

УДК 551.588.7:551.506.2

## Особенности режима осадков в Московском регионе в 2008–2017 гг.

*Н.Е. Брусова, И.Н. Кузнецова, М.И. Нахаев*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации, г. Москва, Россия  
nbrusova@mecom.ru*

По данным измерений осадков на 11 станциях Московского региона в 2008–2017 гг. выявлены признаки влияния большого города на режим осадков в условиях роста мегаполиса и урбанизации пригорода. Чувствительность к урбанистическому влиянию не заметна в усредненных за большие периоды данных об осадках, однако в месячном усреднении проявляется. Отклик на антропогенное воздействие наиболее ярко проявляется в распределении летних осадков, связанных с конвективными процессами. В последнее десятилетие в Москве количество осадков в зимний период по сравнению с «нормой» уменьшилось, а в летний период – увеличилось. На городских станциях ВДНХ и Немчиновка осадков выпало на 7–10 % больше, чем в центре Москвы (Балчуг) и на ее северо-западной окраине (Тушино). Сильные осадки (более 10 мм/12 ч) на городских станциях выпадают чаще, чем в пригороде и на фоновых станциях. Обнаружен пояс уменьшения осадков вокруг мегаполиса, где с апреля по ноябрь в рассматриваемый период выпадало меньше осадков, чем на фоновых и городских станциях.

*Ключевые слова:* осадки, влияние города на режим осадков, пояс уменьшения осадков вокруг мегаполиса

## Precipitation regime features in the Moscow region in 2008-2017

*N.E. Brusova, I.N. Kuznetsova, M.I. Nahaev*

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia  
nbrusova@mecom.ru*

The signals of the anthropogenic impact on precipitation under conditions of the megacity growth and suburb urbanization are revealed from precipitation measurements at 11 stations of the Moscow region in 2008–2017. The sensitivity to the urban impact is not found for precipitation averaged over the long period but is manifested for monthly mean precipitation. A response to the anthropogenic impact is most noticeable in the distribution of summer precipitation associated with convective processes. The amount of precipitation in Moscow in the recent decade has decreased as compared with the normal in winter and has increased in summer. There was 7–10 % more precipitation at the VDNKh and Nemchinovka urban stations than in the center of Moscow (Balchug) and in its northwestern outskirts (Tushino). Precipitation of more than 10 mm/12hour at the city stations is registered more often than in the suburbs and at the background stations. The zone of precipitation decrease was detected around the megapolis, where the amount of precipitation was smaller than at the background and city stations from April to November during the analyzed period.

*Keywords:* precipitation, urban impact on precipitation, zone of precipitation decrease around the megacity

## Введение

Полного понимания того, как городская среда влияет на осадки, какие механизмы задействованы и какие процессы при этом доминируют, пока нет. Некоторые исследования свидетельствуют об увеличении в большом городе количества осадков по сравнению с фоновыми территориями, а также на его подветренной территории на расстоянии до 50–75 км от центра [12, 14]. В [10] приводятся данные, что среднее количество летних осадков в Москве на 7 % превышает сумму осадков в его окрестностях.

По результатам климатического моделирования [5] оказалось, что «воздействие» города приводит к незначительному увеличению средней суммы летних осадков в регионе (примерно на 1,5 %), однако в 20-километровой зоне от центра города ее значения увеличиваются в среднем на 12 % с локальными максимумами до 30 %. Замечено также, что с ростом города увеличивается частота интенсивных летних ливней [13, 15]. В [11] показано, что загрязненная и задымленная городская атмосфера активизирует процессы конвекции. Другой эффект обсуждается в [16, 17]; авторы показывают, что городские и промышленные аэрозоли могут «подавлять» дождь и снег. Суммируя часто противоречивые сведения разных авторов, отметим, что усиление или подавление осадков в городе, по-видимому, зависит от типа облаков, сезона, индустриальной нагрузки, климатического режима и орографического профиля городской территории.

В исследованиях влияния города Москвы на осадки в регионе замечено, что по сравнению со значениями в начале века годовые суммы осадков к концу XX века возросли примерно на 223 мм (45 %) [9]. Можно предположить, что при существующих темпах урбанизации влияние города на осадки можно идентифицировать даже на сравнительно небольшом периоде. По данным Мосгорстата (<http://moscow.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstats/moscow/ru/statistics/population/>), за последние 10 лет только постоянно проживающее население Москвы увеличилось почти на 2.2 млн человек. Еще быстрее увеличивается степень урбанизации пригородов: на месте малоэтажной сельской застройки возводятся высотные дома, стремительно развивается сеть автодорог. Автомобильный парк Москвы в 2017 г. насчитывал около 5 млн единиц, с каждым годом в городе становится на 8–10 % автомобилей больше (<https://www.kommersant.ru/doc/3274605>).

Целью представленных исследований является определение антропогенного влияния на режим осадков по данным наблюдений на метеостанциях Москвы и Московской области в последние 10 лет.

### Данные и методы исследований

В работе использованы данные стандартных метеорологических измерений количества осадков на 4 метеостанциях в Москве и 7 метеостанциях в Подмосковье в период с января 2008 г. по сентябрь 2017 г. (далее – период 2008–2017 гг.) (табл. 1). Отметим, что количество осадков, выпавших за ночь, измеряется с 18 ч предыдущего дня до 6 ч (время московское) заявленного, количество выпавших осадков за день – с 6 ч до 18 ч (табл. 1).

**Таблица 1.** Количество данных измерений осадков на метеостанциях. 2008–2017 гг.

**Table 1.** The amount of precipitation measurement data at meteorological stations. 2008–2017.

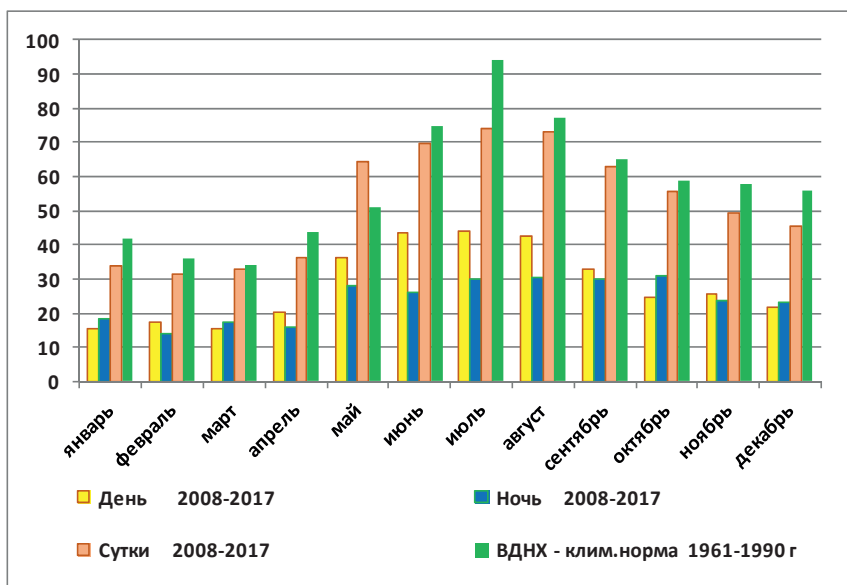
№	Название станции	Ночь	День	Сутки	Полнота ряда, %, от среднего значения
1	Балчуг	3305	3277	3277	99
2	Тушино	3381	3325	3325	100
3	ВДНХ	3321	3288	3288	99
4	Немчиновка	3355	3294	3294	99
5	Шереметьево	2979	2998	2979	90
6	Внуково	3244	3191	3191	96
7	Домодедово	3378	3399	3378	102
8	Дмитров	3446	3390	3390	101
9	Павловский-Посад	3468	3430	3430	103
10	Наро-Фоминск	3262	3207	3207	96
11	Новый-Иерусалим	3291	3225	3225	97

Для корректности анализа данные были синхронизированы – удалены данные в сроки, в которые хотя бы на одной из станций отсутствовали наблюдения. После синхронизации данных длина ряда «день» составила 3487, «ночь» – 3483 значений. Потери синхронизированной базы данных по сравнению с оригинальной составили около 2 %.

Считаем полезным привести пояснения к используемым в тексте терминам. К числу «городских станций» относятся станции в черте города – Балчуг, ВДНХ, Тушино, а также ст. Немчиновка, расположенная на внешней стороне Московской кольцевой дороги (МКАД); «центр» – территория города в пределах бульварного кольца (ст. Балчуг); «ближний пригород» – станции, расположенные в радиусе до 30 км от МКАД (Шереметьево, Внуково, Домодедово); «фоновые» ст. Дмитров, Павловский Посад, Наро-Фоминск, Новый Иерусалим, расположенные в радиусе 50–70 км от МКАД, соответственно, на севере, востоке, юго-западе и западе от Москвы.

## Обсуждение

Для оценки репрезентативности данных исследуемого периода проведено сравнение усредненного по всем станциям количества осадков с используемой для Москвы климатической нормой – количеством осадков на ст. ВДНХ в 1961–1990 гг. Как видно на рис. 1, годовой ход средних за месяц осадков по станциям в период 2008–2017 гг. аналогичен распределению осадков на ВДНХ по многолетним данным: наибольшее количество месячных осадков приходилось на самые теплые месяцы – с мая по сентябрь. Максимальное количество осадков выпадало в июле–августе (70–74 мм), меньше всего выпало осадков с января по апрель. Эти общие закономерности соответствуют описаниям режима осадков в Московском регионе [3, 4, 8].



**Рис. 1.** Усредненное по всем станциям среднемесячное количество осадков (мм) за период 2008–2017 гг. и климатические нормы осадков на ст. ВДНХ.

**Fig. 1.** Monthly precipitation (mm) averaged over all stations for the period 2008–2017 and climatic norms of precipitation at VDNKh station.

Заметим, что хотя обычно наибольшее количество осадков приходится на июль, но в изучаемый период наблюдались и крайне «сухие» июли. Например, в 2010 г. усредненная по региону сумма осадков в июле составила 17 мм, в 2014 г. – всего 14 мм. В рассматриваемом периоде месячный максимум осадков наблюдался в 2013 г. и составил 107 мм.

Подтверждением репрезентативности используемых данных служит и внутрисуточное распределение осадков. В рассматриваемый период с апреля по август преобладали дневные осадки, на ст. ВДНХ сумма

дневных осадков составила 119 % от ночных, а с ноября по март, в отсутствии активной конвекции, разница между ночными и дневными осадками была, как и обычно, несущественной (рис. 1).

### Тенденции годовых и месячных осадков на городских станциях

В связи с ростом размеров и увеличением плотности застройки мегаполиса представляет самостоятельный интерес выявление изменений режима осадков на отдельных городских станциях. Авторы располагали данными многолетних одновременных наблюдений на трех городских станциях – Балчуг, ВДНХ и Немчиновка – только за период 1940–1980 гг. [3]. В табл. 2 показаны многолетние величины средней годовой суммы в период 1940–1980 гг., климатическая норма и средние годовые осадки в изучаемый период 2008–2017 гг. Данные указывают на то, что в последнее десятилетие на ст. Балчуг и ВДНХ существенных изменений в среднегодовом количестве осадков не произошло: в центре Москвы (Балчуг) оно на 3 % меньше, на ВДНХ – на 5 % больше, чем за период 1940–1980 гг. Следует подчеркнуть, что за последнее десятилетие на базовой ст. ВДНХ среднее годовое количество осадков по сравнению с климатической нормой практически не изменилось.

**Таблица 2.** Средняя годовая сумма осадков (мм) на городских ст. Балчуг, ВДНХ и Немчиновка в различные периоды

**Table 2.** The average annual precipitation (mm) at urban st. Baltschug, VDNH and Nemchinovka for the different periods

Период	Балчуг	ВДНХ	Немчиновка
1940-1980	658	672	594
1961-1990 (климатическая норма)		<b>691</b>	
2008-2017	638	706	696

Иные выводы следуют из данных наблюдений на окраинной городской ст. Немчиновка. Здесь среднегодовое количество осадков за последние 10 лет увеличилось по сравнению с периодом 1940–1980 гг. почти на 12 %. Можно предположить, что частично это увеличение обусловлено существенным изменением степени урбанизации в районе расположения ст. Немчиновка. В период 1940–1980 гг. станция находилась на территории поселка сельского типа с малоэтажными домами и приусадебными участками, а в последние годы существенно возросла степень урбанизации района в связи с массовой застройкой многоэтажными зданиями с соответствующим развитием дорожно-транспортной сети.

Вместе с тем следует отметить, что резкое увеличение среднего за период 2008–2017 гг. количества осадков на ст. Немчиновка по

сравнению с другими станциями региона – следствие значительно большего, чем на других станциях количества осадков, зафиксированных в 2012–2013 гг., при том, что в другие годы рассматриваемого периода количество осадков в Немчиновке мало отличалось от осадков на других городских станциях.

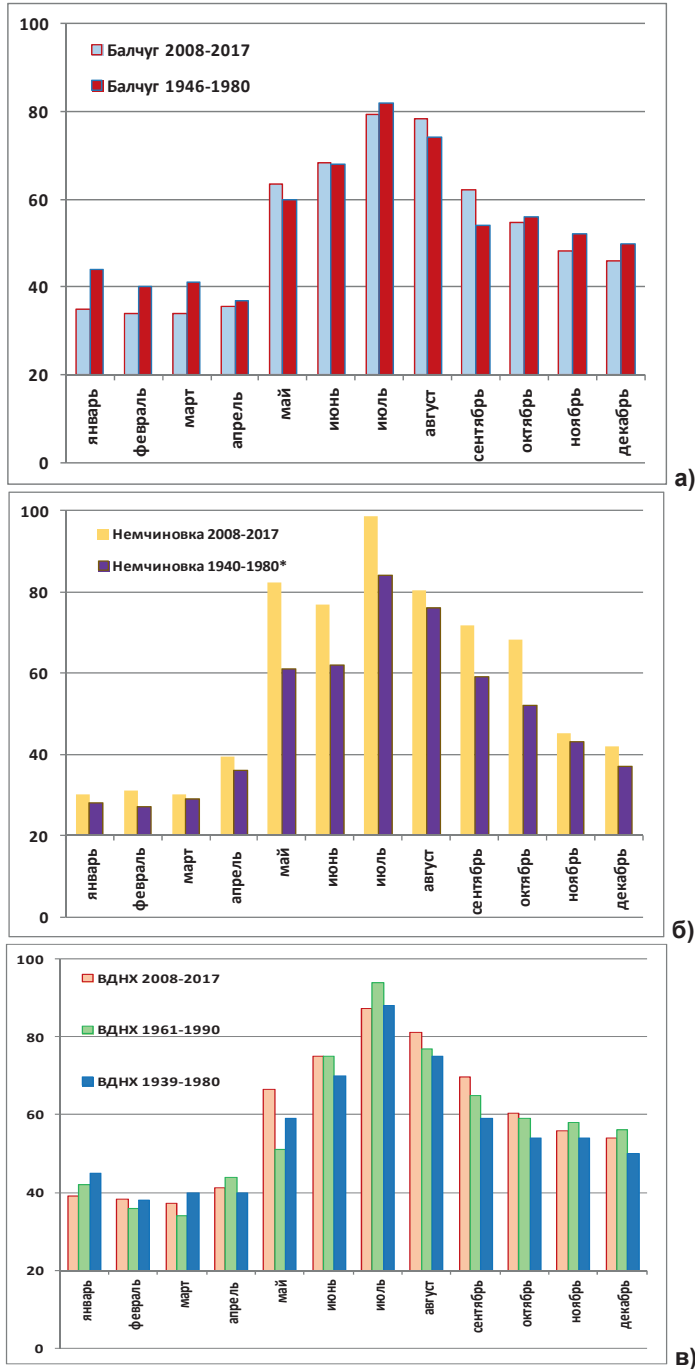
Несмотря на то, что в последние годы, по сравнению с периодом 1940–1980 гг., среднегодовое количество осадков на городских ст. Балчуг и ВДНХ мало изменилось, обнаружилось сезонные особенности тенденций на отдельных станциях. Так, на ст. ВДНХ в теплый период наблюдалось увеличение осадков (в мае на 9 %, в июне на 6 %, с августа по октябрь на 8–17 %), а в холодный период (с января по март), наоборот, количество осадков на 8–14 % уменьшилось (рис. 2а). В центре Москвы (ст. Балчуг) аналогично происходило увеличение в августе-сентябре (на 6–14 %) и уменьшение среднемесячных осадков с октября по апрель (на 3–22 %). Можно заметить, что зимнее уменьшение осадков выражено сильнее на ст. Балчуг (рис. 2а), а увеличение осадков в теплый период – на ст. ВДНХ (рис. 2б).

**Межгодовая изменчивость осадков в регионе.** Учитывая, что циркуляционные особенности отдельных лет и сезонов существенным образом могут повлиять на величины усредненных за период осадков, проведен анализ межгодовой изменчивости осадков в 2008–2017 гг. В этот период меньше всего осадков выпало в 2014 г., а также в 2011 г. (рис. 3). Ранжированный по убыванию ряд наибольшего количества осадков имеет вид: 2013 г., 2012 и 2016 г. Диапазон изменчивости усредненной по 12 станциям годовой суммы осадков ( $Q_{\text{ср.}}$ ) составил 400–860 мм; в самом «влажном» 2013 г. выпало почти в два раза больше осадков, чем в самом «сухом» 2014 г.

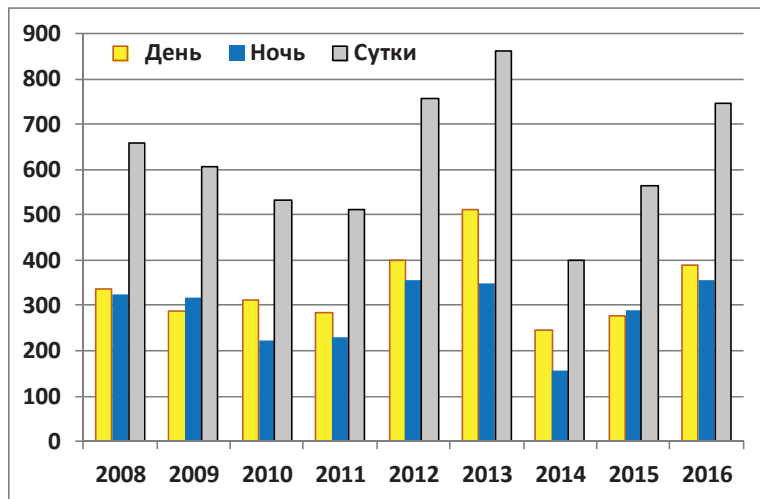
При общей закономерности межгодовых изменений количества осадков, установлены особенности выпадения осадков на станциях в отдельные годы. Для их демонстрации рассчитаны величины локальных отклонений сумм осадков за каждый год  $\Delta Q_{\text{ср.}}(i)$  от  $Q_{\text{ср.}}$ . Оказалось, что самый узкий диапазон  $\Delta Q_{\text{ср.}}(i)$  – на ст. Тушино и ВДНХ ( $\pm 200$  мм, за исключением 2013 г.). Чаще всего (в трех из девяти лет) существенные отклонения сумм осадков от средней по региону ( $\Delta Q_{\text{ср.}}(i) > 200$  мм) наблюдались в ближнем пригороде – на ст. Немчиновка (рис. 4).

В засушливом 2014 г. наименьшее количество осадков выпало на пригородных станциях, а также в центре Москвы (ст. Балчуг), при этом на ст. ВДНХ осадков выпало больше, чем на любых других городских и загородных станциях.

Можно отметить, что режим осадков на городской ст. Тушино в рассматриваемый период оказался похожим на режим осадков на фоновой ст. Дмитров; также практически совпала межгодовая изменчивость суммарных осадков в Наро-Фоминске и Новом Иерусалиме (юго-запад и запад региона).

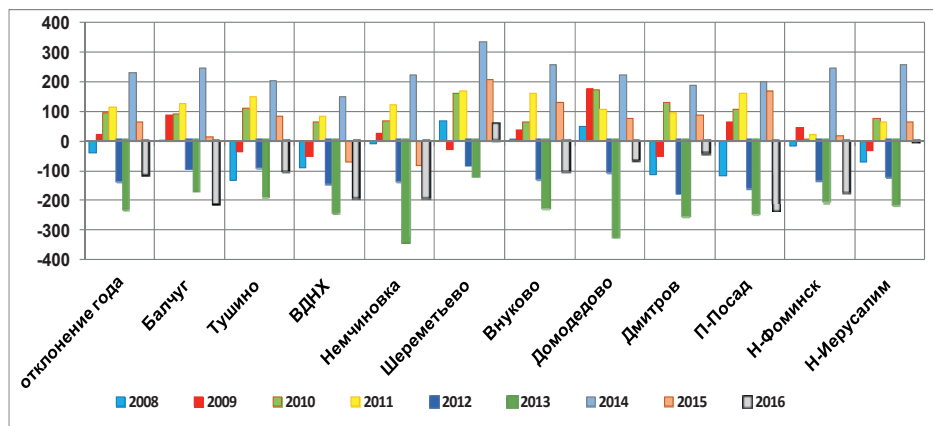


**Рис. 2.** Среднемесячная сумма осадков в периоды 1940–1980 гг., 1961–1990 гг. и 2008–2017 гг. на станциях: Балчуг (а); ВДНХ (б); Немчиновка (в).  
**Fig. 2.** The average monthly precipitation at stations: Baltschug (a); VDNH (б); Nemchinovka (в) for the periods 1940–1980, 1961–1990 and 2008–2017.



**Рис. 3.** Усредненная по станциям годовая сумма осадков ( $Q_{ср.}$ ), мм, 2008–2016 гг.

**Fig. 3.** Station-averaged annual total precipitation ( $Q_{cp}$ ), mm, 2008–2016.



**Рис. 4.** Отклонения  $\Delta Q_{ср.}(i)$ , мм, годовых сумм осадков на станциях от средне-годовой суммы осадков, усредненной по всем станциям. 2008–2016 гг.

**Fig. 4.** The deviations of the annual precipitation at the stations from the average annual precipitation (averaged over all stations). 2008–2016.

На станциях ближнего пригорода (Шереметьево, Внуково и Домодедово) в шести из девяти лет осадков выпадало меньше, чем в среднем по региону; число таких ситуаций на всех других станциях (городских и фоновых) – меньше. Таким образом, есть основание отметить наличие ранее не зафиксированного явления – «пояса уменьшения» осадков вокруг Москвы, т. е. меньшего количества осадков в ближних пригородах мегаполиса по сравнению с городскими и фоновыми станциями.



**Локальные особенности осадков в 2008–2017 гг.** Как подчеркивается в [2, 4, 10] и подтверждено проведенными исследованиями, поле осадков на территории мегаполиса и его окрестностей характеризуется неравномерностью выпадения осадков. Ранжированный ряд суммарных осадков в период январь 2008 г. – август 2017 г. выглядит следующим образом: самое большое количество осадков выпало на ст. ВДНХ (6770 мм) и Немчиновка (6705 мм), меньше всего – на ст. Шереметьево (5372 мм) и Домодедово (5808 мм) (табл. 3).

**Таблица 3.** Сумма осадков на станции  $Q(i)$  в 2008–2017 гг., отклонение  $\Delta Q(i)$  от усредненной по региону суммы осадков  $Q_{cp.}$ , мм

**Table 3.** Total amount of precipitation at the station  $Q(i)$  in 2008–2017, the deviation  $\Delta Q(i)$  from the region average total amount of precipitation  $Q_{cp.}$ , mm

Станция	Q(i)			$\Delta Q(i)$
	День	Ночь	Сутки	
Балчуг	3391	2784	6175	3
Тушино	3404	2787	6191	19
ВДНХ	3683	3087	6770	598
Немчиновка	3670	2927	6597	425
Шереметьево	2969	2403	5372	-800
Внуково	3285	2737	6022	-150
Домодедово	3134	2674	5808	-364
Дмитров	3324	2953	6277	105
Павловский Посад	3302	2896	6198	26
Наро-Фоминск	3460	2851	6311	139
Новый Иерусалим	3379	2795	6174	2

Как видно в табл. 3, наименьшее количество осадков в период 2008–2017 гг. выпало на расстоянии 9–23 км к северо-западу, югу и юго-западу от Москвы, образуя в ближнем пригороде дугообразную зону (ложбину) с меньшим, чем в городе и на фоновых станциях, количеством осадков.

Недостаток информации об осадках на востоке от Москвы частично был восполнен данными недавно открытых автоматизированных станций (АМС). Мы использовали доступные данные наблюдений 2015–2016 гг. на АМС Люберцы (7 км к юго-востоку от Москвы) и АМС Электроугли (23 км к востоку от Москвы). Ряды данных неполные; после синхронизации длина ряда дневных осадков составила 544, ночных 461. Из-за сравнительно коротких рядов наблюдений особенности пространственного распределения осадков изучались в летние месяцы, когда влияние города выражено сильнее всего. Установлено, что наименьшие суммы осадков за шесть летних месяцев 2015–2016 гг. (144–168 мм) зафиксированы

на станциях, расположенных в ближнем пригороде Москвы (табл. 4), больше всего осадков выпало на городских станциях (194–250 мм). На фоновых метеостанциях сумма выпавших осадков (166–184 мм) оказалась в промежуточном диапазоне между городскими и пригородными станциями.

**Таблица 4.** Сумма дневных осадков на станции (Q(i), мм. Лето 2015–2016 гг.  
**Table 4.** Total daily precipitation Q (i), mm. Summer 2015–2016

Станция		Q(i)
Балчуг	городская	<b>235</b>
Тушино	городская	<b>194</b>
ВДНХ	городская	<b>250</b>
Немчиновка	городская	<b>216</b>
Люберцы	ближний пригород	156
Шереметьево	ближний пригород	167
Внуково	ближний пригород	144
Домодедово	ближний пригород	168
Электроугли	ближний пригород	145
Дмитров	фоновая	<b>184</b>
Павловский Посад	фоновая	<b>175</b>
Наро-Фоминск	фоновая	<b>183</b>
Новый Иерусалим	фоновая	<b>166</b>

Выявленные закономерности на данных 2015–2016 гг. служат подтверждением обнаруженных на десятилетнем ряде 2008–2017 гг. закономерностей и позволяют утверждать, что вокруг мегаполиса в летний период образуется пояс меньшего по сравнению с Москвой и дальним Подмосковьем количества осадков. Поскольку описания обнаруженного явления авторам не удалось найти в научных публикациях, его можно признать дискуссионным и нуждающимся в проверке на расширенной выборке самых последних лет – в условиях интенсивного развития мегаполиса.

Одним из факторов образования «пояса уменьшения» осадков вокруг мегаполиса, по-видимому, является проявление механизма компенсационных потоков вокруг термически более неустойчивой (по сравнению с фоновой) городской атмосферы [6, 7]. В этом процессе, очевидно, участвуют тепловые шлейфы, распространяющиеся в подветренные пригороды, способствуя усилению там термической устойчивости. Об усилении в городе конвективных процессов свидетельствует и большее, чем в окрестностях, количество облачности, связанное в большей степени с повышенным содержанием в городском воздухе газовых и аэрозольных примесей [5, 9, 10].

**Сезонные особенности выпадения осадков в регионе.** Известный эффект увеличения осадков в большом городе в летний сезон [7, 9, 14–16] подтвердился средними за месяц суммами осадков в десятилетний период 2008–2017 гг. В табл. 5 видно, что в месяцы с активными конвективными процессами (июль–август) на городских станциях в среднем осадков выпадало на 15–30 % (11–20 мм) больше, чем на станциях ближнего пригорода, и примерно на 10 % больше, чем на фоновых станциях. Одновременно подчеркнем, что с октября по апрель сколько-нибудь значимых различий в осадках, выпадающих в Москве, в пригородах и на фоновых станциях не выявлено, т. е. в холодный период практически не проявляется эффект «пояса уменьшения» осадков в ближнем пригороде. Хотя сделанные нами выводы расходятся с результатами исследований, в которых указывалось на преобладающее увеличение зимних осадков над летними в Москве [2, 7, 9], надо иметь в виду, что в названных исследованиях проводился анализ по наблюдениям осадков в Московском регионе в 1936–2000 гг. (1936–1960, 1969–1983, 1996–2000). Возможно, различия в оценках могут быть связаны с интенсивным развитием мегаполиса в последнее десятилетие и усилением его влияния на атмосферные процессы.

**Таблица 5.** Среднемесячное  $Q_{cp}(i)$  и среднегодовое  $Q_{cp,год}(i)$  количество осадков. 2008–2017 гг.

**Table 5.** Average monthly  $Q_{cp}(i)$  and annual  $Q_{cp,год}(i)$  amount of precipitation. 2008–2017

Станция	$Q_{cp}(i)$												$Q_{cp,год}(i)$
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<b>Москва</b>													
Балчуг	34	33	34	35	60	68	79	78	61	54	48	45	625
Тушино	33	32	31	36	58	67	78	76	58	59	51	44	623
ВДНХ	39	38	37	40	64	75	80	81	69	60	56	53	692
Немчиновка	30	31	30	39	79	77	92	81	71	57	45	42	674
Среднее	34	34	33	37	65	72	<b>82</b>	<b>79</b>	65	58	50	46	<b>655</b>
<b>Ближний пригород</b>													
Шереметьево	<b>23</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	29	61	64	61	67	54	60	42	36	549
Внуково	37	35	38	32	63	62	63	66	63	53	52	51	615
Домодедово	41	32	35	36	51	64	63	73	66	46	42	44	593
Среднее	34	31	33	32	58	63	<b>62</b>	<b>68</b>	61	53	45	44	<b>584</b>
<b>Фоновые станции</b>													
Дмитров	32	27	31	41	73	66	78	75	63	58	50	46	640
Павловский Посад	38	34	35	39	50	63	81	78	66	53	45	49	631
Наро-Фоминск	33	33	34	38	72	77	84	57	62	56	55	45	646
Новый Иерусалим	31	26	28	36	79	82	<b>58</b>	71	61	57	57	43	629
Среднее	34	30	32	38	69	72	<b>75</b>	<b>70</b>	63	56	52	46	<b>637</b>

Идентифицировать явление смещения по потоку усиленных над городом зон осадков при редкой наблюдательной сети по средним за месяц суммам не представляется возможным. Так, на подветренной относительно мегаполиса ст. Павловский Посад в среднем сумма осадков за каждый из месяцев года меньше или почти равна сумме месячных осадков на городской ст. ВДНХ; на севере от Москвы (Дмитров) осадков больше, чем на ВДНХ только в мае; на западе в Новом Иерусалиме – больше в мае и июне; в Наро-Фоминске – в мае – июле.

При стохастичной природе летних осадков теснота связи между осадками на городских станциях в теплый сезон высокая: коэффициент корреляции  $R$  около 0,8, между ст. Балчуг и ВДНХ – почти 0,9; между осадками на пригородных ст. Шереметьево и Внуково – 0,63, а ст. Шереметьево и Домодедово – 0,54. Как видно в табл. 6, корреляционная связь при увеличении расстояния между станциями ослабевает. Наименьший в регионе коэффициент корреляции ( $R = 0,4$ ) оказался между осадками в Новом Иерусалиме и Павловском Посаде. Корреляционные связи осадков на станциях региона отражают в большей мере воздействие на их образование общих синоптических процессов, но, по-видимому, содержат и городскую составляющую, и влияние локальных факторов.

**Таблица 6.** Коэффициент корреляции суточных сумм осадков с мая по сентябрь 2008–2017 гг. (N=3424)

**Table 6.** The correlation coefficient of daily precipitation from May to September 2008–2017 (N = 3424)

Станции	Балчуг	Тушино	ВДНХ	Немчиновка	Шереметьево	Внуково	Домодедово	Дмитров	П-Посад	Н-Фоминск
Тушино	<b>0,78</b>									
ВДНХ	<b>0,87</b>	<b>0,79</b>								
Немчиновка	<b>0,80</b>	<b>0,79</b>	<b>0,79</b>							
Шереметьево	0,66	<b>0,79</b>	0,71	0,67						
Внуково	<b>0,76</b>	0,70	0,73	<b>0,80</b>	0,63					
Домодедово	<b>0,73</b>	0,60	0,68	0,66	0,54	0,68				
Дмитров	0,63	0,68	0,66	0,60	0,63	0,57	0,50			
Павловский Посад	0,65	0,55	0,61	0,56	0,46	0,55	0,65	0,48		
Наро-Фоминск	0,61	0,60	0,64	0,72	0,57	0,71	0,59	0,52	0,48	
Новый Иерусалим	0,58	0,63	0,59	0,62	0,62	0,66	0,54	0,58	0,40	0,66

В завершение отметим особенности распределения значительных осадков (больше 10 мм/12ч). По данным наблюдений в 2008–2017 гг.,

осадки >10 мм чаще всего фиксировались на ст. Немчиновка (132 случая), реже, чем на других станциях региона, – в Шереметьево (96). Осадки >20 мм чаще, чем на всех других станциях (38 случаев), в последние 10 лет выпадали на ст. Немчиновка; на остальных городских станциях зафиксировано 20–26 случаев. На фоновых станциях число случаев с осадками >20 мм в период 2008–2017 гг. составило 21–30 (рис. 6а).

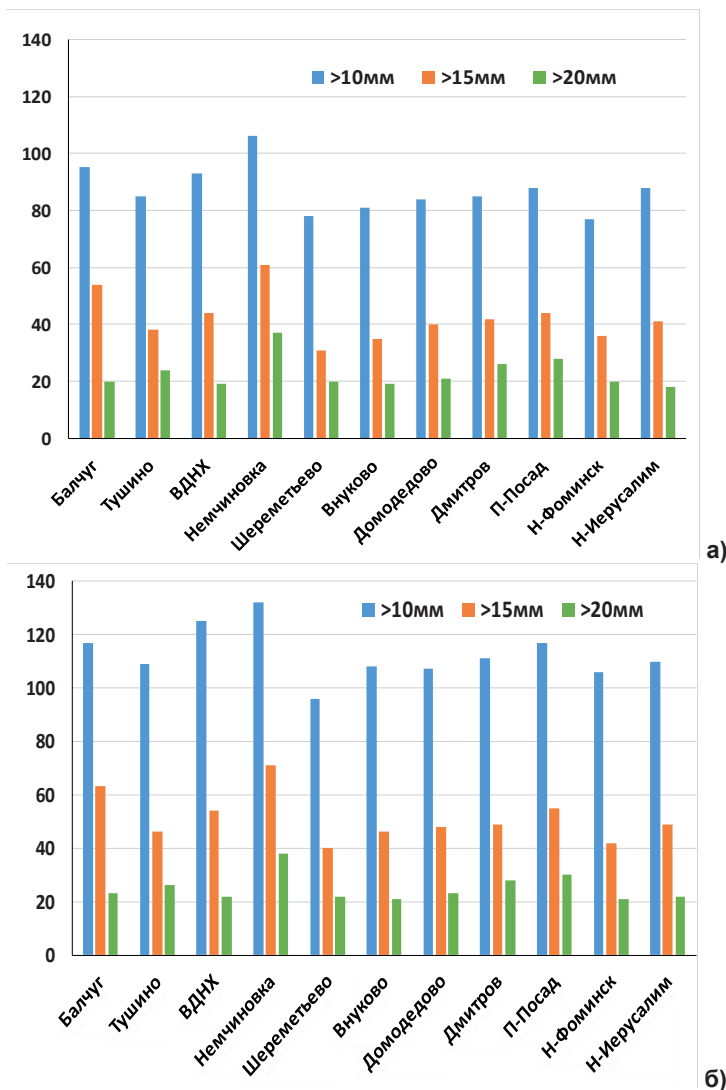


Рис. 6. Количество случаев с осадками больше 10, 15 и 20 мм/12ч май – сентябрь 2008–2017 гг. (а); все месяцы 2008–2017 гг. (б).

Fig.6. The number of cases with precipitation of more than 10, 15 and 20 mm/12h May-September 2008-2017 (a); all months, 2008-2017 (б).

В сезонном распределении случаев с осадками более 10 мм/12ч почти 2/3 случаев приходится на период активной конвекции (май – сентябрь). И именно в этот период на городских ст. Немчиновка и ВДНХ число случаев осадков >10 мм на 15–20 % было больше, чем на большинстве фоновых станций, и на 20–25 % больше, чем на станциях ближнего пригорода. Как видно на рис. 6а, ливневые осадки >20 мм на городских станциях выпадали немного чаще, чем на фоновых станциях и в пригородах. Разница между ст. Немчиновка с наибольшей частотой осадков >20 мм и ст. Шереметьево и Внуково с наименьшей частотой ливневых осадков составила 16–17 случаев.

Зимой в последние 10 лет осадки >20 мм наблюдались только на двух станциях региона – в центре Москвы (ст. Балчуг) и в Павловском Посаде – по 21 мм/12ч. На ст. Новый Иерусалим, Наро-Фоминск и Шереметьево осадков больше 15 мм/12ч не выпадало. На других станциях зимние осадки более 15 мм за последние 10 лет зафиксированы по 1–2 раза, на ст. Немчиновка – 3 раза.

### Заключение

Анализ данных наблюдений за осадками на станциях Москвы и ближних окрестностей в период 2008–2017 гг., их сравнение с данными наблюдений на фоновых, удаленных на 50–70 км от города станциях, позволяет сделать заключение о значительном влиянии большого города на выпадение и изменение режима осадков в условиях роста размеров и населения мегаполиса, увеличения степени урбанизации ближних пригородов. Подтверждением этому служат основные результаты проведенных исследований.

1. В последнее десятилетие в Москве количество осадков в зимний период по сравнению со средним многолетним количеством в период 1960–1991 гг. (ст. ВДНХ) уменьшилось, а в летний период – увеличилось.

2. Наибольшее за рассматриваемый период количество осадков зафиксировано на городских ст. ВДНХ и Немчиновка. Примерно на 7–10 % меньше осадков выпало в центре Москвы (ст. Балчуг) и на ее северо-западной окраине (ст. Тушино), а также на всех фоновых станциях. Меньше всего осадков зафиксировано во Внуково и Домодедово, а также на ст. Шереметьево, где осадков было меньше, чем на ВДНХ почти на 15–20 %

3. Чувствительность к урбанистическому влиянию слабо прослеживается на усредненных за длительные периоды данных, но обнаруживается уже в средних за месяц суммах осадков. Отклик на антропогенное воздействие наиболее ярко проявляется в распределении летних дневных осадков, связанных с конвективными процессами.

4. Значительные осадки (более 10 мм) на городских станциях выпадают чаще, чем в пригороде и на фоновых станциях, как в теплый сезон, так и зимой.

5. Вокруг мегаполиса на расстоянии 7–20 км обнаружен пояс «уменьшения осадков» (ст. Шереметьево, Внуково, Домодедово, Люберцы и Электроугли), где осадков с апреля по ноябрь в рассматриваемый десятилетний период выпадало меньше, чем на фоновых и городских станциях.

### Список литературы

1. Балдина Е.А., Константинов П.И., Грищенко М.Ю., Варенцов М.И. Исследование городских островов тепла с помощью данных дистанционного зондирования в инфракрасном тепловом диапазоне // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. Специальный выпуск. 2015. С. 38-42.
2. Григорова Е.С. О мезоклимате московского мегаполиса // Метеорология и гидрология. 2004. № 10. С. 36-45.
3. Кадыгров Е. Н., Ганьшин Е. В., Миллер Е. А., Точилкина Т. А. Наземные микроволновые температурные профиломеры: потенциал и реальность // Оптика атмосферы и океана. 2015. Т. 28, № 6. С. 521-528.
4. Климат, погода, экология Москвы. СПб.: Гидрометиздат, 1995. 427 с.
5. Климат Москвы в условиях глобального потепления // Под ред. А.В. Кислова. М.: И-во МГУ, 2017. 288 с.
6. Кузнецова И.Н., Бруслова Н.Е., Демин В.И. Городской остров тепла в Москве: определение, границы, изменчивость // Метеорология и гидрология. 2017. № 5. С. 49- 61.
7. Локощенко М. А., Корнева И. А., Кочин А. В. и др. О высотной протяженности городского острова тепла над Москвой // Доклады РАН. 2016. Т. 466, № 2. С. 213-217.
8. Матвеев Л.Т., Вершель Е.А., Матвеев Ю.Л. Влияние антропогенных факторов на климат городов // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2011. № 17. С. 41-50.
9. Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы. М.: И-во МГУ, 2003. 308 с.
10. Стулов Е.А. Влияние города Москвы на усиление летних осадков // Метеорология и гидрология. № 11. 1993. С. 43-51.
11. Andreae M.O., Rosenfeld D., Artaxo P., Costa A. A., Frank G. P., Longo K., Silva-Dias M. A. F. Smoking rain clouds over the Amazon // Science. 2004. Vol. 303. P. 1337-1341.
12. Balling R., Brazel S. Recent changes in Phoenix summertime diurnal precipitation patterns // Theoretical and Applied Climatology. 1987. Vol. 38, is. 1. P. 50-54.
13. Bornstein R., LeRoy M. Urban barrier effects on convective and frontal thunderstorms // Bull. Am. Meteorol. Soc. 1999. Vol. 7. P. 1391-1413.
14. Changnon S. A., Westcott N. E. Heavy rainstorms in Chicago: Increasing frequency, altered impacts, and future implications // J. Am. Water Res. Assoc. 2002. Vol. 38. P. 1467-1475.
15. Rosenfeld D. Suppression of rain and snow by urban air pollution // Science. 2000. Vol. 287, is. 5459. P. 1793-1796.
16. Rosenfeld D. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall // Geophys. Res. 1999. Lett. 26. P. 3105-3108.
17. Rosenfeld D. Suppression of rain and snow by urban air pollution // Science. 2000. Vol. 287, is. 5459. P. 1793-1796.

### References

1. Baldina E.A., Konstantinov P.I., Grischenko M.Yu., Varentsov M.I. Urban heat islands study using thermal infrared remote sensing data. *Zemlya iz kosmosa [Earth from Space]*. Special issue, 2015, pp. 71-74. [in Russ.].
2. Grigorova E. S. Mesoscale Climate of the Megacity of Moscow. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2004, no. 10, pp. 27–35.

3. Kadygrov E. N., Ganshin E. V., Miller E. A., Tochilkina T. A. Ground-Based Microwave Temperature Profilers: Potential and Experimental Data. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2015, vol. 28, no. 6, pp. 598-605, DOI: 10.1134/S102485601506007X.
4. Klimat, pogoda, ekologiya Moskvyy. Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat publ., 1995, p. 427. [in Russ.].
5. Klimat Moskvyy v usloviyakh global'nogo potepeniya. MGU Publ., 2017, p. 288. [in Russ.].
6. Kuznetsova I. N., Brusova N. E., Hakhaev M. I. Moscow Urban Heat Island: Detection, Boundaries, and Variability. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2017, vol. 42, no. 5, pp. 305-313, doi: 10.3103/S1068373917050053.
7. Lokoshchenko M.A., Korneva I.A., Kochin A.V., Dubovetsky A.Z., Novitsky M.A., Razin P.Y. Vertical extension of the urban heat island above Moscow. *Doklady Earth Sciences*, 2016, vol. 466, no. 1, pp. 70-74, DOI: 10.7868/S0869565216020213.
8. Matveev L.T., Vershel E.A., Matveev U.L.. The influence of anthropogenic factors on the climate in cities and towns. [*Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University*], 2011, no. 17, pp. 41-50. [in Russ.].
9. Spravochnik ekologo-klimaticheskikh kharakteristik goroda Moskvyy. Moscow, MGU Publ., 2003, p. 308. [in Russ.].
10. Stulov E. A. Urban effects on summer precipitation in Moscow. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 1993, no. 11, pp. 34-41.
11. Andreae M.O., Rosenfeld D., Artaxo P., Costa A. A., Frank G. P., Longo K., Silva-Dias M. A. F. Smoking rain clouds over the Amazon. *Science*, 2004, vol. 303, pp. 1337-1341.
12. Balling R., Brazel S. Recent changes in Phoenix summertime diurnal precipitation patterns. *Theoretical and Applied Climatology*, 1987, vol. 38, no. 1, pp. 50-54.
13. Bornstein R., LeRoy M. Urban barrier effects on convective and frontal thunderstorms. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 1999, vol. 7, pp. 1391-1413.
14. Changnon S. A., Westcott N. E. Heavy rainstorms in Chicago: Increasing frequency, altered impacts, and future implications. *J. Am. Water Res. Assoc.*, 2002, vol. 38, pp. 1467-1475.
15. Rosenfeld D. Suppression of rain and snow by urban air pollution. *Science*, 2000, vol. 287, no. 5459, pp. 1793-1796.
16. Rosenfeld D. TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, 1999, vol. 26, no. 20, pp. 3105-3108.
17. Rosenfeld D. Suppression of rain and snow by urban air pollution. *Science*, 2000, vol. 287, no. 5459, pp. 1793-1796.

Поступила в редакцию 19.12.2018 г.

Received by the editor 19.12.2018.