Hazardous Atmospheric Phenomena and Storm Alerts on the Basis of Meteorological Radars" on the Roshydromet Radar Network], Moscow, 21.06.2004 (in Russ.).
13. Pomortseva A.A. [Investigation of the evolution of convective systems accompanied by squalls in July 2013] in *Sborn. nauch. tr. "Geoinformation support of the spatial development of Perm Krai"*, iss. 6, 2013, pp. 78-85. (in Russ.).
14. Pomortseva A.A. and Pomortsev Yu.A. [Investigation of radar characteristics of convective systems in the Urals] in *Mater. nauch. konf. "Environment and sustainable development of regions"*, Khazan, 2013, pp. 25-27. (in Russ.).
15. Rogers R.R. *Kratkiy kurs fiziki oblakov* [A short course in the physics of clouds], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1979, 231 p. (in Russ.).
16. Brylev G.B., Gashina S.B. and Nizdoymnoga G.L. *Radiolokatsionnyye kharakteristiki oblakov i osadkov* [Radar characteristics of clouds and precipitation], Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 232 p. (in Russ.).
17. Bazlova T.A. and all. *Meteorologicheskiye avtomaticheskkiye radiolokatsionnyye seti* [Meteorological automatic radar networks], St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2002, 332 p. (in Russ.).
18. Kalinin N.A. and Smirnova A.A. [Joint use of radar and station observations for the analysis of cloud fields] in *Meteorology and Hydrology*, 2002, vol. 8, pp. 53-60 (in Russ.).

Received 08.05.2018

Pomortseva A.A., Candidate of Geography, Associate Professor at Department of Meteorology and the Protection of Atmosphere
Perm State National Research University
15 Bukireva, Perm, Russia 614990
E-mail: smirnova@psu.ru