

КЛИМАТ МОСКВЫ И ЕГО СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

М. А. Локощенко^{1,2)}

¹⁾*Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
г. Москва, Российская Федерация, e-mail: loko@geogr.msu.ru*

²⁾*Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН,
г. Москва, Российская Федерация*

Дана общая характеристика климата Москвы и его положения в различных климатических классификациях. Обсуждаются основные особенности изменений температуры воздуха T и количества атмосферных осадков в Москве по данным всех известных источников инструментальных наблюдений за последние 243 года. Большая часть XX века была отмечена в Москве устойчивым ростом T и осадков. В последние несколько десятилетий рост температуры воздуха здесь немного замедлился, а увеличение количества осадков сменилось стабилизацией их значений. Парциальное давление (упругость) водяного пара остаётся стабильным, тогда как относительная влажность за последние полтора столетия существенно уменьшилась вследствие роста температуры.

Ключевые слова: изменения климата; климатические классификации; температура воздуха; количество осадков; атмосферная влажность; климатические нормы.

CLIMATE OF MOSCOW AND ITS MODERN CHANGES

Mikhail A. Lokoshchenko^{1,2)}

¹⁾*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow,
Russian Federation, e-mail: loko@geogr.msu.ru*

²⁾*Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Moscow, Russian Federation*

A general description of Moscow climate and its position in different climatic classifications has been given. The main features of changes in the air temperature T and the amount of precipitation in Moscow have been discussed according to data from all known sources of instrumental observations over the past 243 years. The most part of the 20th century in Moscow was marked by a steady increase in both air temperature, and precipitation. Over the past few decades, the increase in air temperature here has slowed down slightly, and the increase in precipitation was followed by stabilization of its values. The water vapor partial pressure remains stable, while relative humidity has decreased significantly over the past and a half century due to increase of the air temperature.

Keywords: climate change; climatic classifications; air temperature; amount of precipitation; atmospheric humidity; climatic norms.

1. Общая характеристика климата Москвы

Климат Москвы в классической классификации климатов В.П.Кёппена относится к бореальным климатам Df, т.е. холодным климатам с влажной зимой; в более поздних её версиях – к холодным климатам с равномерным увлажнением. В классификации Б.П.Алисова климат Москвы – умеренно-континентальный, что означает преобладание полярных воздушных масс во все сезоны года. По Л.С.Бергу климат Москвы находится в поясе лесов средних широт. В соответствии с геоморфологической классификацией климатов А.Пенка, Москва относится к гумидному климату, важнейшей чертой которого служит преобладание осадков над их возможным испарением. Наконец, согласно Э. де Мартонну, Москва находится в поясе «сибирского» климата, но недалеко от его границы с «украинским» типом. Подробный обзор классификаций климатов приведён в [1].

Положение Москвы в первых четырёх классификациях устойчиво. Потепление климата в средних широтах сильнее всего проявляется в холодный период, однако даже новейшая климатическая норма температуры воздуха T в январе для Москвы за период 1991-2020 гг. ($-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) чрезвычайно далека от предела, установленного В.П.Кёппеном для южной границы пояса D: изотермы $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ самого холодного месяца. В классификации Б.П.Алисова Москва, видимо, и в дальнейшем останется в умеренном поясе, поскольку изменения климата проявляются не столько в изменении атмосферной циркуляции и смещении климатических атмосферных фронтов, сколько в постепенном повышении фоновых значений T в очагах формирования разных типов воздушных масс – прежде всего, арктического и полярного воздуха. Классификация Л.С.Берга связывает климат с ландшафтно-географическими зонами, изменениям которых присуща большая инерция во времени. Таким образом, происходящее быстрое потепление климата едва ли изменит в обозримом будущем положение Москвы в основных климатических классификациях, за исключением схемы де Мартонна.

Будем рассматривать Москву в её традиционных границах до 2012 г. с площадью 1081 км^2 , поскольку так называемая «Новая Москва» (обширные территории к юго-западу, формально включённые в состав столицы) до сих пор остаются по сути сельской местностью с низкой плотностью населения.

2. Изменения температуры воздуха в Москве

Регулярные метеорологические наблюдения были начаты в Москве с основанием здесь одной из станций Мангеймского Палатинского Метеорологического общества в октябре 1779 г. Таким образом, без учёта небольших перерывов в конце XVIII и начале XIX веков, здесь накоплены ряды

данных о температуре воздуха за последние 243 года. Вплоть до 1879 г. измерения проводились в Первопрестольной лишь на одной станции, находившейся в разных местах (рис.1), однако сравнение среднегодовых значений $T_{\text{ср.}}$ по данным Межевого института и Обсерватории им. Михельсона за 1879-1931 гг., а также Обсерватории им. Михельсона и Метеорологической обсерватории МГУ за 1954-1965 гг. показывает исключительно тесные связи с коэффициентом корреляции 0,99 и коэффициентом линейной регрессии, близким к 1. Действительно, равнинное положение и отсутствие крупных водоёмов определяют близость условий в разных местах городской периферии и позволяют считать сводный ряд данных о $T_{\text{ср.}}$ приблизительно однородным. Заметим, что за последние 143 года он отражает условия дальней и средней городской периферии (в 1880-х и 1890-х гг. – ближнего пригорода). Заметим, что ныне наиболее плотно застроенный центр Москвы по данным ст. Балчуг теплее на 2 °С, а Москва в целом в среднем теплее на 1 °С фоновой сельской местности Подмосковья [5].



Рис. 1. Москва в традиционных границах до 2012 г.
1 – возможное нахождение Мангеймской станции в заштрихованной области; 2 – Императорский Московский университет; 3 – широта станции И. Ланге; 4 – Астрономическая обсерватория на Пресне; 5 – Межевой институт; 6 – Обсерватория им. Михельсона; 7 – Метеорологическая обсерватория МГУ.

Рассмотрим многолетние и вековые изменения T в Москве. Как видно на рис. 2, коэффициент линейной регрессии, т.е. величина линейного тренда, составляет $\sim 0,01$ °С/год, что означает рост температуры воздуха приблизительно на 1 градус за столетие.

Параболический тренд отражает основное изменение: начало устойчивого роста T во второй половине XIX века. Кубический тренд, имеющий дополнительную степень свободы, демонстрирует два основных изменения в вековом ходе: смену потепления в конце XVIII века (в конце малого ледникового периода) небольшим похолоданием в начале XIX века и начало последующего потепления.

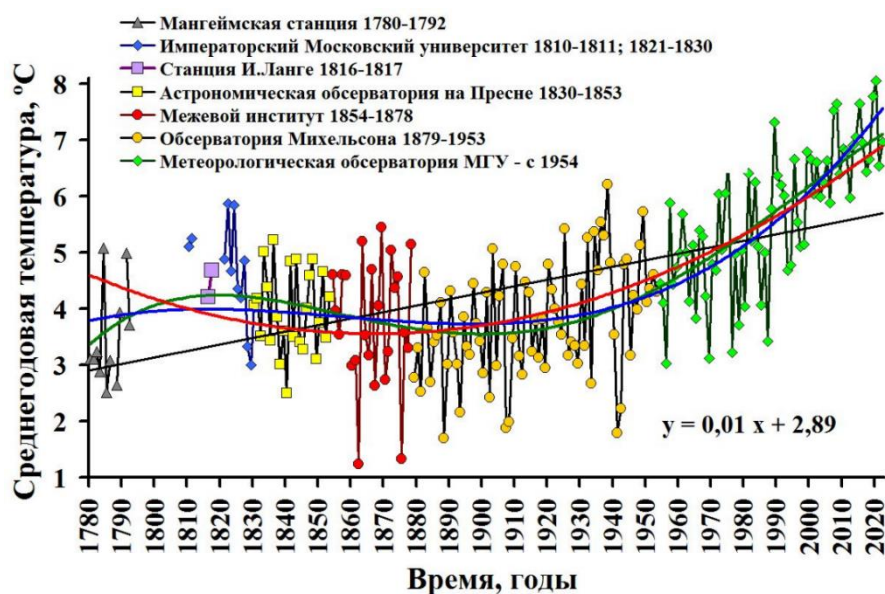


Рис. 2. Вековой ход среднегодовой температуры воздуха в Москве за всё время инструментальных измерений 1780–2022 гг.

Чёрная линия – линейный тренд; красная линия – параболический тренд; синяя линия – кубический тренд; зелёная линия – степенной тренд 4-й степени. Приведено уравнение линейного тренда.

Заметим, что первое изменение тенденции в начале ряда менее надёжно из-за имеющихся пропусков в данных. Наконец, степенной тренд 4-й степени отражает третье по значению изменение в общей тенденции: небольшое замедление потепления в последние десятилетия (этот тренд направлен выпуклостью вверх). Среднегодовая температура воздуха в Москве по данным Метеорологической обсерватории (МО) МГУ согласно исторической климатической норме за период 1961–1990 гг., которая продолжает и поныне использоваться климатологами, составляла 5,0 °С, а в соответствии с новейшей нормой за период 1991–2020 гг. возросла до 6,4 °С. Заметим, что амплитуда отмеченных значений T в Москве за всю историю наблюдений достигает 80 °С: от -42,1 °С (17 января 1940 г. по данным ст. ТСХА, ныне Обсерватории им. Михельсона [4]) до +38,2 °С (29 июля 2010 г. по данным ст. ВДНХ). Самым холодным годом в Москве в эпоху инструментальных наблюдений явился 1862 год со среднегодовой температурой $T_{\text{ср.}} = 1,2$ °С, самым тёплым – 2020 год с $T_{\text{ср.}} = 8,1$ °С.

3. Изменения количества осадков в Москве

На Мангеймской станции в XVIII веке количество осадков не измерялось. Эти измерения были начаты позднее в Московском университете – в 1820 г., но только в 1822 году они были впервые проведены в течение всего года [3]. К сожалению, результаты измерений осадков в Астрономической

обсерватории в районе Пресни, если и были, остаются неизвестными, поэтому лишь с 1854 г. имеется полный ряд данных о годовом количестве осадков в Москве, кроме только 1859 года. Заметим, что связи данных разных станций о количестве осадков менее тесные по сравнению с температурой воздуха вследствие значительной пространственной неоднородности летних конвективных дождей. Коэффициент корреляции данных Межевого института и Обсерватории им. Михельсона о количестве осадков за период 1879-1892 гг. составил лишь 0,73 [2]. Не вполне ясно также, использовал ли И.А.Двигубский в своём дождемере в 1820-е гг. воронку-диафрагму – то есть, не занижены ли значения на заре наблюдений этого показателя? Тем не менее, рассмотрим на рис.3 сводный ряд данных о годовом количестве осадков в Москве, несмотря на его неполную однородность (данные полностью сравнимы, начиная с 1954 года – зелёные ромбы на рисунке). Линейный тренд показывает наиболее общую тенденцию к росту осадков, но достоверность этого тренда невелика. Параболический тренд отражает главный перелом в направлении изменений: начало устойчивого роста количества осадков на рубеже XIX и XX веков. Кубический тренд, почти совпадающий с не приведённым на рисунке степенным трендом 4-й степени, показывает замедление этого роста в последние десятилетия.

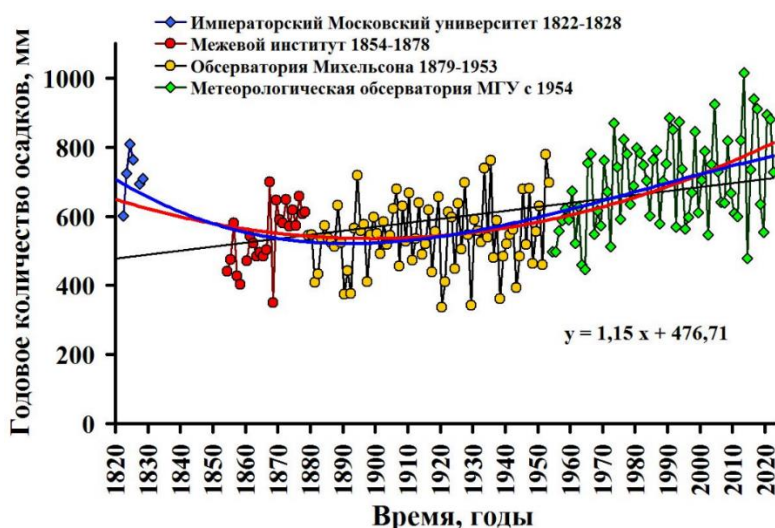


Рис. 3. Вековой ход годового количества осадков в Москве за всё время инструментальных измерений 1822–2022 гг.

Чёрная линия – линейный тренд; красная линия – параболический тренд; синяя линия – кубический тренд. Приведено уравнение линейного тренда.

Как видно, действительно, последние 50 лет отмечены общей стабилизацией значений количества осадков в российской столице, несмотря на продолжающееся потепление климата. Климатическая норма количества осадков за год за период 1961-1990 гг. составляла в Москве по данным МО

МГУ 683 мм, новейшая норма этого показателя за период 1991-2020 гг. изменилась незначительно: 714 мм. Самым дождливым в Москве выдался 2013 год (1016 мм по данным МО МГУ), самым сухим – 1920 год (336 мм по данным Обсерватории им. Михельсона).

4. Изменения характеристик атмосферной влажности в Москве

Надёжные измерения упругости водяного пара и относительной влажности были начаты значительно позднее прочих видов метеорологических наблюдений – лишь во второй половине XIX века. Начиная с 1870 г., по данным Межевого Института, Обсерватории им. Михельсона и Метеорологической обсерватории МГУ, среднегодовые значения парциального давления (упругости) водяного пара остаются стабильными и составляют в среднем за весь период наблюдений ~7,8 гПа. Коэффициент линейной регрессии составляет для этого параметра за 153 года (с 1870 по 2022 гг.) лишь 0,002 гПа/год. Таким образом, долговременные изменения этого показателя очевидно незначимы. Напротив, среднегодовые значения относительной влажности показывают довольно быстрое её уменьшение в Москве с коэффициентом линейной регрессии -0,06 %/год за те же 153 года. В результате, относительная влажность в среднем уменьшилась с 81 % в 1870-е гг. до 72 % в последние годы. Очевидной причиной этого уменьшения при стабильном влагосодержании является устойчивый рост температуры воздуха вследствие как общего потепления регионального климата, так и усиления городского «острова тепла» Москвы за последние полтора столетия [5].

Выводы

1. Положение Москвы в большинстве климатических классификаций остаётся неизменным, несмотря на быстрое потепление климата.
2. Устойчивый рост температуры воздуха в Москве с конца XIX века отмечен небольшим замедлением в последние десятилетия.
3. Рост годового количества осадков, отмечавшийся в середине XX века, сменился приблизительной стабилизацией значений в последние 50 лет.
4. Парциальное давление водяного пара в Москве остаётся стабильным, несмотря на изменения климата; его увеличение со временем крайне мало и незначительно. Напротив, относительная влажность быстро и устойчиво уменьшается, что отражает рост температуры воздуха.

Работа выполнена при частичной поддержке РНФ, проекты № 21-17-00210 (в части анализа данных о количестве осадков) и № 23-27-00279 (в части анализа остальных метеорологических величин).

Библиографические ссылки

1. Алисов Б.П. и др. Курс климатологии. Под ред. Рубинштейн Е.С. Л.-М.: Гидрометеиздат; 1940. 436 с.

2. Локощенко М.А., Исаев А.А. О вековых изменениях годового количества осадков в г. Москве. М.: Вестник МГУ – Серия 5 География. 2004. № 5. С. 42-46.
3. Спасский М.Ф., Страхов П.И. Избранные работы по физике атмосферы. М.-Л.: Гостехиздат; 1951. 342 с.
4. Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы (по наблюдениям Метеорологической обсерватории МГУ). Под ред. Исаева А.А. Том 1. М.: Изд-во Московского университета; 2003. 307 с.
5. Lokoshchenko M.A. Urban heat island and urban dry island in Moscow and their centennial changes. Journal of Applied Meteorology and Climatology. 2017. Vol.56. No.10. P.2729–2745.