



## Оценка изменения температуры воздуха на территории Московского региона

**Н.В. Муращенко**

Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева,  
Москва, 127550, Россия

E-mail: [splain75@mail.ru](mailto:splain75@mail.ru)

**Аннотация.** Рассматривается многолетняя динамика среднегодовой и сезонной температуры воздуха на территории Московского региона. Анализ изменения многолетней среднегодовой, сезонной, а также максимальной и минимальной температуры воздуха выполнен на основе метода оценки линейного тренда с применением статистических критериев. Для оценки значимости линейных трендов годовой и сезонной температуры воздуха использован критерий «отношение тренда к шуму», вычисленный по методике В.Е. Чуба. Кроме того, использовались статистические критерии - критерий Спирмена и коэффициент корреляции, учитывающий связь между значениями временного ряда рассматриваемой метеорологической характеристики и порядковыми номерами членов ряда. Установлено, что наибольшее значение годовой температуры воздуха, равное 5,46 °С, приходится на территорию города Москвы, где создается свой особенный микроклимат, а наименьшее значение среднегодовой годовой температуры воздуха отмечается на метеостанции (м/с) Можайска и составляет 4,61 °С. При анализе тенденции скорости повышения годовой температуры воздуха получены следующие результаты. Увеличение среднееголетнего значения годовой температуры воздуха за период для г. Москвы составляет 2,61 °С/74 года, для юго-восточной части Московского региона (м/с Коломна) равен 2,26 °С/97 лет и для западной части региона (м/с Можайск) составляет 2,36/90 лет. Проверка значимости линейных трендов, оцениваемых различными методами и статистическими критериями показала, что в динамике среднегодовой, сезонной и максимальной и минимальной температуры воздуха на территории Московского региона отмечается наличие положительного статистически значимого линейного тренда.

**Ключевые слова:** изменение климата, температура воздуха, линейный тренд, коэффициент корреляции, временной ряд.

## Assessment of air temperature changes in the Moscow region

**N.V. Muraschenkova**

Russian state agrarian university RGAU-MSHA named after C.A. Timiryazev, Moscow,  
127550, Russia

\*E-mail: [splain75@mail.ru](mailto:splain75@mail.ru)

**Abstract.** The long-term dynamics of the average annual and seasonal air temperature on the territory of the Moscow region is considered. To assess the significance of linear trends in annual and seasonal air temperature, the criterion “trend-to-noise ratio” was used, calculated according to the method of V.E. Chuba. In addition, statistical criteria were used the Spearman criterion and the correlation coefficient. It has been established that the highest value of annual air temperature, falls on the territory of the city of Moscow, where its own special microclimate is created, and the lowest value of the average annual air temperature is observed at the weather station Mozhaisk. When analyzing the trend in the rate of increase in annual air temperature, the following results were obtained. The increase in the average annual air temperature over the period for Moscow is 2,61 °C/74 years, for the southeastern part of the Moscow region (Kolomna) is 2,26 °C/97 years and for the western part of the region from Mozhaisk is 2,36/90 years. Checking the significance of linear trends showed that in the dynamics of the average annual, seasonal and maximum and minimum air temperatures in the Moscow region, there is a positive statistically significant linear trend.

**Keywords:** climate change, air temperature, linear trend, correlation coefficient, time series.

## 1. Введение

В настоящее время при исследовании закономерностей гидрометеорологических процессов необходимо оценить изменение температурного режима изучаемых территорий в современных климатических условиях. В последние десятилетия происходящие изменения глобального климата могут привести к изменениям сложившегося баланса системы климат - водные ресурсы, нарушая и изменяя водный режим водных объектов. Подобного рода гидрометеорологические исследования представлены многочисленными авторами [2,3,4,5,6,7], оценивающие многолетние колебания метеорологических характеристик и их влияние на пространственно-временные изменения поверхностных водных ресурсов речных бассейнов. На сегодняшний день имеются достаточно длительные временные ряды метеорологических и гидрологических характеристик, которые позволяют достаточно точно оценить многолетнюю динамику и установить их взаимосвязь [8,9,10,11].

## 2. Постановка задачи (Цель исследования)

Основной целью исследования настоящей работы является анализ и оценка пространственно-временной изменчивости температуры воздуха на территории Московского региона. Выявление закономерностей многолетних колебаний среднемесячной, сезонной и годовой температуры воздуха, а также максимальной и минимальной температуры воздуха необходимо для выявления тенденции температурного режима крупного города - мегаполиса, в котором наблюдается свой микроклимат.

## 3. Методы и материалы исследования

Территория Московского региона – Московской области и Москвы 47 тыс. км<sup>2</sup> (0,27% территории России). На этой территории проживает 15 млн. человек – 10,6% населения России [1]. Представляет собой крупнейший административно-территориальный комплекс с мощным высокоразвитым многоотраслевым промышленным, научно-техническим и сельскохозяйственным потенциалом.

Климат Московского региона – умеренно-континентальный, характеризующийся большой изменчивостью погодных условий от года к году. Господствующей воздушной

массой является воздух умеренных широт, поступающий с Атлантического океана, но в течение года на территорию региона проникает арктический воздух с севера и северо-востока и тропический – с юга Европы.

Для исследования многолетней динамики температурного режима на территории Московского региона были сформированы временные ряды среднемесячной, сезонной и среднегодовой температуры воздуха, а также максимальной и минимальной температуры воздуха по данным наблюдений на трех метеостанциях региона - Москва, ВДНХ, Можайск и Коломна. Данные наблюдений на трех метеостанциях характеризуют температурный режим в центральной части города, на западе и юго-востоке региона.

Для анализа многолетней динамики температуры воздуха применялись методы статистического анализа временных рядов метеорологических данных наблюдений.

Для оценки значимости линейных трендов годовой и сезонной температуры воздуха использован критерий «отношение тренда к шуму», по методике В.Е. Чуба [12]. Критерий вычисляется как отношение трендового приращения ( $\Delta Tr$ ) к стандартному отклонению ( $\sigma$ ):

$$\Delta Tr / \sigma = (Tr(t_n) - Tr(t_1)) / \sigma \quad (1)$$

где  $Tr(t_n)$  и  $Tr(t_1)$  - величины линейных трендов, вычисленные по уравнению линейной регрессии в моменты времени  $t_n$  и  $t_1$ .

Критерий, вычисленный по уравнению (1) показывает величину изменений температуры воздуха и позволяет сравнивать происходящие изменения по территории и разных сезонах года.

В настоящей работе использовались статистические критерии - критерий Спирмена и коэффициент корреляции, учитывающий связь между значениями временного ряда рассматриваемой метеорологической характеристики и порядковыми номерами членов ряда.

#### 4. Полученные результаты

Оценка температурного режима на территории Московского региона выполнена по данным многолетних наблюдений на трех метеостанциях – Можайск, расположенной на западе региона, Коломна - на юго-востоке региона, и метеостанция, расположенная в

центральной части города, Москва, ВДНХ. Пространственное распределение значений средней многолетней годовой температуры воздуха показало, что наибольшее значение, равное  $5,46^{\circ}\text{C}$ , приходится на территорию города Москвы, где создается свой особенный микроклимат, а наименьшее значение среднегодовой годовой температуры воздуха отмечается на метеостанции (м/с) Можайска и составляет  $4,61^{\circ}\text{C}$ . Аналогичная картина наблюдается и для сезонной температуры воздуха. Изменчивость среднегодовой температуры воздуха за весь многолетний период относительно ее нормы, согласно коэффициенту вариации, составляет 0,25. Изменчивость значений зимней температуры воздуха относительно ее нормы колеблется от 0,36 (для м/с Можайск) до 0,41 (для м/с Москвы). Самая низкая изменчивость температуры воздуха наблюдается для временных рядов летней температуры воздуха, коэффициент вариации равен 0,08. Внутривременная связь между смежными членами ряда, согласно коэффициенту автокорреляции, показывает, что наибольшие его значения отмечаются для временных рядов среднегодовой температуры воздуха и составляют для м/с Москвы, Можайска и Коломны соответственно 0,51; 0,49 и 0,44.

Для оценки многолетних изменений значений годовой и сезонной температуры воздуха на территории Московского региона рассчитаны линейные тренды температуры воздуха для м/с Москва, ВДНХ, Можайск и Коломна. Получено, что увеличение среднемноголетнего значения годовой температуры воздуха за период для г. Москвы составляет  $2,61^{\circ}\text{C}/74$  года, для юго-восточной части Московского региона (м/с Коломна) равен  $2,26^{\circ}\text{C}/97$  лет и для западной части региона (м/с Можайск) составляет  $2,36/90$  лет. Скорость изменения годовой температуры воздуха для исследуемых районов Московского региона (Москва, Можайск, Коломна) составляет соответственно  $0,36^{\circ}\text{C}/10$  лет;  $0,27^{\circ}\text{C}/10$  лет и  $0,24^{\circ}\text{C}/10$  лет. В зимний период величина увеличения среднемноголетней температуры воздуха колеблется от  $4,10^{\circ}\text{C}/97$  лет на юго-востоке региона до  $3,62^{\circ}\text{C}/90$  лет на западе региона. В летний и осенний периоды рост среднемноголетней температуры менее выражен и составляет для исследуемых районов Московского региона соответственно  $1,81^{\circ}\text{C}/74$  года и  $1,81^{\circ}\text{C}/74$  года (Москва, ВДНХ),  $1,02^{\circ}\text{C}/97$  лет и  $0,80^{\circ}\text{C}/97$  (Коломна).

Для оценки полученных линейных трендов рядов среднегодовой, средней сезонной, средних максимальной и минимальной температуры воздуха применялись статистические критерии.

В таблице 1 представлены вычисленные значения критерия  $\Delta Tr / \sigma$ , полученные для среднегодовой температуры воздуха ( $T_{\text{год}}$ ), средней температуры воздуха зимнего ( $T_{\text{зима}}$ ), весеннего ( $T_{\text{весна}}$ ), летнего ( $T_{\text{лето}}$ ) и осеннего ( $T_{\text{осень}}$ ) периодов года, а также осредненных значений максимальной ( $T_{\text{max}}$ ) и минимальной ( $T_{\text{min}}$ ) температуры воздуха Московского региона.

**Таблица 1.** Отношение трендового приращения температуры воздуха к стандартному отклонению ( $\Delta Tr / \sigma$ ) для различных районов Московского региона.

Метеостанция	Период	$T_{\text{год}}$	$T_{\text{зима}}$	$T_{\text{весна}}$	$T_{\text{лето}}$	$T_{\text{осень}}$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{min}}$
Москва, ВДНХ	1948-2021	2,29	1,42	1,78	1,30	1,32	1,82	1,99
Можайск	1932-2021	2,02	1,31	1,92	0,96	0,89	1,69	1,67
Коломна	1925-2021	1,83	1,37	1,84	0,73	0,56	2,00	1,92

Анализ вычисленных значений критерия  $\Delta Tr / \sigma$ , полученных для различных районов территории Московского региона позволил установить, что величина повышения среднегодовой температуры воздуха превышает ее естественную изменчивость для всех исследуемых районов в 1,83-2,29 раза. При этом в черте города Москвы эти изменения проявляются значительно сильнее, чем в городах Можайске и Коломне.

В весенний период трендовое приращение температуры воздуха превышает стандартное отклонение в 1,78-1,92 раза. В летне-осенний период наблюдаемое повышение температуры воздуха приблизительно близко к величине стандартного отклонения (критерий составляет 0,89-0,96). Для района г. Коломны трендовое приращение ниже естественной изменчивости температуры воздуха (критерий равен 0,56-0,73), что свидетельствует практически об отсутствии тренда. Повышение осредненных годовых значений максимальной температуры воздуха относительно стандартного отклонения составляет 1,69-2,00, что говорит о достаточно выраженном

тренде к потеплению максимальной дневной температуры воздуха. Аналогичная картина наблюдается и для увеличения минимальной температуры воздуха.

Проверка наличия линейного тренда исследуемых рядов температуры воздуха на территории Московского региона с помощью рангового критерия Спирмена и коэффициента корреляции показала следующие результаты. Расчетное значение критерия Спирмена для временного ряда среднегодовой температуры воздуха, измеренной в районе метеостанции ВДНХ в черте города Москвы составляет 0,69. Для проверки значимости критерия Спирмена применяется t-критерий Стьюдента. Сравнивая расчетное значение t-критерия с его критическим значением при 5% уровне значимости критерия, получаем, что вычисленный ранговый коэффициент Спирмена является значимым. Аналогичные результаты получены и для временных рядов сезонной температуры воздуха г. Москвы. На этом основании сделаем вывод о том, что во временных рядах среднегодовой и сезонной температуры воздуха имеется статистически значимый положительный линейный тренд. Данный результат подтверждает и вычисленный коэффициент корреляции, учитывающий связь между значениями временного ряда рассматриваемой метеорологической характеристики и порядковыми номерами членов ряда.

## 5. Выводы

В современных климатических условиях происходит постепенно изменение основных климатических показателей на территории Московского региона. Проведенная оценка изменения годовой температуры воздуха позволила установить, что в условиях мегаполиса рост температуры воздуха более ярко выражен, чем на западе и юго-востоке Московского региона, за исключением годовой максимальной и минимальной температуры воздуха.

На территории Московского региона наблюдается увеличение среднегодовой, сезонной, годовой максимальной и минимальной температуры воздуха. Наиболее интенсивное повышение температуры воздуха наблюдается с 70-х годов XX века и продолжается и в настоящее время.

Установлено, что в динамике среднегодовой и сезонной температуры воздуха на территории Московского региона отмечается наличие положительного статистически значимого линейного тренда. Данный результат получен на основе использования ряда

статистических критериев. В черте города Москвы изменения температуры воздуха проявляются значительно сильнее, чем в городах Можайске и Коломне.

### Список литературы

1. Комаров, И.К. Возрождение Волги – шаг к спасению России. Книга 3. Роль Московского региона в возрождении Волги. Часть II Московская область / И.К. Комаров и др.; под ред. И.К. Комарова. – Москва: РАУ-Университет, 2000. – 736 с.
2. Георгиади, А.Г. Современные и сценарные изменения стока Волги и Дона / А.Г. Георгиади, Н.И. Коронкевич, И.П. Милькова, Е.А. Барабанова, Е.А. Кашутина // Водное хозяйство России. – 2017. - №3. – С. 6-23.
3. Дмитриева, В.А. Гидрологический режим рек Донского бассейна / В.А. Дмитриева // Вестник ВГУ, Серия: География. Геоэкология. – 2018. - № 4. – С. 77-84.
4. Исмаилов, Г.Х. Цикличность многолетних колебаний годового и сезонного стока бассейна Верхнего Дона / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2018, сборник статей по материалам международной научно-практической конференции / под ред. Л.И. Лукиной, Н.А. Бежина, Н.В. Ляминой. – Севастополь: СевГУ, 2018. – 494-498 с.
5. Исмаилов, Г.Х. Межгодовая изменчивость элементов водного баланса бассейна реки Дон / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2012. – №1. - С. 52-56.
6. Исмаилов, Г.Х. К теории и методологии формирования элементов водного баланса речных бассейнов в условиях меняющегося климата/ Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // В сборнике: Экология. Экономика. Информатика. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ, 2016. – С. 615-628.
7. Исмаилов, Г.Х. Оценка динамики водных ресурсов бассейна реки Оки в современных климатических условиях / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // В сборнике: Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2019. Сборник статей по материалам международной научно-практической конференции / под ред. Л.И. Лукиной, Н.В. Ляминой. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 704-708 с.

8. Исмаилов, Г.Х. Оценка цикличности многолетних колебаний годового стока реки Дон / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2010. – № 1. – С. 84-88.
9. Исмаилов, Г.Х. Межгодовая изменчивость элементов водного баланса бассейна реки Дон / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2012. – № 1. – С. 52-56.
10. Исмаилов, Г.Х. Оценка изменчивости элементов водного баланса половодья и межени бассейна реки Волги / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2012. – №3. – С. 64-69.
11. Исмаилов, Г.Х. Анализ и оценка поверхностных водных ресурсов бассейна реки Оки / Г.Х. Исмаилов, Н.В. Муращенко // Природообустройство. – 2019. – № 5. – С. 85-90.
12. Чуб, В.Е. Изменение климата и его влияние на гидрометеорологические процессы, агроклиматические и водные ресурсы республики Узбекистан / В.Е. Чуб. – Ташкент: НИГМИ, 2007. – 132 с.