

МЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.501.8

А.А. Поморцева**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ОТРАЖАЕМОСТИ
КУЧЕВО-ДОЖДЕВОЙ ОБЛАЧНОСТИ НА УРАЛЕ**

В статье приводятся результаты исследования пространственной структуры радиолокационной отражаемости в конвективных ячейках с ливнями, грозами и градом на территории Пермского края в день с активной грозовой деятельностью. Показано, что информация метеорологического радиолокатора при обнаружении и распознавании конвективных явлений является достоверной и может быть использована на редкой метеорологической сети.

Ключевые слова: кучево-дождевая облачность; метеорологический радиолокатор; радиолокационная отражаемость.

Использование данных метеорологического радиолокатора (МРЛ) расширяет возможности синоптика-прогнозиста. В теплый период года при активной грозовой деятельности данный прибор позволяет бесконтактно получать информацию о конвективной облачности с явлениями, которые могут оказаться незамеченными наблюдателем (замаскированные *Cb* или развитие облачности вне области, обозреваемой с метеостанции).

Интерпретация картин радиозаха происходит по значению радиолокационных характеристик, в основном, по высоте распространения радиозаха и радиолокационной отражаемости единицы облачного объема.

Радиолокационные характеристики зависят только от микрофизических характеристик облака и обладают большой изменчивостью не только в облачных полях, но и в пределах каждого отдельного облака, поэтому интересно оценить изменение радиолокационных характеристик в конкретных синоптических условиях.

Радиолокационная отражаемость изменяется во всем слое облака: от его основания до верхней границы. Зона максимальных значений отражаемости в конвективных облаках с ливнями находится обычно вблизи уровня нулевой изотермы (Z_1), в грозах и граде — на уровне Z_2 , превышающем Z_1 на 2 км. В целом, отражаемость конвективных явлений растет до высоты 4–6 км, где достигает максимальных значений, а затем уменьшается до верхней границы радиозаха. Причем скорость убывания отражаемости выше уровня с максимальными значениями различна для ливней, гроз и града и описывается экспоненциальным законом [4; 5].

В данной статье рассматривается ход радиолокационной отражаемости в радиолокационном ядре конвективных ячеек с ливнями, грозами, градом на примере суток с активной грозовой деятельностью 17.07.2006 г.

Характеристика исходных данных

Информация об облачности и явлениях погоды, обнаруженная МРЛ в результате проведения радиолокационного обзора, обрабатывается автоматизированным метеорологическим радиолокационным комплексом (АМРК) «Метеоячейка» и записывается в архивный файл прямого доступа. В этом файле в двоичном коде содержится следующая информация: паспорт обзора (дата и срок наблюдения, технические параметры МРЛ, фамилия оператора, состояние атмосферы в данный срок наблюдения) и информация радиолокационных наблюдений за облачностью и явлениями погоды в виде матрицы наблюдений. Матрица наблюдений представляет собой первичные радиолокационные данные в радиусе обзора МРЛ (200 км), где в каждой записи содержится целое

© Поморцева А.А., 2012

Поморцева Анна Александровна, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990 Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15; smirnova@psu.ru

число строк. В каждой строке в побайтовой форме находится информация, относящаяся к одному элементу разрешения АМРК «Метеоячейка» (4×4 км): прямоугольные координаты, максимальная высота радиоэха, код обнаруженного явления, отражаемость по одиннадцатикилометровым слоям.

Метеорологический радиолокатор, данные измерений которого использовались при проведении данного исследования, работает в автоматическом режиме, передавая информацию через 1 ч; при наличии грозо- и градоопасных ячеек в радиусе 100 км от МРЛ информация обновляется каждые 30 мин.

Синоптические данные представлены наблюдениями на метеорологических станциях территории исследования в основные синоптические сроки (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 ч ВСВ) в виде электронных файлов и журналов наблюдений, а также информацией, поступающей с метеостанций в режиме «Шторм». Данные о состоянии атмосферы приводятся по результатам зондирования аэрологической станции Пермь-Бахаревка за срок 0 ч ВСВ.

Для обработки, анализа и представления информации использовались следующие программные продукты: пакеты графических программ Surfer, Grapher (Golden Software, Inc.), табличный редактор Microsoft Excel, редактор баз данных Microsoft Access (Microsoft Corporation), программы расчета, написанные на языке программирования Delphi.

Погода по данным наблюдений

В статье приводятся результаты радиолокационных наблюдений за ходом отражаемости грозо- и градоопасной кучево-дождевой облачности, отмечавшейся над территорией Пермского края 17 июля 2006 г. Исследование проводилось для района, ограниченного радиусом действия МРЛ (200 км), расположенного в г. Перми на АМСГ Большое Савино.

Погода на территории исследования определялась влиянием гребня арктического антициклона, в котором происходило уменьшение геопотенциальных высот и отмечалась адвекция тепла по потоку. У земли ему соответствовало малоградиентное поле повышенного давления. На расстоянии 300–400 км к западу и северо-западу от территории исследования в зоне раздела воздушных масс умеренных и тропических широт проходила система полярного фронта. Таким образом, кучево-дождевая облачность, отмечавшаяся 17.07.2006 г., имела внутримассовое происхождение.

По данным температурно-ветрового зондирования в атмосфере наблюдалась значительная вертикальная термическая неустойчивость, подтверждаемая расчетными характеристиками. Суммарный дефицит точки росы в слое 850–500 гПа составил 26°C, средняя скорость горизонтального переноса в слое 1000–500 гПа — 3 м/с, максимальная скорость вертикального потока — 20 м/с, разность максимальной температуры между поверхностями 1000 и 500 гПа — 41,8°C. Несмотря на большое значение дефицитов влаги и низкую относительную влажность воздуха в облакообразующем слое, запас энергии неустойчивости в пределах конвективно-неустойчивого слоя (свыше 3500 Дж/кг) обеспечил формирование и значительное развитие по вертикали кучево-дождевой облачности. Расчетные методы прогноза (Р.А. Ягудин, Институт радарной метеорологии (ИРАМ), В.Д. Решетов, Б.Е. Песков, Гидрометцентр СССР) показали возможность формирования гроз и града в радиусе 100 км от пункта зондирования при максимальной высоте развития облачности до 14 км.

Таким образом, в течение всего исследуемого периода происходит внутримассовое развитие конвекции за счет термических причин, а также распространение конвекции с запада, что позволяет сделать вывод о том, что происходит вынос влажной неустойчивой воздушной массы из района барической депрессии, расположенной над центральной Россией.

По информации метеорологических наблюдательных станций начало грозовой деятельности было зафиксировано в 10 ч МСВ на метеостанции Чермоз (штормовое сообщение). В течение суток гроза отмечалась на метеостанциях Чайковский, Оханск, Верещагино, Пермь, Добрянка.

Обсуждение результатов

На основании данных радиолокационного зондирования были получены значения отражаемости в радиолокационных конвективных ячейках, соответствующих ядру радиоэха с *Cb*, которые были определены в соответствии с таким критериями распознавания, как ливень, гроза или град. За исследуемый день было выделено 65 очагов ливней, 62 грозы и 15 явлений града.

Величина отражаемости в *Cb* существенно отличается в зависимости от состояния атмосферы, стадии развития облака, его удаления от метеорологического радиолокатора, наличия объектов и явлений, экранирующих распространение радиолуча. Кроме того, отражаемость неравномерно распределяется и в самом облаке.

По данным МРЛ конвективные процессы в атмосфере были зафиксированы в срок 7 ч МСВ (13 ч местного времени). По информации радиолокационного обзора в секторе 270–307° на удалении 29 и 84 км от МРЛ были отмечены очаги радиоэха конвективных облаков (РКО). В срок 8 ч были зафиксированы первые конвективные ячейки с грозой. В грозоопасных ячейках максимальное значение радиолокационной отражаемости составило 39 dBZ, максимальная высота радиоэха — 9 км. К следующему сроку максимальное значение отражаемости достигло 50 dBZ при высоте радиоэха 9,3 км. В срок 9 ч МСВ в поле РКО отмечаются гродоопасные очаги. Высота радиоэха конвективной ячейки с градом составила 12,75 км, максимальная отражаемость — 53 dBZ. Развитие конвективной облачности происходит до срока 14 ч МСВ. В этот период в радиусе действия МРЛ отмечается до 7 очагов РКО и радиоэха конвективных и слоистообразных облаков (РКСО) с высотой радиоэха конвективных ячеек с грозой и градом 14 км, максимальной отражаемостью на уровне изотермы – 22°C — 57 dBZ. Зона облачности и осадков занимает сектор 220–0–25° в пределах видимости МРЛ. В срок 14 ч 30 мин отмечается ослабление конвективных процессов, зоны РКО и РКСО заметно сокращаются. С уменьшением влияния термического фактора неустойчивость в атмосфере ослабляется, вертикальные движения становятся менее интенсивными, высота радиоэха кучево-дождевой облачности понижается до 11 км, максимальная отражаемость составляет 49 dBZ. Грозовая деятельность по данным радиолокационных наблюдений оканчивается в срок 20 ч 30 мин ВСВ, когда был зарегистрирован последний очаг РКО с грозами. Максимальная высота радиоэха в ячейке с грозой составила 8,5 км, максимальная отражаемость — 41 dBZ.

В вертикальном распределении радиолокационной отражаемости практически во все сроки измерений отмечается один максимум, коррелирующий с уровнями изотерм 0, –10 и –22°C. На высотах расположения этих изотерм происходит смена фазового строения облака с чисто капельного на чисто ледяное. Здесь происходит разделение электрических зарядов в облаке и формируются грозовые очаги. Ячейки с грозой характеризуются резким увеличением отражаемости от нижней границы облака до высоты 4–6 км, где отмечаются максимальные значения, и таким же резким ее уменьшением в слое от 6 км до верхней границы облака. В сроки 13 ч 30 мин — 14 ч такой максимум в ячейках с грозой отмечается в нижнем слое облака (от земной поверхности до высоты 6 км). В этот период вблизи МРЛ (сектор 210–300°, удаление 20–40 км) происходит развитие кучево-дождевой облачности: высота радиоэха достигает 12,5 км, максимальная отражаемость в слое 0–5 км — 57 dBZ. Такой вид вертикального профиля распределения отражаемости в ячейке с грозой определяется выпадением ливневых осадков из облака.

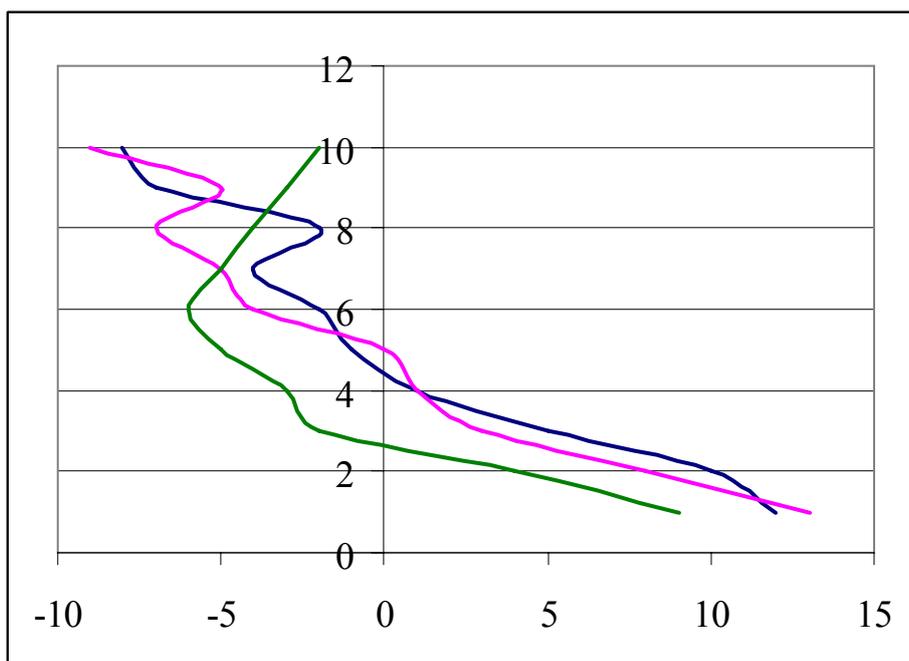
Радиолокационные конвективные ячейки с ливневыми осадками отмечались за весь период наблюдений, а также в течение всех рассматриваемых суток, начиная с 7 ч ВСВ. Вертикальный профиль отражаемости в таких ячейках в общем случае также имеет один максимум в слое замерзания облачных капель, однако за период наблюдения выделяется ряд радиолокационных сроков, в которые максимальные значения отражаемости отмечались или вблизи нижней границы облака (соответствует уровню конденсации), или земной поверхности (например, в сроки 8 ч 30 мин, 12 ч — 13 ч 30 мин, 14 ч 30 мин — 15 ч и 19 ч — 19 ч 30 мин).

В целом можно заметить, что отражаемость изменялась от срока к сроку достаточно интенсивно в соответствии с суточным ходом высоты радиоэха конвективных ячеек и развитием конвективной облачности. По мере прогрева подстилающей поверхности происходило увеличение высоты радиоэха ячеек с явлениями, усиливались вертикальные движения, обострялась грозовая деятельность.

Отражаемость на уровне массовой кристаллизации капель в градовых облаках существенно выше, чем в конвективных облаках с линиями и грозами. Это связано с наличием более мощного облачного слоя с интенсивными восходящими движениями, благодаря чему формируются облачные элементы в виде градин с диаметром до 30 мм. Град — явление локальное и кратковременное, его средняя продолжительность составляет 5 мин. В том случае, если град выпадает в районе, не освещенном метеостанцией, информация о его выпадении в метеорологических сводках отсутствует. В период исследования по информации МРЛ отмечались радиолокационные конвективные ячейки с градом, который также прогнозировался на данный день методами В.Д. Решетова и ИРАМ. Однако ни одна из метеостанций выпадение града не зафиксировала.

Вертикальный ход отражаемости в градоопасных конвективных ячейках очень неравномерен. Значения отражаемости изменяются от 20 *dBZ* в нижней части облака и вблизи его вершины (42 *dBZ* вблизи границ ядра радиоэха градоопасных *Cb*) до 57 *dBZ* на высоте 5 км, составляя в среднем в ядре 52 *dBZ*. В ячейке может отмечаться несколько слоев с повышенными значениями отражаемости, которые хорошо согласуются с высотами расположения изотерм -10 , -22°C . Наибольшие значения отражаемости во всем слое конвективной ячейки с градом (57 *dBZ*) отмечались в срок 9 ч, т. е. в период наиболее интенсивного развития конвекции, когда увеличиваются горизонтальные и вертикальные размеры облака. Отражаемость в радиолокационном ядре составила в среднем 54 *dBZ*, высота радиоэха градоопасной облачности — 12,75 км. В остальные сроки с градоопасной кучево-дождевой облачностью максимальное значение отражаемости составило 55 *dBZ*. Для градоопасных, также как и для грозоопасных радиолокационных конвективных ячеек, отмечается резкое увеличение значений отражаемости от нижней границы облака до уровня 4–7 км, а затем его уменьшение до вершины облака. Однако в отличие от ячеек с грозой здесь отмечается большая мощность слоя с максимальными значениями влажности [2].

Рассмотрим скорость изменения отражаемости с высотой в ливнях, грозах и граде (рисунок). На рисунке приведен вертикальный ход градиента отражаемости в радиолокационном ядре ячеек с ливнями, грозой и градом, определенный в километровых слоях радиолокационного объема от поверхности земли до верхней границы радиоэха (значение дается на верхней границе рассматриваемого слоя). При выбранной методике расчета вертикального градиента отрицательным значениям соответствует уменьшение отражаемости в слое конвективной ячейки, положительным — рост.



Вертикальный градиент отражаемости в ливнях (зеленая линия), грозах (красная линия), граде (синяя линия), *dBZ/км*

Кривые хода вертикального градиента радиолокационной отражаемости в ячейках с грозой и градом имеют сходную конфигурацию. Отмечается резкий рост значений отражаемости в нижнем слое тропосферы 0–2 км (на 10 *dBZ* на каждый километр высоты). В слое 3–5 км (уровень изотермы -22°C) рост отражаемости замедляется и составляет 1–5 *dBZ*. Выше 5 км происходит плавное уменьшение отражаемости, причем в ячейках с градом в слое 5–8 км уменьшение составляет 2–4 *dBZ/км*, а в ячейках с грозами во всем слое выше 5 км убывание составляет в среднем 5 *dBZ/км*. Лишь вблизи верхней границы радиолокационного ядра *Cb* с грозой и градом происходит интенсивное падение отражаемости в среднем на 8–9 *dBZ* (по абсолютным значениям падение доходит до 37 *dBZ/км*).

Большие значения отражаемости вблизи поверхности земли отмечаются в сроки, когда началось выпадение осадков, что связано с отражением радиолокационного сигнала каплями дождя.

В радиолокационном ядре *Cb* с ливнями происходит рост отражаемости на 9 *dBZ/км* в нижнем километровом слое, затем рост отражаемости замедляется и в слое 2-3 км составляет 4 *dBZ/км*. Выше 3 км (уровень нулевой изотермы) начинается уменьшение отражаемости к вершине *Cb*, которое составляет в среднем 5 *dBZ/км* и замедляется лишь вблизи верхней границы радиоэха.

Приведенные результаты подтверждают полученные ранее выводы [1; 3] о возможности метеорологического радиолокатора достоверно обнаруживать и распознавать конвективное явление, что позволяет использовать радиолокационную информацию для получения информации об осадках за пределами наземной осадкомерной сети.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 12-05-31425).

Библиографический список

1. 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.

2. 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.

3. 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.

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

5. 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.

A.A. Pomortseva

SPACE STRUCTURE OF RADAR REFLECTIVITY OF CONVECTIVE CLOUD COVER IN THE URAL

In the article the results of the research of the space structure of radar reflectivity in convective cells with showers, thunder-storms and hailstones on the territory of the Perm Krai in the day with active thunderstorm are presented. It is shown that the data provided by the meteorological radar in the course of detection and recognition of convective phenomena are true and can be used on a rare meteorological network.

К е у в о р д с : convective cloud cover; a meteorological radar; radar reflectivity.

Anna A. Pomortseva, Candidate of Geography, Associate Professor of Department of Meteorology and Atmosphere Protection; Perm State National Research University; 15 Bukireva, Perm, Russia 614990; smirnova@psu.ru