

Гидрометеорология и экология. 2026. № 82. С. 39—53.  
Hydrometeorology and Ecology. 2026;(82):39—53.

## ***КЛИМАТОЛОГИЯ***

Научная статья  
УДК [551.524:551.583](6-11)  
doi: 10.33933/2713-3001-2026-82-39-53

### **Современные климатические изменения температуры воздуха в Восточной Африке**

***Нзамбимана Энок, Владимир Алексеевич Лобанов***

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург,  
Россия, enonzamb@gmail.com

*Аннотация.* Осуществлено уточнение современных изменений среднемесячных и среднегодовых температур воздуха на территории Восточной Африки. Установлено, что до 1960 г. проявление изменения климата в рядах температуры не наблюдается, поэтому современные изменения рассматривались за одинаковый для всех станций период с 1960 г. по 2024 г. Количественные оценки повышения температуры воздуха в разные сезоны года разные и наибольшее повышение до 1,5—2,5 °С имеет место в северных районах Судана и западных районах Уганды в апреле и июле. Повышение температуры колеблется от 0,1 до 1 °С в центральной части территории и от 1,0 до 1,9 °С в северо-западных и западных и восточных частях Восточной Африки.

*Ключевые слова:* изменение климата, Восточная Африка, температура воздуха, статистические методы.

*Для цитирования:* Энок Н., Лобанов В. А. Современные климатические изменения температуры воздуха в Восточной Африке // Гидрометеорология и экология. 2026. № 82. С. 39—53. doi: 10.33933/2713-3001-2026-82-39-53.

## ***CLIMATOLOGY***

Original article

### **Modern climate changes of air temperature in East Africa**

***Nzambimana Enoch, Vladimir A. Lobanov***

Russian State Hydrometeorological University

*Summary.* The current changes in monthly and annual average air temperatures in East Africa have been clarified. For this purpose, a regional database was formed based on information from various sources, data quality was assessed using statistical criteria of uniformity and stationarity, and omissions of observations were restored and the series were adjusted to a multi-year period based on the relationship with longer series in analog points. It has been established that before 1960, the manifestation of climate change in temperature ranges was not observed. Therefore, modern changes were considered for the same period

for all stations from 1960 to 2024. The refinement of modern changes is also obtained based on the selection of the most suitable time series model for both stationary and non-stationary averages (linear trend, stepwise changes in average). As a result, refined temperature changes were calculated, and spatial maps of these changes were constructed both in °C and in relation to natural variability. Quantitative assessment of air temperature increase in different seasons of the year are different and the greatest increase up to 1,5—2,5 °C occurs in the northern regions of Sudan and western regions of Uganda in April and July. Temperature increase fluctuates from 0,1 to 1 °C in the central part of the territory and from 1,0 to 1,9 °C in the northwestern and western and eastern parts of East Africa.

*Keywords:* climate change, East Africa, air temperatures, assessment of changes.

*For citation:* Enock N., Lobanov V. A. Modern climate changes of air temperature in East Africa *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2026;(82):(39—53). doi: 10.33933/2713-3001-2026-82-39-53. (In Russ.).

## Введение

Регион Восточной Африки охватывает Африканский Рог и страны Великих африканских озер (озера Виктория и Танганьика), расположен между 11,7° ю.ш. и 25° с.ш. и между 21,7° и 51,2° в.д. и включает 11 стран: Судан, Южный Судан, Эритрея, Джибути, Эфиопия, Сомали, Кения, Уганда, Руанда, Бурунди, Танзания.

Восточная Африка, несмотря на свое экваториальное положение, является относительно засушливым районом [1—3]. Климат Восточной Африки отличается от климата Центральной и Западной Африки, что обусловлено динамикой внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), приносящей сухой воздух с севера Африки в зимний период, а также влиянием холодного Сомалийского течения в летний период, поэтому важной задачей является оценка влияния современного изменения климата на температуру воздуха и осадки в этой части африканского континента, а также на температуру поверхности прилегающей акватории Индийского океана.

Главная особенность восточноафриканского региона — достаточно стабильная температура: средняя температура зимой составляет 18—24 °C по региону, летом от 24 °C до 32 °C с пиками до 32—42 °C. Климат на Восточно-Африканском плато теплый, зимой мало осадков. В горах осадков гораздо больше — до 3000 мм. Нижние склоны Эфиопского нагорья характеризуются достаточно высокими летними температурами до 50 °C [4—10].

Согласно докладом Всемирной метеорологической организации (ВМО), Африка, как и остальные части земного шара, испытывает влияние современного потепления. В 2021 г. температура в Восточной Африке была на 0,6 °C выше среднего показателя за период с 1981 г. по 2010 г. и на 1,04 °C выше среднего показателя за период с 1961 г. по 1990 г. [11]. В 2022 г. наблюдалась положительная аномалия температуры на 0,14 °C по сравнению со средним значением за период с 1991 г. по 2020 г. и на 0,9 °C — по сравнению со средним значением за период с 1961 г. по 1990 г. Средние температуры в регионе увеличились на 0,7—1,0 °C за период с 1973 г. по 2013 г. в зависимости от сезона [12]. Повышение максимальных и минимальных температур отмечается по всему региону и сопровождается значительным ростом теплых ночей, теплых дней и теплых периодов. Наибольший рост температур выявлен в северных и центральных регионах [13, 14]. По данным Сети систем раннего предупреждения о голоде (FEWSNET), повышение сезонной

температуры имеет место во многих районах Эфиопии, Кении, Южного Судана и Уганды уже в течение последних 50 лет.

К сожалению, качество информации, на основе которой получены различные оценки роста температуры воздуха, часто невысокое, что связано как с неоднородностью данных из-за смены приборов и местоположения метеостанций, так и с разной продолжительностью многолетних наблюдений и наличием больших периодов с отсутствием наблюдений. Целью настоящей статьи является уточнение оценок изменений температуры воздуха за фиксированный последний период наблюдений до 2024 г. на основе более качественных данных. При этом данное исследование направлено на решение двух основных задач:

- корректная количественная оценка современных изменений температуры воздуха на каждой метеостанции за период с 1960 г. по 2024 г.;
- обобщение полученных результатов изменения среднемесячных и среднегодовых значений температуры воздуха по территории Восточной Африки с выделением областей наибольшего потепления.

### Исходные данные и оценка их качества

Основой для формирования региональной климатической базы данных (БД) по Восточной Африке послужили наиболее продолжительные многолетние ряды наблюдений среднемесячных температур воздуха, представленные на сайте Метеорологического института Королевства Нидерланды по 46 метеостанциям (рис. 1) [15]. Однако эти ряды не включали последние годы наблюдений и в лучшем случае заканчивались в 2019 г. Кроме того, пункты наблюдений размещены по территории неравномерно и в южной части их было существенно меньше, чем в северной, поэтому была привлечена дополнительная информация из метеорологического архива с сайта *pogodaiklimat* [16], благодаря чему число станций было увеличено до 74 и данные наблюдений дополнены до 2024 г., что позволило уменьшить пространственную неравномерность их расположения в южной части территории. В связи с тем, что архив сайта *pogodaiklimat* не является официальным, было проведено сравнение информации по двум архивам за совместный период. Выявлено, что коэффициенты корреляции ( $R$ ) между рядами двух архивов, особенно в южной части, были в основном в диапазоне 0,9—1,0, причем отклонения от функциональной зависимости, обусловленные 1—2 точками, не влияют на оценку долгопериодных изменений средних значений.

Кроме этих пунктов наблюдений в региональную БД для сравнения изменений температуры на океане и суше были включены 3 метеостанции на островах Индийского океана (рис. 1) и 3 точки регулярной сетки температуры воды океана с координатами: точка 1: 53,8° в.д., 7,5° с.ш., точка 2: 46,4° в.д., 2,1° ю.ш., точка 3: 44,6° в.д., 11,3° ю.ш. в пределах Сомалийского течения, которое влияет на температуру воздуха восточной части Африки (рис. 1). В этих точках выбирались ряды среднемесячных температур поверхности океана (ТПО) из архива Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды 5-го поколения ECMWF ERA5 за период с 1960 г. по 2024 г. [17, 18].



Рис. 1. Расположение метеостанций в Восточной Африке и на сопредельных территориях.

Fig. 1. Location of weather stations in East Africa and adjacent territories.

Оценка качества информации осуществлялась с помощью статистических критериев Диксона и Смирнова-Граббса при оценке однородности резко отклоняющихся экстремумов эмпирических распределений и стационарности средних значений и дисперсий по статистическим критериям Стьюдента и Фишера соответственно [19—20]. Также выполнялось восстановление пропусков и приведение непродолжительных рядов наблюдений к многолетнему периоду на основе методики, основанной на построении регрессионных уравнений с более продолжительными рядами в пунктах — аналогах [21]. В результате в небольшом числе случаев были выявлены и исключены неоднородные наблюдения, которые обычно имели место в начале ряда наблюдений, а также была восстановлена большая часть пропусков наблюдений и продолжительность рядов увеличена в среднем на 20—30 лет.

### Методика исследования

Методика исследования включала две основные части: оценку современных изменений температуры воздуха и выявление причин этих изменений для Восточной Африки.

Первая часть методики связана с использованием наиболее надежных данных наблюдений, с их продолжительностью и структурой временного ряда наблюдений, которая определяет вид изменения среднего значения. Это может быть стационарная выборка, когда изменений среднего значения нет или изменения среднего есть, но надо выбрать, какой из моделей они больше соответствуют: линейному тренду, ступенчатым переходам от одного стационарного среднего к другому, гармоническим колебаниям и т. п. От рассматриваемого периода и типа модели временного ряда будет зависеть правильность оценки изменений. Так, если типу изменения среднего значения больше соответствует модель линейного тренда, то изменения за выбранный период в  $n$  лет будут разностью между рассчитанными по тренду значениями температуры воздуха в последний ( $T_{\text{тр}n}$ ) и первый ( $T_{\text{тр}1}$ ) годы этого периода ( $\Delta T_{\text{тр}} = T_{\text{тр}n} - T_{\text{тр}1}$ ). Если же типу изменений среднего значения больше соответствует модель ступенчатых изменений или переходов от одного стационарного среднего к другому, то изменения определяются как разность между двумя средними:  $\Delta T_{\text{ст}} = T_{\text{ст}2} - T_{\text{ст}1}$ .

Для оценки эффективности той или иной модели среднего значения, включая и модель стационарного среднего, с которой происходит сравнение, применяются показатели оценки эффективности модели нестационарного среднего, обоснование и применение которых приведено во многих ранее опубликованных работах, например, [22—25]. Показатели основаны на сравнении остаточной дисперсии модели стационарного среднего с остаточными дисперсиями моделей нестационарного среднего: тренд, ступенчатые изменения среднего и т. д.

Стандартное отклонение остатков модели стационарного среднего равно среднему квадратическому отклонению (СКО) временного ряда ( $\sigma_y$ ) и поэтому является наибольшим. Если модель нестационарного среднего эффективнее модели стационарного среднего, то стандартное отклонение ее остатков ( $\sigma_\varepsilon$ ) должно быть значимо меньше, чем для стационарной модели. Это отличие можно допустить существенным, если относительная разность стандартов остатков стационарной и нестационарной модели более 10 %, что обычно превышает погрешность наблюдений, и определяется по формуле:

$$\Delta = \frac{(\sigma_y - \sigma_\varepsilon)}{\sigma_y} 100 \%, \quad (1)$$

где:  $\Delta$  — показатель эффективности модели нестационарного среднего.

Статистическую значимость в различии  $\sigma_y$  и  $\sigma_\varepsilon$  можно оценить по критерию Фишера  $F = \sigma_y^2 / \sigma_\varepsilon^2$ , где  $\sigma_y^2 \geq \sigma_\varepsilon^2$ . В работе принято, что если  $\Delta \leq 10 \%$ , то временному ряду соответствует модель стационарного среднего, а при  $\Delta > 10 \%$  — модель нестационарного среднего. В случае, если  $\Delta > 10 \%$  для обеих моделей (для модели тренда  $\Delta_{\text{тр}} > 10 \%$  и для модели ступенчатых изменений среднего  $\Delta_{\text{ст}} > 10 \%$ ),

то определяется разность по модулю  $d = \Delta_{\text{тр}} - \Delta_{\text{ст}}$ . Если  $d < 5\%$ , то изменения  $\Delta T$  вычисляются как среднее из  $\Delta T_{\text{тр}}$  и  $\Delta T_{\text{ст}}$ . Если же разность  $d \geq 5\%$ , то  $\Delta T$  вычисляются по модели с большим  $\Delta$ .

Например, для многолетнего ряда температур июля на метеостанции 62600 Wadi Halfa получено  $\Delta_{\text{тр}} = 41,7\%$ ,  $\Delta_{\text{ст}} = 48,9\%$ ,  $\Delta_{\text{ст}} > \Delta_{\text{тр}}$  и разность между ними  $d = 7,2\%$ , что больше  $5\%$ , поэтому изменения температуры определяем по модели ступенчатых изменений, как  $\Delta T_{\text{ст}} = T_{\text{сп}2} - T_{\text{сп}1}$ . Для многолетнего ряда температур июля на метеостанции 62654 Masindi  $\Delta_{\text{тр}} = 37,0\%$ ,  $\Delta_{\text{ст}} = 30,4\%$ ,  $\Delta_{\text{тр}} > \Delta_{\text{ст}}$  и разность между ними  $d = 6,6\%$ , что больше  $5\%$  и поэтому изменения температуры определяем по модели тренда как  $\Delta T_{\text{тр}} = T_{\text{тр}n} - T_{\text{тр}1}$ . На метеостанции 63671 Wajir  $\Delta_{\text{тр}} = 28,0\%$ ,  $\Delta_{\text{ст}} = 27,7\%$ , разность между ними  $d < 5\%$  и  $\Delta T$  рассчитывается как среднее  $(\Delta T_{\text{тр}} + \Delta T_{\text{ст}})/2$ .

В данной работе из класса моделей нестационарного среднего рассматриваются только модели линейного тренда и ступенчатых изменений, так как практическое применение других видов моделей, например, гармонических колебаний, полиномиальных трендов, показало неэффективность и неустойчивость их коэффициентов.

Примеры соответствия временных рядов температур воздуха за последние 65 лет (1960—2024 гг.) как модели ступенчатых изменений, так и модели тренда на разных метеостанциях показаны на рис. 2.

Вторым не менее важным вопросом является выбор периода, за который рассматриваются современные изменения. Необходимо, чтобы он был достаточно продолжительным, включал наблюдения практически по всем станциям и именно внутри этого периода должны происходить изменения.

В соответствии с докладами МГЭИК [13, 14] считается, что основные изменения температуры произошли во второй половине XX века. Также начало большинства наблюдений на метеостанциях Восточной Африки относится к концу 1950 г. — началу 1960 г., поэтому рассматриваемый период был задан в 1960 г.

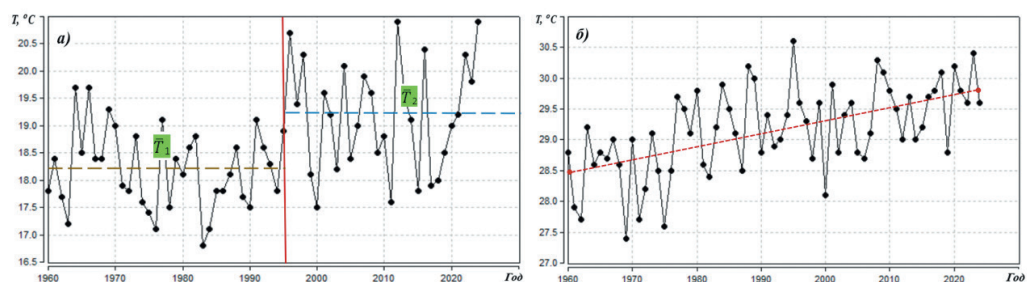


Рис. 2. Примеры оценки современных изменений температур воздуха  $\Delta T$  за январь по модели: а) ступенчатых изменений на метеостанции Jimma; б) линейного тренда на метеостанции Wajir.

Fig. 2. Examples of assessing current changes in air temperatures  $\Delta T$  for January using: а) the step-change model on Jimma weather station; б) trend model on Wajir weather station.

Для оценки стационарности временных рядов температур воздуха за предыдущий период до 1960 г. и нестационарности с 1960 г. были рассчитаны коэффициенты корреляции между температурой воздуха и временем ( $R$ ) за два рассматриваемых периода и их пространственные распределения приведены на рис. 3, где желтым цветом представлены области со статистически незначимыми  $R$  при уровне значимости  $\alpha = 5\%$  и  $R_{кр} = \pm 0,30$ , а зеленым — статистически значимые. Как следует из рис. 3 *а* за период с начала наблюдений на действующих в то время метеостанциях до 1959 г. статистически значимая связь между температурой воздуха и временем отсутствует, а с 1960 г. (рис. 3 *б*) имеет место на большей части территории Восточной Африки. Появление статистически значимых  $R$  за период с 1960 г. по 2024 г. свидетельствует о статистической значимости модели тренда. Полученные результаты справедливы не только для рядов наблюдений, но и для рядов, приведенных к многолетнему периоду с восстановленными пропусками.

В данном исследовании рассматривался постоянный период с 1960 г. по 2025 г. При этом изменения определялись как для наблюдаемых данных, так с учетом увеличения продолжительности рядов и восстановления пропусков. За период с 1960 г. таких случаев восстановления данных было немного (всего 0,3 % от общего числа случаев) по сравнению с периодом до 1960 г.

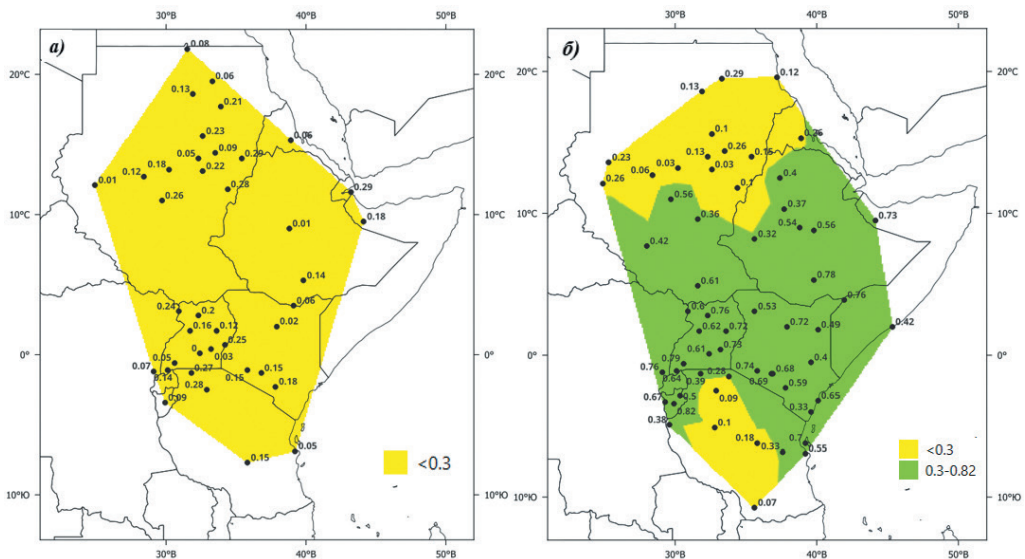


Рис. 3. Пространственное распределение коэффициентов корреляции температуры воздуха в январе с временем ( $R$ ): *а*) за период с начала наблюдений по 1959 г.; *б*) с 1960 г. по 2024 г., где желтым цветом отмечены статистически незначимые, а зеленым — статистически значимые  $R$ .

Fig. 3. Correlation coefficients between January air temperatures and years ( $R$ ): *a*) for the period from the beginning of observations to 1959.; *б*) from 1960 to 2024, where statistically insignificant  $R$  are marked in yellow and statistically significant  $R$  are marked in green.

Полученные по каждому ряду изменения температур воздуха за период с 1960 г. 2024 г. затем обобщались по территории на основе пространственной интерполяции методом треугольников в ГИС MapInfo для выделения областей наиболее и наименее существенного потепления климата.

Кроме того, значимость этих изменений  $\Delta$  следует оценить по отношению к естественной (фактической) изменчивости, т. е. СКО. Если  $\Delta/\text{СКО} > 1$ , то современные изменения климата больше фактической изменчивости, если  $\Delta/\text{СКО} > 2$ , то эти изменения климата превышают фактическую изменчивость уже в 2 раза или достоверность этих изменений составляет 95 %, если  $\Delta/\text{СКО} > 3$ , то достоверность уже 99 %.

### Результаты климатических изменений температуры воздуха

Оценка климатических изменений осуществлялась для средних значений температуры центрального месяца сезонов года (январь, апрель, июль, октябрь) и для среднегодовой температуры. В большинстве случаев в качестве наиболее подходящей модели нестационарного среднего выбрана модель ступенчатых изменений и только для 5 рядов из общего их числа изменение температуры определялось как среднее из изменений по двум моделям.

В результате установлены следующие закономерности. В январе наблюдалось повышение температуры до 0,9 °С на большей части территории Восточной Африки за исключением некоторых областей в северных, юго-западных и юго-восточных частях территории, где температура повысилась на 1,5—1,8 °С (рис. 4). Также установлено (рис. 5), что в зимний период года (январь) на большей части территории повышение температуры меньше фактической изменчивости ( $\Delta/\text{СКО} < 1$ ). Отметим, что превышение СКО отмечается там, где рост температуры составил более 1,5—1,8 °С. Причем в некоторых районах западной и юго-восточной части территории климатические изменения температуры достигают 2,5—3,1 СКО (рис. 5).

В апреле наибольшее повышение температуры от 1,5 °С до 2,5 °С наблюдалось на севере Восточной Африки в пустынях Судана, а среднее повышение в 1,0—1,9 °С наблюдалось в южной части Судана, в восточной части региона, на севере и северо-востоке Эфиопии (рис. 4). Повышение до 1 °С имело место во всех районах центральной и южной частях территории. В этот период года на большей части Восточной Африки климатические изменения превышали СКО и достигали 1,5—2 СКО в некоторых частях на севере, западе и востоке побережья Кении с максимумом 2,3 СКО на Коморских островах (рис. 5). Изменения температуры меньше СКО имели место на юге, в центре и на северо-востоке в Сомали, причем на этих же территориях рост температуры был менее 1 °С. На ближайшей акватории Индийского океана рост температуры превышает СКО в 1,6 раза (Сейшельские острова), поэтому можно считать, что весной в переходный период от зимнего Африканского муссона к летнему имеет место статистически значимый рост температуры для большей части Восточной Африки.

В период летнего муссона, когда воздушные массы приходят с Индийского океана, пространственное распределение роста температуры за июль примерно

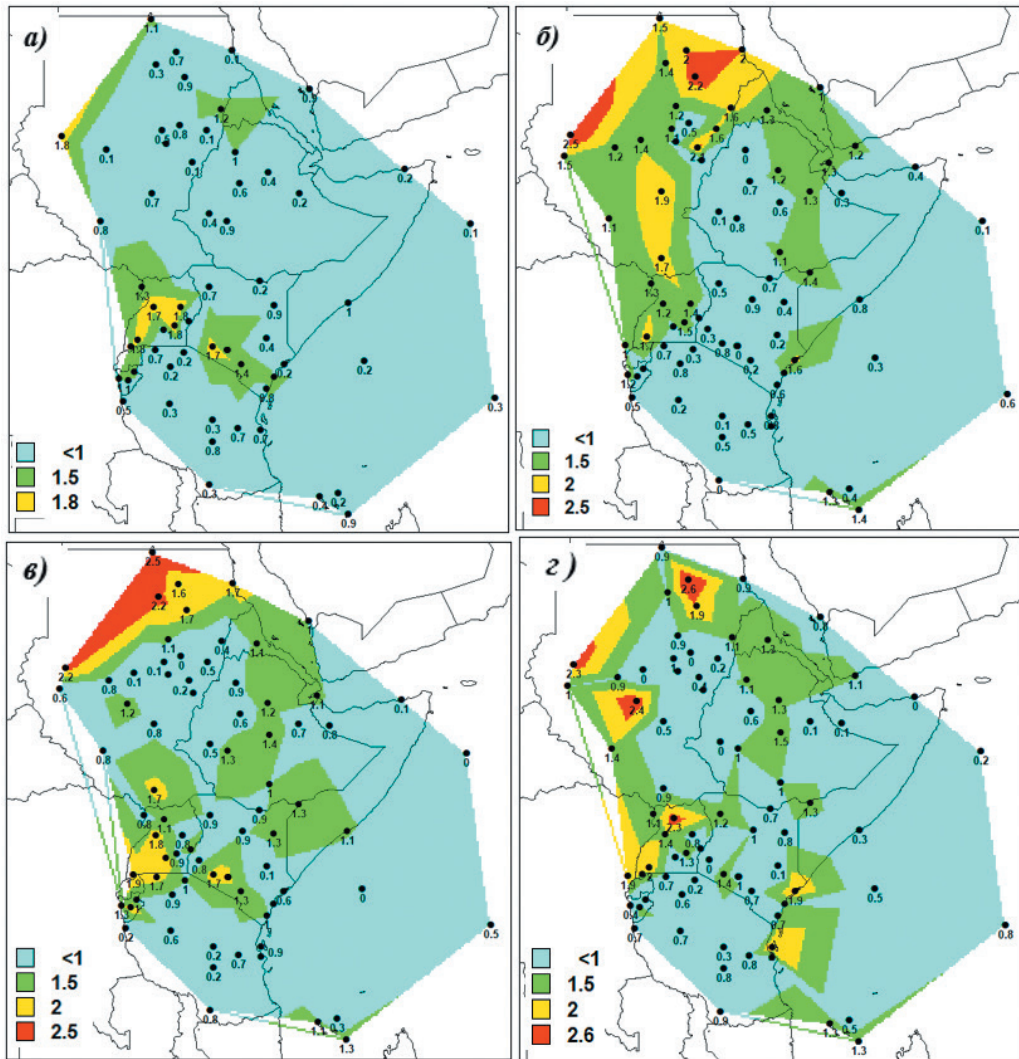


Рис. 4. Климатические изменения температуры воздуха Восточной Африки за период с 1960 г. по 2024 г. в °С: а) январь; б) апрель; в) июль; з) октябрь.

Fig. 4. Climate changes in air temperature in East Africa in °C: а) January; б) April; в) July; з) October.

такое же, как и весной, с максимальным увеличением до 1,6—2,5 °С в отдельных районах севера и до 1,7—1,9 °С — на юго-западе (рис. 4). Однако почти на половине территории рост температур менее 1 °С. В то же время по отношению к СКО эти изменения существенны на большей части территории и превышают его (рис. 5). Особенно большое превышение климатических изменений температуры

над фактической изменчивостью отмечается в юго-западной и центральной части, где они достигают 3 СКО. Также до 2,1—3,1 СКО климатический рост температур наблюдается на севере, в центре и на юго-востоке.

Пространственное распределение повышения осенней температуры (октябрь) ближе к апрельскому, чем к июльскому (рис. 4). Наибольшие территориальные повышения температуры наблюдались на севере до 2,6 °С. Изменения температуры менее 1 °С охватывают большую часть территории и имеют место

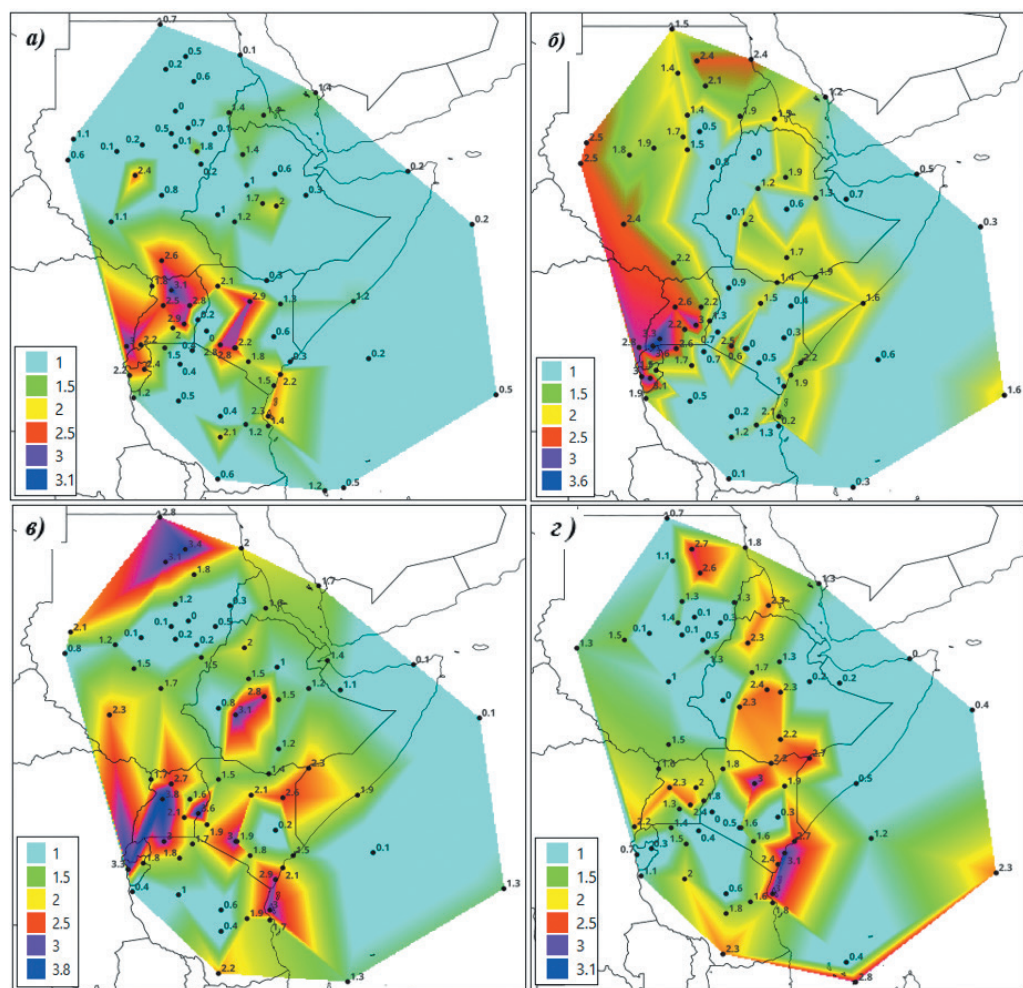


Рис. 5. Климатические изменения температуры воздуха Восточной Африки за период с 1960 г. по 2024 г. в долях СКО: а) январь; б) апрель; в) июль; з) октябрь.

Fig. 5. Climate changes in air temperature in East Africa in fractions of standard deviation: а) January; б) April; в) July; з) October.

в центральной части, на юге и на востоке. По отношению к фактической изменчивости (СКО) климатические изменения температуры октября существенны и превышают ее на большей части территории Восточной Африки (рис. 5). Исключение ( $\Delta/\text{СКО} < 1$ ) составляют отдельные районы на Сомалийском полуострове и в центре территории к северу. Наибольшие превышения СКО до 2,5—3,1 СКО наблюдаются в юго-восточной части на побережье Индийского океана и на Занзибаре. На западе, в некоторых частях севера Судана, на побережье Кении и на большей части юга Эфиопии превышение температуры колеблется в диапазоне 1,5—2,5 СКО. Такие же существенные превышения температуры над естественной изменчивостью до 2,3—2,8 СКО имеют место на метеостанциях Коморских и Сейшельских островов.

Анализ пространственных изменений среднегодовой температуры показывает, что ее повышение меняется для большей части территории от 1,0 до 1,9 °С за исключением северной части Суданской пустыни, где оно достигает пространственного максимума в 2,2 °С (рис. 6 а), поэтому можно сделать вывод, что имеет место продвижение пустыни на юг и увеличение площади опустынивания. Как следует из рис. 6 б, на большей части Восточно-Африканского региона рост температуры превышает фактическую изменчивость ( $\Delta/\text{СКО} > 1$ ). Исключением является небольшая горная область в центре на севере и на юго-западе, а также в северо-восточной части Африканского Рога в Сомали, где на изменение температуры в значительной степени влияет устойчивое Сомалийское течение летом.

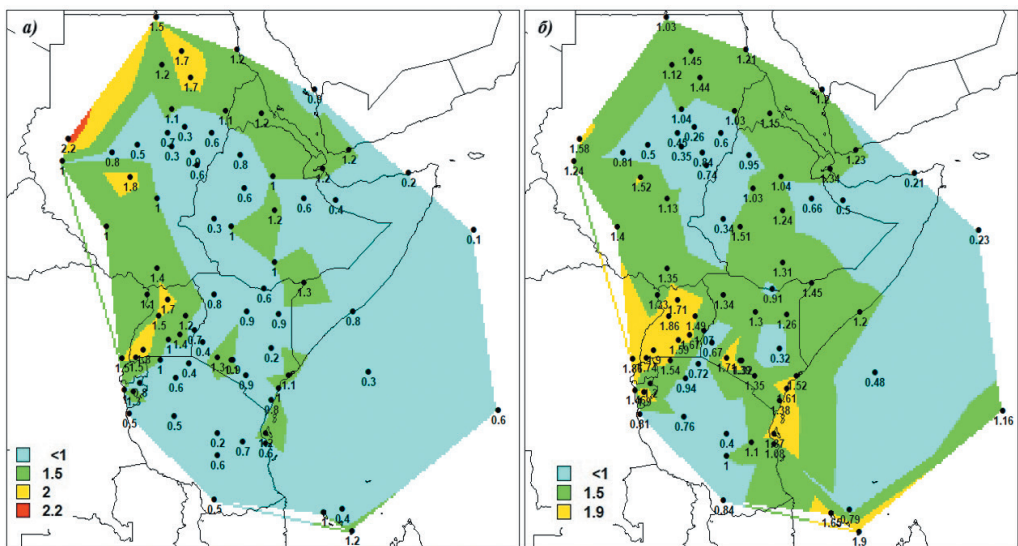


Рис. 6. Среднегодовые климатические изменения температуры воздуха Восточной Африки за период с 1960 г. по 2024 г.: а) в °С ; б) в долях СКО.

Fig. 6. Annual average climate changes in air temperature in East Africa 1960—2024: а) in °С; б) as a fraction of the standard deviation.

Также установлено, что во все сезоны изменение ТПО в районе Сомалийского течения небольшое и составляет  $0,1—0,4$  °С, что меньше естественной изменчивости (рис. 4—6). Поэтому можно считать, что климатические изменения ТПО в районе Сомалийского течения являются незначительными.

### Заключение

Проведенное исследование по количественной оценке современных климатических изменений температуры воздуха в Восточной Африке и их предполагаемых причин позволяет сделать следующие выводы:

1. Установлено, что все климатические изменения температуры воздуха произошли во второй половине XX века и наиболее существенные изменения относятся к концу столетия (конец 1980 — начало 1990 гг.). До 1960 г. средние многолетние температуры можно считать стационарными, поэтому оценка современных изменений осуществлялась за одинаковый период с 1960 г. по 2024 г.

2. Потепление наблюдается во все сезоны года, причем наименьший рост температуры имеет место в январе с изменениями от  $0,1$  °С до  $1,8$  °С и с территориальными максимумами вблизи экватора от  $1,5$  °С до  $1,8$  °С, которые превышают фактическую изменчивость. В остальные сезоны года потепление достигает  $2,5—2,6$  °С, превышения СКО наибольшие летом, охватывают больше половины территории и в некоторых местах превышают  $3,0—3,5$  СКО и достигают  $3,8$  СКО. На островных станциях рост температуры меньше, чем на континентальных, а ТПО в трех точках Сомалийского течения во все сезоны года, за исключением осени, пока остается стационарной.

3. Повышение среднегодовой температуры для большей части территории составляет от  $1,0$  до  $1,9$  °С за исключением северной части Суданской пустыни, где оно достигает пространственного максимума в  $2,2$  °С и свидетельствует о росте опустынивания и продвижении пустыни на юг.

### Список литературы

1. Camberlin P. Temperature trends and variability in the Greater Horn of Africa: interactions with precipitation // *Climate Dynamics*. 2017. Vol. 48. No. (1—2). P. 477—498. doi: 10.1007/s00382-016-3088-5.
2. Camberlin P. Climate of Eastern Africa / *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. Oxford University Press, 2018. doi:10.1093/acrefore/9780190228620.013.512.
3. Williams A.P., Funk C. A westward extension of the warm pool leads to a westward extension of the Walker circulation, drying eastern Africa // *Climate Dynamics*. 2011. Vol. 37. No. (11—12). P. 2417—2435.
4. World bank group // *Climate Change Knowledge Portal*: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org> (дата обращения: 13.04.2025).
5. Ethiopia's Second National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change. 2015. P. 282: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/ethnc2.pdf> (дата обращения: 13.04.2025).
6. Government of Somalia. Somalia's First Biennial Update Report to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ministry of Environment and Climate Change. Mogadishu, 2022: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Somalia%20First%20BUR%20report%202022.pdf> (дата обращения: 13.04.2025).
7. République du Burundi. Ministère de l'environnement, de l'agriculture et de l'élevage. Premier rapport biennal actualisé sur les changements climatiques au Burundi. Bujumbura, 2022. 260 p.

8. République du Burundi. Ministère de l'environnement, de l'agriculture et de l'élevage. Troisième communication nationale sur les changements climatiques. Bujumbura, 2019. 189 p.
9. Hulme M., Doherty R.M., Ngara T., New M. et al. African climate change: 1900–2100 // *Climate Research*. 2001. Vol. 17. P. 145–168. doi: 10.3354/cr017145.
10. Dufatanye Umwali E., Chen X., Odhiambo Ayugi B. et al. Estimating the Effects of Climate Fluctuations on Precipitation and Temperature in East Africa // *Atmosphere*. 2024. Vol.15. No. 12. Art.1455. doi: 10.3390/atmos15121455.
11. Organisation météorologique mondiale // *Etat du climat en Afrique 2021*. OMM- No.1300. Genève, 2022. ISBN 978-92-63-21300-6.
12. Organisation météorologique mondiale // *Etat du climat en Afrique 2022*. OMM- No.1330. Genève, 2023. ISBN 978-92-63-21330-3.
13. IPCC. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2014. P. 1199–1265.
14. IPCC. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2022. P. 1285–1455. doi: 10.1017/9781009325844.011.
15. Knmi: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> (дата обращения: 13.04.2025).
16. Pogodaiklimat: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/history.php> (дата обращения: 13.04.2025).
17. ECMWF ERA5. Monthly averaged data on single levels from 1940 to present: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means?tab=overview> (дата обращения: 13.04.2025).
18. Terray P., Dominiak S. Indian Ocean Sea surface temperature and El Niño–Southern Oscillation. A new perspective // *Journal of Climate*. 2005. Vol. 18. No.9. P. 1351–1368. doi: 10.1175/JCLI3338.1.
19. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 78 с.
20. Лобанов В. А. Лекции по климатологии. Часть 2. Динамика климата. Кн. 2. СПб.: РГГМУ, 2018. 377 с.
21. Лобанов В. А. Учебное пособие по региональной климатологии. СПб.: РГГМУ, 2020. 170 с.
22. Рекомендации по приведению рядов речного стока и их параметров к многолетнему периоду. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 64 с.
23. Лобанов В. А., Лемешко Н. А., Жильцова Е. Л. и др. Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на Европейской территории России // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 2. С. 5–14.
24. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2008. 408 с.
25. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.

### *References*

1. Camberlin P. Temperature trends and variability in the Greater Horn of Africa: interactions with precipitation. *Climate Dynamics*. 2017; 48(1–2): 477–498. doi:10.1007/s00382-016-3088-5.
2. Camberlin P. Climate of Eastern Africa. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. Oxford University Press. 2018. doi: 10.1093/acrefore/9780190228620.013.512.
3. Williams A.P., Funk C. A westward extension of the warm pool leads to a westward extension of the Walker circulation, drying eastern Africa. *Climate Dynamics*. 2011; 37(11–12): 2417–2435.
4. World bank group. Climate Change Knowledge Portal. Available at: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org> (accessed on: 13.04.2025).
5. Ethiopia's Second National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change.2015: 282. Available at: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/ethnc2.pdf>. (accessed on: 13.04.2025).

6. Government of Somalia. Somalia's First Biennial Update Report to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ministry of Environment and Climate Change. Mogadishu, 2022. Available at: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Somalia%20First%20BUR%20report%202022.pdf> (дата обращения: 13.04.2025).
7. République du Burundi. Ministère de l'environnement de l'agriculture et de l'élevage et. Premier rapport biennal actualisé sur les changements climatiques au Burundi. Bujumbura. 2022: 260 p.
8. République du Burundi. Ministère de l'environnement, de l'agriculture et de l'élevage. Troisième communication nationale sur les changements climatiques. Bujumbura. 2019: 189 p.
9. Hulme M., Doherty R. M., T. Ngara, M. New et al. African climate change: 1900–2100. *Climate Research*. 2001 ; 17 : 145—168. doi: 10.3354/cr017145.
10. Dufatanye Umwali E., Chen X., Odhiambo Ayugi B., et al. Estimating the Effects of Climate Fluctuations on Precipitation and Temperature in East Africa. *Atmosphere*. 2024, 15 (12) ;1455. doi: 10.3390/atmos15121455.
11. Organisation météorologique mondiale. Etat du climat en Afrique. 2021. OMM.1300. Genève, 2022. ISBN 978-92-63-21300-6.
12. Organisation météorologique mondiale. Etat du climat en Afrique. 2022. OMM.1330. Genève, 2023. ISBN 978-92-63-21330-3.
13. IPCC. Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014: 1199—1265.
14. IPCC. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022: 1285—1455. doi: 10.1017/9781009325844.011.
15. Knmi. Available at: <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> (accessed on: 13.04.2025).
16. Pogodaiklimat. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru> (accessed on: 13.04.2025).
17. ECMWF ERA5. Monthly averaged data on single levels from 1940 to present. Available at: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means?tab=overview> (accessed on: 13.04.2025).
18. Terray P., Dominiak S. Indian Ocean Sea surface temperature and El Niño–Southern Oscillation: A new perspective. *Journal of Climate*. 2005; 18(9): 1351—1368. doi: 10.1175/JCLI3338.1.
19. *Rekomendatsii po statisticheskim metodam analiza odnorodnosti prostranstvenno-vremennykh kolebaniy rechnogo stoka = Recommendations on statistical methods for analyzing the homogeneity of spatiotemporal fluctuations in river flow*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984: 78 p. (In Russ.).
20. Lobanov V. A. *Leksii po klimatologii. Chast' 2. Dinamika klimata. Kn. 2. = Lectures on climatology. Part 2. Climate dynamics. Book 2*. St. Petersburg: RSHU. 2018: 377 p. (In Russ.).
21. Lobanov V. A. *Uchebnoye posobiye po regional'noy klimatologii. = Textbook on regional climatology*. St. Petersburg: RSHU. 2020: 170 p. (In Russ.).
22. *Rekomendatsii po privedeniyu ryadov rechnogo stoka i ikh parametrov k mnogoletnemu periodu. = Recommendations for bringing river flow series and their parameters to a multi-year period*. Leningrad: Gidrometeoizdat. 1979: 64 p. (In Russ.).
23. Lobanov V. A. *Mnogomernyy statisticheskiy analiz dlya issledovaniya dinamiki klimata. = Multivariate statistical analysis for studying climate dynamics*. Educational edition. St. Petersburg: RSHU. 2022: 284 p. (In Russ.).
24. Malinin V. N. *Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoy informacii. = Statistical methods for the analysis of hydrometeorological information*. St. Petersburg: RSHU. 2008: 408 p. (In Russ.).
25. Zaks L. *Statisticheskoye otsenivaniye. = Statistical estimation*. M.: Statistics. 1976:598 p. (In Russ.).

### Информация об авторах

Нзамбимана Энок, аспирант 2 курса кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы, Российский государственный гидрометеорологический университет, e-mail: enonzamb@gmail.com.

*Лобанов Владимир Алексеевич*, доктор технических наук, профессор кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы, Российский государственный гидрометеорологический университет, e-mail: va\_lobanov56@mail.ru.

### ***Information about Authors***

*Nzambimana Enock*, post-graduate student in scientific specialty 1.6.18 «Atmospheric and Climate Sciences» of the Department of Meteorology, Climatology and Air Protection of the Russian State Hydrometeorological University.

*Vladimir A. Lobanov*, Dr. of Sci. (Tech.), Professor of the Department of Meteorology, Climatology and Air Protection, Russian State Hydrometeorological University (RSHU).

**Конфликт интересов:** конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 28.04.2025*

*Принята в печать после доработки 27.02.2026*

*The article was received on 28.04.2025*

*The article was accepted after revision on 27.02.2026*