

УДК 551.501.8.:551.509.322

Н.И. Толмачева

**РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ОБЛАЧНОСТИ  
НАД МЕГАПОЛИСОМ**Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
614990, г. Пермь, ул. Букирева; 15, e-mail: nitolmacheva@yandex.ru

Рассмотрены временные изменения радиолокационных характеристик облачности над промышленными центрами и сельской местностью по территории Пермского края. На примере г. Перми показана возможность использования информации радиолокатора для изучения особенностей развития конвективных облаков. Выявленные зависимости конвективной облачности от синоптического положения и времени суток дадут более надежные прогнозы развития Сб и связанных с ними опасных явлений погоды.

**Ключевые слова:** метеорологический радиолокатор; восстановление; облачные ячейки; метеорологические параметры, конвективная облачность.

Метеорологические радиолокационные станции (МРЛ) кроме штормового оповещения могут использоваться для регионального мониторинга облачности и осадков. Атмосфера и ее характеристики находятся в зависимости от таких факторов воздействия, как города, промышленные центры. Характер данных влияний оценим на примере изменения радиолокационных характеристик по территории Пермского края. На примере г. Перми покажем возможность использования информации МРЛ для изучения особенностей развития радиоэха конвективных облаков (РКО).

Исследуем данные о характеристиках полей облачности и осадков в радиусе 100 км вокруг города с минимальной ячейкой размером 4×4 км. Радиолокационный метод наблюдения является вероятностным и поэтому необходимо сочетание данных МРЛ с информацией метеостанций, расположенных в зоне действия радиолокатора, такое комплексирование метеоинформации позволяет повысить ее качество. Для исследования возможностей использования МРЛ для целей регионального мониторинга оценим влияние мегаполиса на осадки и состояние облачности. В анализе используем следующие радиолокационные характеристики: повторяемость радиоэха облачности и зон осадков (РОЗО) в отдельных ячейках  $N_{РОЗО}$  (число случаев); повторяемость радиоэха осадков (РО) для зон с отражаемостью  $Z = 23$  dBZ,  $I \geq 1$  мм/ч) в минимальных ячейках  $N_{РО}$  (число случаев); случаи  $n_i$  с сильными осадками  $I_{\max}$  над городом, пригородом, сельской местностью и водохранилищами ( $I_{\max}$  — максимальная за полусутки интенсивность осадков); суммарное количество полусуточных осадков за весь период наблюдений в ячейках  $Q$  (мм). Первые три радиолокационные характеристики не имеют аналогов на метеорологических станциях.

В работе использованы материалы наблюдений МРЛ-5 (аэропорт Б. Савино г. Пермь) за 1996–2010 гг. Сокращение периода наблюдений для климатического анализа и обобщений по сравнению с традиционными точечными визуальными данными за осадками и облачностью достигается на МРЛ за счет высокой пространственно-временной разрешающей способности метода радиолокационных наблюдений. МРЛ позволяет проводить наблюдения в автоматическом режиме работы с 30-минутным обновлением данных.

Облачность и осадки, отмеченные в дни наблюдений, обусловлены в основном прохождением фронтальных атмосферных разделов, связанных с барическими ложбинами и циклонами, смещавшимися с юга, юго-запада и запада на север и северо-восток. Направление воздушного потока на высоте 3-5 км в дни выпадения максимальных осадков находилось в пределах углового сектора (170-270°) при максимальной повторяемости южного и юго-западного направления ветра (180-225°).

Рассмотрим ряд вопросов, представляющих самостоятельный интерес, таких как распределение РОЗО над большим городом и вокруг него; распределение повторяемости осадков на подветренной стороне от источника антропогенного влияния на расстоянии 30 и 70 км; определение и выявление участков территории вокруг источника антропогенного влияния с максимальной повторяемостью

случаев выпадения осадков экстремальной интенсивности; особенности распределения полусуточных сумм осадков за весь период наблюдения вокруг источника антропогенного влияния.

Основной характерной особенностью распределения РОЗО является хорошо выраженный максимум повторяемости, совпадающий с северной, восточной и южной границей территории города. В районе южной границы г. Кунгура и Добрянки также прослеживаются вполне самостоятельные локальные максимумы повторяемости РОЗО, но компактные по площади и меньшие по амплитуде. В 30 км к востоку от г. Перми выделяется еще один локальный максимум повторяемости РОЗО, причина возникновения которого сходна и с происхождением максимумов в г. Добрянке. Повышенная повторяемость радиоэха облачности непосредственно над самими объектами антропогенного влияния обусловлена выделением в местах их расположения больших количеств загрязняющих атмосферу веществ, продуктов сгорания, тепла, пыли. Над площадью городской застройки отмечается в 2,5 раза увеличение повторяемости РОЗО по сравнению с участками сельской местности, лишенной подобных объектов влияния. Влияние такого большого города как Пермь на облачное состояние существенно на площади, превышающей размер самой городской застройки примерно в три раза, над которой отмечается в среднем 2-х разное увеличение повторяемости РОЗО по сравнению с окружающей сельской местностью (рис. 1).

Экстремальное распределение повторяемости РОЗО (рис. 1) в зоне действия МРЛ с хорошо выраженным максимумом над городом и распределение абсолютной повторяемости радиоэха только дождевых облаков и осадков отчетливо показывают, что значительная аномалия повторяемости РОЗО над городской застройкой и над ближайшими пригородами вызвана, в основном, повышенным количеством и большей продолжительностью существования облаков неждождевых форм.

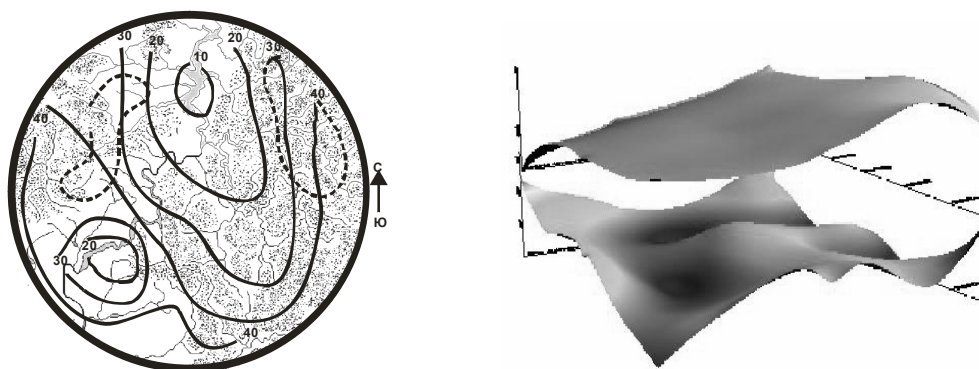


Рис. 1. Распределение повторяемости (%) от числа случаев наблюдений радиоэха облачности над городом и сельской местностью на высоте 3-4 км

Повторяемость осадков, также подвержена влиянию антропогенных факторов и неоднородностей подстилающей поверхности, хотя и в меньшей степени, чем облачность. Образование зоны повышенной повторяемости осадков севернее г. Перми связано с часто отмечавшимся направлением воздушного переноса за дни наблюдений (азимут 0-45°, 340-360°). Мегалополис – генератор огромного количества ядер конденсации, которые рассеиваются на подветренной от города стороне, поэтому можно определенно связать зону повышенной повторяемости осадков влиянием города как источника аэрозоля и дополнительного количества тепла, способствующего уменьшению стабильности и повышению конвективной неустойчивости нижних слоев атмосферы. В пределах зоны повышенной повторяемости осадков в азимуте 310-320° прослеживается отчетливый локальный максимум повторяемости кучево-дождевых облаков, обусловленный возвышенностями Пермского края.

Таким образом, при совместном влиянии города и рельефа на процессы осадкообразования в атмосфере, последние претерпевают заметное усиление, которое в 2-3 раза больше по сравнению с районами, лишенными источников влияния (участки территории без возвышенностей в сельской местности с наветренной от города стороны). Абсолютный максимум повторяемости радиоэха южнее г. Перми (изолиния 30) в районе городов Кунгур и Добрянка обусловлен вполне самостоятельным объектом антропогенного влияния, компактно локализованным в указанной части зоны обзора МРЛ.

В работе [1] отмечено, что промышленные предприятия, как и городские агломерации, являются источниками вредных эмиссий, неблагоприятным образом влияющих на окружающую среду. На высоте 2 м от подстилающей поверхности над промышленной площадкой формируется устойчивая об-

ласть тепла. Кроме того, искусственный приток тепла в атмосферу, поступающий вследствие деятельности заводов, может достигать 10 % от суточных сумм суммарной солнечной радиации. Совместный анализ карт пространственного распределения РОЗО и осадков показывает, что повышенная повторяемость РОЗО над источниками влияния объясняется большим количеством облаков без осадков, которые возникают и присутствуют продолжительное время над источниками влияния. Для осадков отмечена зависимость местоположения области их повышенной повторяемости от направления преобладающего ветра на высотах (1,5 км) по отношению к границам территории мегаполиса или городской агломерации. Для локальных источников влияния отмечаются более четкие пространственные привязки зон аномалий повторяемости радиоза осадков к их местоположению.

Средняя повторяемость осадков над районом городской застройки и вокруг города на удалении 30 и 70 км выбранных в направлении вдоль основного адвектирующего потока на высоте 3 км и в направлении под углом 90° (две пары значений на подветренной от города стороне, две пары на наветренной стороне в набегающем потоке, 4 измерения в направлении, перпендикулярном к двум первым). Три пары значений повторяемости осадков, которые характеризуют относительную продолжительность осадков в ячейках пространства за пределами зон, подверженных антропогенному влиянию большого города, приняты для оценки естественной продолжительности осадков за весь использованный период наблюдения. Значение повторяемости осадков по результатам осреднения в четырех ячейках на удалении 30 и 70 км от центра города соответственно составили 18,3 и 12,5 единиц повторяемости. В зоне антропогенного влияния на подветренной от города стороне эти значения составили соответственно 27,8 и 19,4 единиц повторяемости. Таким образом, повторяемость осадков на подветренной стороне города превосходит среднее значение для окружающих сельских районов вне зоны антропогенного влияния города в 1,5 раза.

При избыточных количествах гигроскопических ядер конденсации и известных аномалиях полей температуры и влажности над городом отмечается увеличение количества не конвективных облаков и также времени их существования. Такому распределению повторяемости дождевой облачности над городом при определенных условиях погоды способствует также уменьшение вертикальных потоков водяного пара от искусственных асфальтовых покрытий и зданий городов, по сравнению с притоком водяного пара в атмосферу от естественной подстилающей поверхности при достаточном грунтовом увлажнении в сельской местности.

Согласно наблюдениям над мегаполисом, максимальная интенсивность осадков в диапазоне (0,75-1,0)  $I_{\text{макс}}$  при относительно ограниченных размерах ее площади (1200 км<sup>2</sup>) имели наибольшую нормированную повторяемость. В качестве единицы элемента нормирования использовалась площадь района городской застройки и пригородной промышленной зоны. Из табл. 1 следует, что превышение нормированной повторяемости  $N$  случаев выпадения осадков с максимальной интенсивностью над городом по сравнению с водохранилищами и свободной от влияния города сельской местностью ( $n_{\text{мин}}$ ) достигает в среднем шести раз. Над пригородными районами в радиусе 30 км от границ городской застройки осадки с максимальными интенсивностями в диапазоне (0,75-1,0)  $I_{\text{макс}}$  встречались в 3 раза чаще по сравнению с отдаленной от города сельской местностью и водохранилищами, т. е. антропогенное влияние большого города на такой параметр осадков, как интенсивность их выпадения подтверждается данными.

Таблица 1

**Число случаев обнаружения экстремальных интенсивностей осадков ( $P$ ) в диапазоне (0,75-1,0)  $I_{\text{макс}}$  для различных зон в радиусе обзора 100 км**

Тип зоны в радиусе обзора	$S$ км <sup>2</sup>	$P$	$N$	$N/n_{\text{мин}}$
Мегаполис	1 200	21	19	6,3
Пригородная сельская местность до 30 км	7850	56	8	3
Сельская местность более 30 км	13600	32	3	1
Водные объекты	6 300	16	4	1

Для объяснения причин можно предположить, что определенная роль в таком характере распределения осадков с максимальными мгновенными интенсивностями в зоне действия радиолокатора принадлежит высотной городской застройке на воздушные потоки в приземном слое атмосферы. Следует заметить, что возникновение над городом условий, при которых отмечается усиление горизон-

тальных воздушных потоков и увеличение регулярной составляющей ветра по вертикали, при прочих равных аэросиноптических параметрах атмосферы в зоне обзора МРЛ от 0 до 100 км, способствует появлению над объектом влияния облаков и осадков с такими характеристиками, которых существующая облачность при имеющихся условиях развития не может приобрести над водохранилищами или отдаленной местностью с относительно ровным рельефом.

Радиолокационные полусуточные суммы осадков получены для площади обзора, ограниченной радиусом 100 км, попиксельно. Общий слой осадков за полусутки в каждой ячейке определялся как результат суммирования отдельных слоев, полученных по данным измерений за 30 мин. интервалы времени, которые соответствовали периоду повторения радиолокационных наблюдений. Слой осадков в отдельном интервале оценивался по соотношению  $Z = 3,12I^{1,6}$  и данным АМРК «Метеоячейка». С целью обеспечения точности радиолокационных сумм было проведено сопоставление данных МРЛ о количестве выпавших осадков в ячейках площади с результатами наблюдений на МС, которые приняты за эталон. Сопоставление проводилось как по абсолютным разностям отклонений сумм, так и по величинам отношения  $Q_{МС}/Q_{МРЛ}$ . К важным особенностям распределения сумм осадков следует отнести прежде всего абсолютный максимум количества осадков на северо-востоке от г. Перми, связанный с увеличением высот. Другая особенность полученного распределения количества осадков в зоне обзора МРЛ — обширная область минимума осадков на юго-востоке, и юге от г. Перми, она совпадает с речной сетью и сельской местностью. Локальные максимумы на юго-западе, юге и востоке от г. Перми обусловлены влиянием возвышенности, а также локальными источниками антропогенного влияния.

Следует заметить, что основной вклад в три локальных максимума количества осадков в районе гг. Кунгура, Добрянки и Березников дали только одни полусутки, когда отмечалось аномально большое количество осадков. Это указывает на возможность возникновения в непосредственной близости от точечных объектов влияния особо благоприятных термодинамических условий для аномальной генерации осадков в этих пунктах, когда их общее количество может превышать среднее значение слоя в соседних пунктах в десятки раз. Анализу таких ситуаций посвящена статья [5].

Данные исследования способствуют более точной интерпретации процесса влияния мегаполисов, промышленных городов и других объектов на облачность и осадки. Неравномерность распределения которых на сравнительно ограниченной территории, как видно из анализа, не может быть свойством внутренней структуры самих полей осадков, а объективно вытекает из внешней обусловленности и не учитываемых эффектов взаимодействия процессов облако и осадкообразования мезомасштаба.

Обобщим проведенный анализ информации:

- вокруг большого города отмечается двухразовое увеличение повторяемости радиоэха облаков и осадков над территорией, превышающей размер площади городской застройки в 3 раза.

- на подветренных по отношению к городу сельских районах повторяемость осадков на расстояниях до 70 км от центра города превышает среднее значение этой же характеристики вне зоны антропогенного влияния городской застройки в 1,5 раза.

- над городом и близко расположенной к нему сельской местностью (30 км от границ застройки) экстремальные интенсивности осадков отмечались чаще, чем в отдаленной сельской местности и над водными объектами. Нормированная на единицу площади повторяемость случаев осадков в пределах экстремальной интенсивности (0,75-1,0)  $I_{\max}$  для конкретного дня в черте города в шесть раз, а над ближайшей к городу сельской местностью в три раза выше, чем над отдаленной сельской местностью и водохранилищами.

Отметим, что выявление закономерностей влияния мегаполиса на погодные условия должно изучаться для конкретного города с его индивидуальным сочетанием орографических условий, региональных синоптических процессов, преобладающих в данной местности.

Исследуем на примере г. Перми влияние крупного промышленного центра на пространственное распределение осадков и конвективной облачности по методике, рассмотренной в [4]. Анализ пространственного распределения повторяемости ( $\chi$ ) РОЗО над городом и его окрестностями, т.е. над территорией с различным характером подстилающей поверхности, показывает, что наиболее часто оно отмечалось над городом и восточнее Перми на расстоянии до 60 км. В районе г. Кунгура за сезон наблюдалось в течение 130-137 ч, а над г. Пермь — 93-129 ч. Относительный минимум повторяемости РОЗО отмечается над водохранилищем и речной сетью (35 ч). Над такой же площадью суши в южной половине территории обзора повторяемость составила 46 ч, на 30 % больше, чем над водными объектами. Сходство с описанными особенностями повторяемости РОЗО над городом и вокруг него обнаруживает также распределение продолжительности времени существования ливней на метео-

станциях. Анализируемые данные позволяют выявить районы, над которыми ливневые осадки имеют наибольшую и наименьшую продолжительность.

В табл. 2 приведены средние и максимальные повторяемости РОЗО в радиусе 100 км и средние значения повторяемости РОЗО над городом и речной сетью, нормированные относительно площади размером 8×8 км. В табл. 2 все данные наблюдений распределены между двумя типами синоптических процессов: внутримассовые и фронтальные. Из нее видно, что повторяемость РОЗО над городом примерно в 3 раза больше, чем над речной сетью и, в частности, в 2 раза превышает среднее число сроков наблюдений РОЗО в районе с радиусом 100 км. Для фронтальных ситуаций характерна относительно более высокая, чем для внутримассовой ситуации, повторяемость РОЗО над площадью  $S = 100 \text{ км}^2$ . Относительная максимальная продолжительность РОЗО достигает 40 % времени от всего периода с данными метеорологическими условиями. При облачности внутримассового происхождения относительная продолжительность РОЗО не превышает 7 % времени всего периода с внутримассовым характером погоды в районе наблюдения.

Таблица 2

**Средняя ( $n$ ) и максимальная ( $n_{\text{макс}}$ ) повторяемость (число случаев) РОЗО над площадью размером 8×8 км над городом и окрестностями в радиусе 100 км**

Тип облачности и осадков	Число сроков	$n$ город	$n$ речная сеть	$n$ $r = 100 \text{ км}$	$n_{\text{макс}}$ $r = 100$ км
Внутримассовые (конвективные)	831	47	14	21	58
Фронтальные	216	66	21	31	91
Сумма	1047	113	35	52	137
Осадки с $I = 10 \text{ мм/ч}$	1047	10	2	3	15

Положение района максимальной продолжительности гроз в основном совпадает с положением района, где отмечена наибольшая повторяемость РОЗО сильных ливней. Повторяемость осадков с большой интенсивностью над городом и водохранилищем за сезон не одинакова. Над городом сильные осадки отмечаются в 5 раз чаще, чем над речной сетью. Возможно, это связано с влиянием городской застройки на воздушный поток. В работе [2] показано, что при слабых и сильных ветрах перед мегаполисом и над ним образуются восходящие движения тем сильнее, чем больше скорость ветра. Скорость воздушных потоков на уровне облаков над городом возрастает в результате уменьшения горизонтальной составляющей ветра в нижних слоях за счет препятствий в виде высотных построек. Над городом образуется зона малоподвижного воздуха, которая оказывает влияние на его горизонтальное перемещение до высоты несколько сотен метров. Новые (поступающие) массы воздуха вынуждены подниматься вверх, за счет чего их скорость над городом и с наветренной стороны увеличивается. На подветренной стороне скорость ветра резко уменьшается, по этой причине над городом существуют облака, состоящие из капель и кристаллов, размеры которых превышают критические, и которые дольше, чем обычно, остаются в облаке, так как несущая способность воздуха при сильном ветре над городом увеличивается. Осадки из облака ослабевают там, где скорость ветра резко уменьшается, т. е. на подветренной стороне рядом с границей городской застройки. Этим объясняется факт, почему на слабые и умеренные осадки город не оказывает заметного влияния. В районе Пермской области слабые и умеренные осадки составляют 75 % общего количества осадков, достигающих поверхности Земли [5], поэтому следует ожидать, что влияние города будет сказываться только на 25 % осадков.

Влияние большого города на распределение РОЗО в смежных с ним районах детально анализировались. Рассмотрим нормированную повторяемость случаев обнаружения РОЗО на площади размером  $100 \text{ км}^2$  для города и пригорода в радиусе 60 км в зависимости от направления ветра на АТ-700. При ветрах северной и западной четверти отмечается заметное влияние города на повторяемость или продолжительность существования РОЗО в подветренных от города секторах пригорода (южном и восточном), где повторяемость РОЗО увеличивается в 2 раза (продолжительность РОЗО возросла в случае северного ветра от 3 до 7 ч, а в случае западного ветра от 12 до 20 ч). В случае воздушных потоков восточного и южного направления на подветренной стороне города увеличения повторяемости РОЗО не отмечается. Относительный максимум повторяемости РОЗО над городом отмечается независимо от направления адвекции воздуха, перемещения облачных систем и интенсивности осадков.

Отметим, что характеристики повторяемости РОЗО не всегда совпадают с климатическими данными о продолжительности осадков. Радиолокационные включают в себя больше форм облачности, например Сб в предливневой и послеливневой стадиях. Описанный характер влияния промышленной зоны и городской застройки на распределение РОЗО вокруг г. Перми по наблюдениям МРЛ подтверждается данными о средней продолжительности ливней за более длительный период наблюдений сети метеостанций. Таким образом, найденные особенности распределения РОЗО над городом и в пригороде в летний период определяются не только влиянием особых городских условий на процессы осадкообразования с подветренной от города стороны, но и воздействием водохранилища, р. Камы. Что является существенным стабилизирующим фактором для развития конвективных облачных процессов в дневное время, данный факт особенно замечено при анализе процессов движения облачных систем к городу с юга и востока. Поле радиолокационных характеристик облачности и осадков на ограниченной территории вокруг большого города имеет неоднородный характер. Выявленные неоднородности в распределении облачности и осадков на площади, существенно меньшей масштабов синоптических процессов, определяются эффектами взаимодействия процессов облако и осадкообразования различных масштабов. Для других городов результаты могут не совпадать с полученными для г. Перми, поэтому изучение особенностей мезомасштабного распределения облачности, осадков, грозовых явлений важно проводить для каждого крупного промышленного центра с учетом местных условий.

На развитие Сб существенное влияние оказывают мезомасштабные процессы [2, 5]. Они обнаруживаются в пограничном слое атмосферы и обусловлены влиянием топографических особенностей подстилающей поверхности (возвышенности, неоднородный характер подстилающей поверхности, наличие промышленных зон, городская застройка). Район 200×200 км с центром в г. Перми имеет все перечисленные топографические особенности. Здесь располагаются Оханская (запад) и Тулвинская (южнее Перми) возвышенности (максимальные высоты над уровнем моря около 300 м). Юго-восточнее г. Перми проходит Сылвинский кряж (до 355 м) и др. В указанном районе также располагается водохранилище и густая речная сеть.

Исследование проводилось за период 1996-2010 гг., обновление информации производилось через 30 мин. За конвективную облачность (РКО) в квадрате 4×4 км принималось радиоэхо с высотой верхней границы  $H = 6$  км и максимальной радиолокационной отражаемостью в слое  $Z = 29$  dBz, что предполагает возможность возникновения гроз и выпадение ливневых осадков с интенсивностью  $I = 2,5$  мм/ч. При анализе влияния топографических особенностей подстилающей поверхности и мезомасштабных особенностей приземных метеорологических полей на развитие Сб использовались следующие характеристики РКО: число случаев наличия РКО в каждом квадрате за весь период наблюдений; признак наличия РКО и признак отсутствия РКО,  $N_i = \sum_{j=1}^m A_{i,j}$ , где  $A$  — признак наличия

РКО,  $i = 1, 2, \dots, m$  — число квадратов 4×4 км, в котором РКО отмечалось хотя бы один раз за весь период наблюдений;  $j = 1, 2, \dots, n$  — номер обзора, при котором в поле радиоэха отмечалось РКО;  $n$  — полное число обзоров, при которых в поле радиоэха отмечалось РКО; продолжительность (мин) существования РКО в каждом квадрате за весь период наблюдений  $M_i = N_i \times 30$ , (период обновления информации 30 мин); средняя высота (км) верхней границы РКО в каждом квадрате

$\bar{H}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} H_{i,j}$ ; средняя отражаемость, рассчитанная по максимальным значениям радиолокационной

отражаемости в квадратах  $\bar{Z}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} Z_{i,j}$ . Для выявления характерных для всего района в

целом особенностей развития Сб, а также для определения влияния на их развитие макромасштабных атмосферных процессов и суточного хода использовались следующие радиолокационные характеристики: продолжительность существования РКО; высота верхней границы РКО (км); максимальная радиолокационная отражаемость, площадь (км<sup>2</sup>) района исследования, над которым отмечалось РКО. Таким образом, если значение радиолокационной характеристики в квадрате 4×4 (группе квадратов) больше фонового, то принимается, что местные топографические особенности способствуют развитию Сб. Для исследования влияния макромасштабных процессов на развитие Сб использовались также данные о высоте нулевой изотермы  $H_0$ . Она зависит от типа воздушной массы, обуславливаю-

щей синоптическое положение в районе исследования, т.е. в первом приближении характеризует макромасштабные условия развития Сб. Развитие Сб производится на основе определения радиолокационных характеристик в различное время суток.

Для исследования влияния региональных особенностей приземных полей метеовеличин привлекались данные наблюдений наземной метеорологической сети станций, расположенных в рассматриваемом районе (14 станций). Использовались характеристики: средняя температура воздуха; среднемесячная дневная сумма осадков и преобладающий приземный ветер в пункте наблюдения. Для определения преобладающего приземного ветра для каждого пункта наблюдений рассчитывалась суммарная повторяемость ветра, за направление преобладающего ветра в пункте бралось направление с максимальным значением. Для этого направления рассчитывалась средняя скорость ветра. Для определения фоновых (средних по всему району) значений рассчитывались следующие характеристики: средняя по всему району исследования температура воздуха и среднее по району среднемесячное количество осадков.

Развитие РКО I группы [2] имеет место практически по всему району, тогда как полная площадь РКО II группы [2] составляет около  $\frac{1}{4}$  части района. Средняя продолжительность существования РКО I группы в ячейке (4×4 км) составляет 102 мин за период наблюдений, а для II группы РКО — 15 мин.

Наблюдается превышение среднего по району значения продолжительности существования РКО I группы ( $N > 14$ ) над возвышенностями и городом. Учитывая факт, что в дни наблюдений в слое 850-300 гПа преобладали ветры юго-западной четверти, можно утверждать, что влияние города сказывается следующим образом. На его подветренной (восточной) стороне область со значительной продолжительностью существования РКО I группы ( $N > 40$ ) занимает большую площадь, чем на западной стороне. При этом области абсолютных максимумов  $N$  расположены на юго-восточной и северо-восточной окраинах города в зоне промышленных предприятий. Аналогично объясняются локальные максимумы  $N$  вблизи гг. Краснокамск, Кунгур, Верещагино, Добрянка, Березники. Наименьшая продолжительность существования РКО I группы отмечается над Камским водохранилищем ( $N \leq 3$ ), т. е. над относительно холодной подстилающей поверхностью. Локальные минимумы  $N$  имеют место на восточном склоне Сылвинского кряжа и вдоль Тулвинской возвышенности водораздельных хребтов Камы и Чусовой.

Поле средних высот верхней границы РКО I группы ( $H_i$ ). Область, в которой значения  $H_i$ , превышают средневзвешенное по всему району значение высоты верхней границы РКО ( $H = 7,4$  км) располагается, главным образом, вдоль Верхнекамской и над Оханской возвышенностью. Области абсолютных максимумов расположены западнее Перми и восточнее, где расположены промышленные предприятия. Наибольшая продолжительность существования РКО II группы имеет место над Средним Уралом и Тулвинской возвышенностью, западнее города, а также в районе водохранилища. Локальные максимумы  $N$ , для РКО II группы отмечаются над ст. Шаля, г. Березники. Области с абсолютными максимумами  $H_i$ , для РКО II группы расположены западнее г. Лысьвы и над Кунгуром, что совпадает с аналогичной характеристикой РКО I группы. Максимальные характеристики РКО I и II групп совпадают с областями мезомасштабной конвергенции приземного ветра. Наименьшие значения характеристик РКО имеют место в областях мезомасштабной дивергенции приземного ветра (восточные склоны возвышенности и восточные участки водохранилищ). Более холодный воздух у земной поверхности по данным поля средних за день температур воздуха расположен над водными поверхностями, где характеристики РКО принимают минимальные значения, т.е. мезомасштабные особенности поля температур влияют на развитие Сб.

Поле осадков служит подтверждением выявленных закономерностей развития Сб. Так, превышение среднего по району значения количества осадков ( $Q = 38,4$  мм/мес) наблюдается над теми участками района, где характеристики РКО превышают фоновые величины. Над этими же участками района отмечается конвергенция приземного ветра. С другой стороны, над участками района, где выявлены дивергенции приземного ветра или зоны более холодного воздуха (водные поверхности), количество выпавших осадков и фоновые значения характеристик РКО меньше средних по району значений.

Среднемесячные количества осадков ( $Q$ ) выше среднего по району значения в тех пунктах, где средняя температура воздуха ( $T$ ) больше фонового по району значения температуры. В то же время поле  $T$ , над сушей довольно пестрое и не достаточно полно отражает особенности пространственного распределения  $Q$  и РКО. Подтверждается вывод [1, 5] о малой информативности поля приземной  $T$  для мезомасштабного анализа условий развития Сб. Мезомасштабные особенности поля ветра в рай-

оне исследования обусловлены влиянием общей циркуляции, на которые также влияют особенности подстилающей поверхности. Над участками района, где воздух более теплый и имеет место мезомасштабная конвергенция приземного ветра, формируются условия для развития конвективной облачности с характеристиками РКО, превышающими их средние по району значения, и наоборот. Это является дополнительным доказательством того, что мезомасштабные процессы у земной поверхности действуют как механизм конвективной неустойчивости (обусловленной, главным образом, макромасштабными процессами, типом воздушной массы) и последующего развития Сб [2, 5]. Пространственное распределение характеристик РКО по району зависит в целом от неоднородного характера и топографических особенностей подстилающей поверхности, которые обуславливают мезомасштабные особенности приземных полей метеоэлементов, оказывающих существенное влияние на развитие Сб. Это следует и из данных (табл. 3), которые показывают, как осредненные значения РКО зависят от макромасштабных условий, характеризующихся высотой нулевой изотермы  $H_0$ . Хорошо видно, что с увеличением  $H_0$  возрастают характеристики РКО.

Таблица 3

**Изменение характеристик поля РКО I группы в зависимости от высоты нулевой изотермы (км)**

Характеристики РКО	$H_0$				
	>3,5	3–3,1	2,5–2,9	2–2,4	<2
<i>n</i>	203	292	287	313	86
<i>S</i>	1440	799	1023	171	247
<i>M</i> , мин.	61,6	26,6	40,6	21,0	14,0
<i>H</i> , км	7,8	6,9	6,9	6,2	6,2
<i>Z</i> , dBz	36	35	35	34	34

Данные табл. 4 показывают зависимость РКО от времени суток. Важно отметить, что максимальное средневзвешенное по всему району значение радиолокационной отражаемости отмечено в 14 ч, максимальное значение  $H$  в 16 ч, а максимальное значение  $S$  в 18 ч.

Таблица 4

**Изменение характеристик поля РКО I группы в зависимости от времени суток**

Характеристика РКО	9.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00
<i>n</i>	21	22	30	30	26	13
<i>S</i>	134	266	389	400	468	203
<i>H</i> , км	6,6	6,9	7,8	8,1	8,0	8,0
<i>Z</i> , dBz	34	35	37	36	36	36

Выявленные особенности распределения радиолокационных характеристик РКО уточняют прогноз опасных явлений над конкретными пунктами района и определяют тенденцию развития как всего поля РКО, так и над конкретными участками обзора. Учет особенностей движения Сб при их развитии и распаде позволит более точно прогнозировать их движение, а учет особенностей движения и продолжительности существования РКО во всем районе и над конкретными участками — время начала и окончания опасных явлений. Учет зависимости характеристик РКО от синоптического положения и времени суток даст более надежные прогнозы развития Сб и связанных с ними опасных явлений погоды.

Работа подготовлена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 10-05-96067\_p\_урал\_a

**Библиографический список**

1. Литвинов И. В. Непреднамеренное влияние крупных городов и промышленных центров на осадки. Метеорология и гидрология. 1982. № 3. С. 111-119.
2. Толмачева Н.И. Дистанционные методы исследования мезометеорологических процессов. Перм. гос. ун-т. Пермь, 2010. 200 с.
3. Толмачева Н.И. Исследование динамики конвективной облачности по радиолокационной информации // Геогр. вест. 2010. №4 (15).



4. Толмачева Н.И., Ермакова Л.Н. Прогноз атмосферных осадков по информации метеорологических спутников // Геогр. вест. 2008. №2 (8).

5. Толмачева Н.И., Ермакова Л.Н. Восстановление метеорологических полей по спутниковым и радиолокационным изображениям облачности // Геогр. вест. 2010. №1 (12).

*N.I.Tolmacheva*

#### **RADAR RESEARCH OF DEVELOPMENT OF OVERCAST OVER THE MEGACITY**

Time changes of radar characteristics of overcast over industrial centers and countryside on territory of the Perm edge are considered. On an example of Perm possibility of use of the information of a radar for studying of features of development of convective clouds is shown. The revealed dependences of convective overcast on synoptic position and time of days will give forecasts of development Cb and the dangerous phenomena of weather connected with them.

**Key words:** a meteorological radar; restoration; cloudy cells; meteorological parameters, convective overcast.