

Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.583.1

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-103-112

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Юрий Петрович Переведенцев¹, Константин Михайлович Шанталинский²,Надежда Александровна Мирсаева³, Александр Анатольевич Николаев⁴^{1, 2, 3, 4} Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия¹ yperaved@kpfu.ru, Scopus Author ID: 6603045210, Author ID: 58828² kshantal@kpfu.ru, Scopus Author ID: 7801506829, Author ID: 61808³ NAMirsaeva@kpfu.ru, Scopus Author ID: 56165230500, Author ID: 741357⁴ Aleksandr.Nikolaev@kpfu.ru, Scopus Author ID: 36747501000, Author ID: 61806

Аннотация. Рассмотрена динамика изменения температуры воздуха в Казани в XIX–XXI вв. на фоне климатических процессов, происходящих в Северном полушарии. В работе использовались апробированные статистические методы обработки временных рядов, корреляционный и тренд-анализ, фильтр Поттера для выделения низкочастотной компоненты. Установлено, что наиболее быстрыми темпами потепление в регионе происходит в зимне-весенний период. При этом последнее тридцатилетие (1991–2021 гг.) оказалось теплее в каждом месяце, чем 5 предыдущих тридцатилетий. Получена оценка вклада в колебания температуры воздуха в Казани со стороны всего Северного полушария (42 % зимой и 27 % летом). Установлено, что среднегодовые температуры в Казани и всем Северном полушарии до 1970 г. изменялись в противофазе. В зимний период с 1870 г. в Казани температура повысилась на 4,7 °С. В летний период на низкочастотной кривой температуры в Казани в период 1920–1960 гг. обнаружен «горб» (потепление), что можно объяснить тем, что в этот период атмосфера в Северном полушарии была более прозрачной (на 2 %), чем в остальные периоды. Последствия изменения климата последних десятилетий в регионе отразились на динамике агроклиматических ресурсов Татарстана. С этой целью рассчитан ряд агрометеорологических показателей, в том числе индекс сухости Будыко, гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) и коэффициент увлажнения Сапожниковой. Согласно сделанным оценкам, произошло увеличение продолжительности вегетационного периода, суммы эффективных температур и наметилась слабая тенденция роста засушливости в летний период. С использованием ансамблевых расчетов по 40 климатическим моделям из проекта CMIP6 дана оценка будущих изменений климата в регионе, согласно которым ожидается увеличение годовой температуры в Казани к концу XXI в. на 2,4 °С, учитывая сценарий ssp245. При самом «жестком» сценарии ssp585 этот прирост составит 5,5 °С.

Ключевые слова: температура воздуха, низкочастотные колебания, линейные тренды, корреляция, агроклиматические показатели.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке РНФ и Кабинета Министров Республики Татарстан в рамках научного проекта № 22-27-20080.

Для цитирования: Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А. Изменения климата на территории Республики Татарстан // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 103–112. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-103-112

METEOROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-103-112

CLIMATE CHANGE ON THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Yuri P. Perevedentsev¹, Konstantin M. Shantalinsky², Nadezhda A. Mirsaeva³, Alexander A. Nikolaev⁴^{1, 2, 3, 4} Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia¹ yperaved@kpfu.ru, Scopus Author ID: 6603045210, Author ID: 58828² kshantal@kpfu.ru, Scopus Author ID: 7801506829, Author ID: 61808³ NAMirsaeva@kpfu.ru, Scopus Author ID: 56165230500, Author ID: 741357⁴ Aleksandr.Nikolaev@kpfu.ru, Scopus Author ID: 36747501000, Author ID: 61806

Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

Abstract. The paper looks at the dynamics of air temperature changes in Kazan in the 19th–21st centuries against the background of climatic processes occurring in the Northern hemisphere. The study used proven statistical methods of time series processing, correlation and trend analysis, and a Potter filter to isolate the low-frequency component. The fastest rate of warming in the region was established to occur in the winter-spring period. At the same time, the three decades between 1991 and 2021 turned out to be warmer in each month than the 5 previous three-decade periods. The contribution of the entire Northern Hemisphere to the fluctuations in the air temperature in Kazan was estimated (42% in winter and 27% in summer). It has been established that the average annual temperatures in Kazan and the entire Northern Hemisphere changed in the opposite phase until 1970. Since 1870, the winter temperature in Kazan has increased by 4.7°C. During the summer period, a ‘hump’ (warming) was detected on the low-frequency temperature curve in Kazan in the period 1920–1960, which can be explained by the fact that during this period the atmosphere in the Northern Hemisphere was more transparent (by 2%) than in the other periods. The consequences of climate change in the region in recent decades have had an effect on the dynamics of agro-climatic resources of Tatarstan. Several agrometeorological indicators were calculated, including the M.I. Budyko dryness index, the Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC), and the Sapozhnikova moisture coefficient. According to the estimates made, there has been an increase in the duration of the growing season and the sum of effective temperatures, and also a weak trend toward increasing aridity in the summer period has emerged. Using ensemble calculations based on 40 climate models from the CMIP6 project, the paper provides an assessment of future climate changes in the region: the annual temperature in Kazan is expected to increase by 2.4°C by the end of the 21st century according to the ssp245 scenario. Under the ‘toughest’ ssp585 scenario, this increase will be 5.5°C.

Keywords: air temperature, low-frequency fluctuations, linear trends, correlation, agro-climatic indicators

Funding: The study was financially supported by the Russian Science Foundation and the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan as part of scientific project No. 22-27-20080.

For citation: Perevedentsev, Yu.P., Shantalinsky, K.M., Mirsaeva, N.A., Nikolaev, A.A. (2024). Climate change on the territory of the Republic of Tatarstan. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 103–112. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-103-112

Введение

В последние годы опубликован ряд обобщающих докладов, в которых нашли свое отражение происходящие изменения климата как на территории Земного шара [19], так и в России [17]. Актуальные проблемы по недопущению глобального превышения приповерхностной температуры воздуха порогового значения в 1,5 °С относительно «доиндустриального» периода 1850–1900 гг. обсуждены недавно на Всемирной конференции по климату (Шарм-Эль-Шейх, Египет, октябрь 2022 г.).

В этих документах дан комплексный анализ по взаимодействию всех компонент климатической системы, включающей в себя атмосферу, гидросферу, сушу, криосферу и биосферу. Особое внимание уделено настоящим и будущим проявлениям экстремальных явлений. Подчеркивается роль антропогенного фактора в происходящих природных процессах. В настоящей статье рассматриваются долговременные климатические изменения, происходящие на территории Республики Татарстан (РТ), начиная с 1828 г. по настоящее время, что оказалось возможным благодаря образованию в 1812 г. Метеорологической обсерватории при Казанском университете – первой метеостанции на Востоке России [16]. Следует отметить, что первую научную статью о климате Казани – «Следствия из метеорологических наблюдений в Казани 1814 г.» – опубликовал профессор Ф.К. Броннер [2]. Многолетняя история развития метеорологических и климатических исследований в Казанском университете представлена в [13].

Первой обобщающей работой по климату региона явилась монография Н.В. Колобова [6], в которой с использованием 25 метеостанций дано комплексное описание температурно-влажностного режима в период 1901–1962 гг. При этом полученные результаты не относятся к периоду активной фазы потепления климата, начавшейся с середины 1970-х гг. В этой работе не давалась оценка вклада глобального фактора в региональные процессы, а также макромасштабных циркуляционных мод. В более современной монографии – «Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа» (2013 г.) [15] – на основании данных 186 метеостанций представлено описание климатических процессов в более поздний период (1966–2009 гг.), что позволило учесть влияние глобального потепления на динамику температуры и атмосферных осадков в регионе. Однако не была сделана оценка будущих изменений климата. В настоящей статье впервые дан анализ процессов за наиболее длительный период (с 1828 по

*Метеорология**Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.*

2021 г.) в регионе на фоне происходящих процессов в Северном полушарии, что позволило оценить вклад макромасштабных факторов в региональные изменения, а также выделить долгопериодные колебания температуры. Кроме того, с использованием проекта CMIP6 оценены изменения температуры до конца XXI в.

Важное внимание в последние годы уделяется также исследованию экстремальных климатических проявлений на территории России, в частности природе летней засухи в Европейской части 2010 г., возникшей из-за блокинга, которая привела к значительной потере урожая [1]. Так, в июле 2010 г. на территории Татарстана значение ГТК снизилось до 0,16, что свидетельствует об очень сильной засухе, а урожайность – до 37 % от предыдущего года. Влияние погодно-климатических условий на урожайность яровой пшеницы на территории Татарстана в последние десятилетия рассмотрено в [9].

В настоящем исследовании решаются 2 главные проблемы. Первая – это выявление долгопериодных колебаний температуры воздуха в Казани, что является продолжением ранее выполненных исследований по климату региона, и вторая – проблема оценки динамики агроклиматических показателей с использованием методов, изложенных в [7, 14].

Многолетний метеорологический ряд в Казани позволяет получить представление о происходящих климатических изменениях в целом и по Среднему Поволжью, так как между изменениями температуры воздуха (ТВ) в Казани и на других метеостанциях Приволжского федерального округа (ПФО) существует высокая корреляционная связь ($r > 0,9$), как следует из работы [21].

Привлечение к анализу архива данных о температуре воздуха в узлах регулярной географической сетки на всем земном шаре (с 1850 г.) позволяет анализировать изменения регионального климата на фоне глобальных процессов и оценивать вклад глобальных процессов в региональные.

Кроме того, будет дана оценка вклада глобального фактора в региональные изменения ТВ, а также макромасштабных циркуляционных процессов в температурный режим РТ.

Данная статья является развитием более ранних публикаций авторов по проблеме изучения климата региона [5, 11–12], в которых дана оценка регионального потепления в конце XX и начале XXI в. на фоне процессов, происходящих в тропостратосфере Северного полушария.

Методика исследования

Цель статьи: рассмотреть долгопериодные изменения температуры воздуха в Казани на фоне меняющегося температурного режима Северного полушария в период 1828–2021 гг. и оценить динамику агроклиматических ресурсов на территории Республики Татарстан в период 1950–2021 гг.

Задачами исследования являются: оценка вклада глобального и циркуляционного фактора в изменения термического режима в Казани, оценка сезонных изменений температуры до конца XXI в. с использованием результатов ансамблевых расчетов по 40 климатическим моделям проекта CMIP6, а также степени увлажненности и засушливости территории Татарстана с использованием индексов сухости Будыко, гидротермического коэффициента Селянинова и коэффициента увлажнения Сапожниковой.

В качестве исходных данных в работе использовались результаты наблюдений метеостанции Казань, университет (1828–2021 г.) – одной из старейших в России, а также результаты ежедневных наблюдений на 13 метеостанциях РТ. Для оценки долговременных изменений ТВ в Северном полушарии использовались данные приземной температуры воздуха по Северному полушарию (1850–2021 г.) Университета Восточной Англии (CRU) [18, 20].

Многолетние данные подвергались статистической обработке. Находились средние значения, средние квадратические отклонения, коэффициенты наклона линейного тренда, коэффициенты корреляции между ТВ и индексами атмосферной циркуляции [8].

Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

Для характеристики увлажненности региона рассчитывались индекс сухости Будыко (ИС), гидрометрический коэффициент Селянинова (ГТК) и коэффициент увлажнения Сапожниковой (КУ) по формулам:

$$ИС = \frac{0,18 \sum T_{>10^{\circ}C}}{R_{I-XII}}, \quad (1)$$

$$ГТК = \frac{R_{VI-VIII}}{0,1 \sum T_{VI-VIII}}, \quad (2)$$

$$КУ = \frac{0,5R_{X-III} + R_{IV-IX}}{0,18 \sum T_{IV-IX}}, \quad (3)$$

где T – среднесуточная температура, $^{\circ}C$, R – сумма осадков, мм.

Биологическая эффективность климата оценивалась с помощью индекса биологической эффективности климата (БЭК) [8]:

$$БЭК = (0,01 \sum T_{>10^{\circ}C}) \cdot КУ, \quad (4)$$

где КУ – коэффициент увлажнения, который находится как отношение годового количества осадков (R , мм) к годовой испаряемости (E , мм).

Выбранные подходы апробированы в российской климатологии и агрометеорологии и позволяют получать адекватные результаты.

Результаты исследований

Рассматривались долгопериодные колебания ТВ в Казани в период 1850–2021 гг. (172-летний период) на фоне изменения температуры на суше Северного полушария (СП) и СП в целом. С этой целью среди аномалий среднегодовых, зимних и летних температур, осредненных для территории суши СП, всего полушария и Казани, рассчитанных относительно норм за 1961–1990 гг., выделялись низкочастотные колебания с периодом более 25 лет. Результаты представлены на рис. 1, из которого видно, что среднегодовые температуры (СГТВ) всего СП и Казани до 1970 г. изменялись в противофазе (рис. 1А). Так, в 1942 г. аномалия СГТВ для СП достигла максимума и составила $+0,1^{\circ}C$, а в Казани, наоборот, отмечен минимум $-0,6^{\circ}C$, т.е. в регионе наблюдалось похолодание. С 1970-х гг. по 2021 г. СГТВ в Казани повысилась на $2,2^{\circ}C$, а на всем СП – на $1,7^{\circ}C$, потепление в регионе происходило более интенсивно, чем в СП.

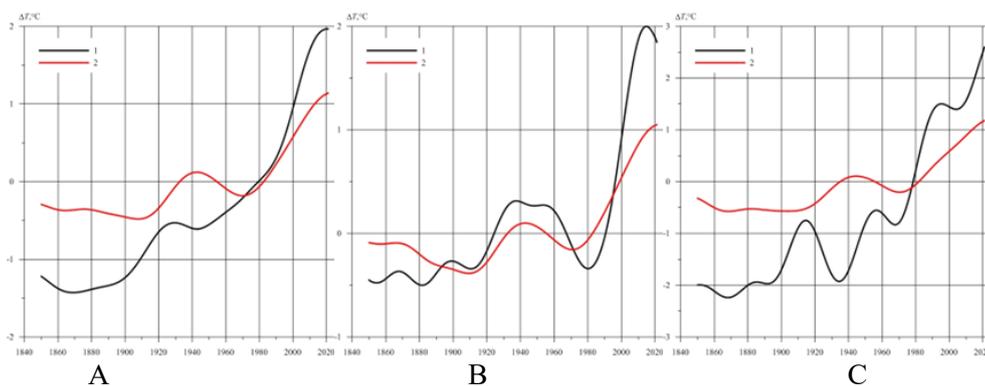


Рис. 1. Низкочастотная компонента аномалий (1961–1990 гг.) температуры воздуха на ст. Казань, университет (1) и приповерхностной температуры Северного полушария [20] (2) 1850–2021 гг. за год (А), лето (В), зиму (С)
Fig. 1. The low-frequency component of the anomalies (1961–1990) of air temperature at the station Kazan (University) (1) and surface temperature of the Northern Hemisphere [20] (2) 1850–2021 for the year (A), summer (B), winter (C)

В зимний период картина заметно отличается от среднегодовой (рис. 1С). На фоне достаточно плавного повышения ТВ в СП, температура в Казани испытывает значительные колебания. В целом с 1870 г. зимняя ТВ в Казани повысилась на $4,7^{\circ}C$, при этом наибольший

Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

прирост (3,3 °С) пришелся на фазу активного потепления климата (с 1970 г.). В СП зимняя температура повысилась за весь период лишь на 1,6 °С. В летний период (рис. 1В) отмечаются значительные квазисинхронные колебания ТВ в Казани и в СП. Так, в 1910 г. отмечается минимум ТВ, в 1940 г. – максимум, затем в 1970–1980 гг. вновь минимум ТВ и, начиная с середины 1970-х гг., в СП, а в Казани лишь с 1980 г. отмечается ее интенсивный подъем (потепление). Этот прирост для СП составил 1,2 °С, а для Казани 2,3 °С. Обнаруженный «горб» на низкочастотной кривой температуры воздуха в период 1920–1960 гг. можно объяснить с позиций учета двух факторов. В период 1918–1947 гг. прямая радиация в условиях повышенной прозрачности атмосферы в СП была на 2 % больше, чем в более ранний период 1888–1917 гг., что привело к возрастанию температуры в Казани примерно на 0,7 °С. Кроме того, не исключается влияние квазистесятилетнего цикла, отмеченного в колебаниях температуры [3–4].

В табл. 1 представлены осредненные по 30-летним периодам температуры воздуха по месяцам, основным сезонам и годам для ст. Казань, университет. Как и следовало ожидать, последнее тридцатилетие (1991–2020 гг.) оказалось теплее предыдущих во всех месяцах года. Следует отметить, что данные табл. 1, относящиеся к сезонам и году, хорошо коррелируют с данными рис. 1. Они также позволяют выделять периоды колебаний температуры (потеплений и похолоданий).

Таблица 1

Тридцатилетние нормы температуры воздуха (°С) на метеорологической станции Казань, университет за период 1841–2020 гг.

Thirty-year norms of air temperature (°C) at the meteorological station Kazan (University) for the period 1841–2020

Месяцы	Периоды					
	1841–1870	1871–1900	1901–1930	1931–1960	1961–1990	1991–2020
I	-13,73	-14,26	-12,26	-12,42	-12,25	-9,46
II	-11,97	-12,54	-12,01	-12,17	-10,64	-9,15
III	-7,07	-6,58	-5,93	-5,81	-4,19	-2,69
IV	2,89	2,91	4,29	4,51	5,42	6,41
V	12,12	12,94	12,66	12,79	13,81	14,63
VI	17,48	17,05	17,96	18,48	17,89	18,89
VII	20,15	19,80	19,73	20,17	20,15	21,23
VIII	17,57	17,44	17,50	18,18	17,75	18,90
IX	11,26	10,81	11,26	12,17	11,82	12,92
X	3,80	3,94	3,47	4,23	4,47	5,84
XI	-3,60	-4,15	-3,38	-3,04	-2,68	-1,94
XII	-11,35	-10,65	-10,33	-9,59	-8,34	-7,49
Год	3,13	3,06	3,58	3,96	4,44	5,68
Лето	18,40	18,10	18,40	18,94	18,60	19,70
Зима	-12,32	-12,58	-11,47	-11,52	-10,38	-8,65

Рассчитанные за весь период (1828–2021 гг.) коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ) показали, что в зимний период температура воздуха повышалась со скоростью 0,24 °С/10 лет, летом потепление было выражено заметно слабее (КНЛТ = 0,10 °С/10 лет). В целом наибольшие значения КНЛТ приходятся на зимне-весенние месяцы (в декабре КНЛТ = 0,28, в марте 0,25 °С/10 лет), которые и обусловили основной вклад в годовое потепление климата региона. Следует отметить, что колебания ТВ в Казани тесно связаны с колебаниями ТВ в целом всего СП. Коэффициенты корреляции (r), рассчитанные между ТВ Казани и СП для периода 1850–2021 гг., оказались значимыми для всех месяцев года и изменялись в пределах: от 0,40 (июнь, июль) до 0,68 (январь, март). Величины r для года, лета и зимы оказались равными 0,79; 0,52; 0,66, что соответствует глобальному вкладу в региональный на уровне 63 % (для года), 27 % (лета), 43 % (зимы). Весомый вклад в изменения ТВ вносят и

Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

циркуляционные моды. Зимой коэффициенты корреляции между ТВ в Казани и индексом Северо-Атлантического колебания достигает 0,60 (отепляющее воздействие), Скандинавское колебание приводит к понижению зимой ТВ ($r = -0,49$), в летний период главная роль в охлаждении региона принадлежит колебанию Восточная Атлантика – Западная Россия ($r = -0,71$).

Для оценки будущих изменений ТВ в Казани были привлечены результаты ансамблевых расчетов по 40 климатическим моделям проекта СМIP6. Были выбраны 2 сценария: наиболее вероятный (умеренный) сценарий ssp245, согласно которому к концу XXI в. радиационное воздействие увеличится на 4,5 Вт/м² по сравнению с периодом до 1750 г., а концентрация CO₂ возрастет до 600 млн⁻¹ (в настоящее время она порядка 420 млн⁻¹); при жестком сценарии ssp585 радиационное воздействие возрастет на 8,5 Вт/м² и концентрация CO₂ увеличится в 4 раза. Результаты расчетов по 20-летним периодам представлены в табл. 2.

Согласно данным табл. 2, по наиболее вероятному сценарию ТВ в Казани между 2021–2040 и 2081–2100 гг. зимой возрастет на 2,9 °С, весной на 2,37 °С, летом на 2,12 °С, осенью на 2,18 °С и за год на 2,4 °С, т.е. потепление будет происходить в основном в холодное время года. Согласно жесткому сценарию, в конце столетия годовая температура возрастет на 5,5 °С, а зимой на 6,6 °С.

Таблица 2

Прогнозные средние сезонные и годовые величины температуры воздуха (°С)
в Казани в XXI столетии при различных климатических сценариях
Forecast average seasonal and annual values of air temperature (°C)
in Kazan in the 21st century under various climatic scenarios

Сценарий	Период (годы)	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	ΔT_p , °C
ssp245	2021–2100	-7,43	6,68	20,91	7,35	6,9	2,4
	2021–2040	-8,95	5,40	19,75	6,19	5,6	
	2041–2060	-7,83	6,43	20,67	7,10	6,6	
	2061–2080	-6,79	7,17	21,39	7,80	7,4	
	2081–2100	-6,07	7,77	21,87	8,37	8,0	
ssp585	2021–2100	-5,92	8,18	23,16	9,00	8,6	5,5
	2021–2040	-9,07	5,68	20,73	6,64	6,0	
	2041–2060	-7,16	7,24	22,16	8,07	7,6	
	2061–2080	-4,82	9,04	23,93	9,74	9,5	
	2081–2100	-2,50	10,88	25,93	11,65	11,5	

Примечание: ΔT_p – разница в среднегодовой температуре воздуха между 2081–2100 и 2021–2040 гг.

Note: ΔT_p is the difference in the average annual air temperature between 2081–2100 and 2021–2040.

В качестве последствий климатических изменений рассмотрим динамику агроклиматических ресурсов РТ в период 1966–2021 гг. Вначале обратимся к основным параметрам вегетационного периода, связанным с переходом средней суточной температуры воздуха через определенные пределы. Анализ полученных результатов определения дат перехода ССТ через значение 10 °С весной и осенью по методике Педя [10] продолжительности периода с ССТ > 10 °С, сумм температур и осадков показал, что между станциями нет больших различий (табл. 3).

Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

Таблица 3

Характеристики периода со среднесуточными температурами более 10 °С
 Characteristics of the period with average daily temperatures above 10°C

Станция	Начало периода	Конец периода	Продолжительность периода, сутки	Сумма температур, °С	Сумма осадков, мм
Арск	126	268	142	2319	239
Елабуга	123	271	148	2440	260
Вязовые	124	270	147	2424	240
Казань	123	270	148	2476	261
Мензелинск	126	269	144	2358	234
Кайбицы	123	269	147	2398	227
Муслюмово	123	271	149	2441	235
Акташ	122	270	149	2429	234
Азнакаево	124	268	145	2342	245
Тетюши	124	270	148	2421	238
Дрожжаное	124	268	144	2365	244
Бугульма	124	268	145	2315	262
Чулпаново	122	270	148	2434	235

Примечание: Начало и конец периода вычисляются в днях от начала года.

Note: The beginning and end of the period are calculated in days from the start of the year.

Следует отметить, что весной начало рассматриваемого периода смещается на более ранние сроки со скоростью 0,2 дня/10 лет, а осенью переход наступает позднее со скоростью 1,4 дня/10 лет.

Для характеристики увлажненности территории по данным 13 метеостанций РТ рассчитывались индексы сухости Будыко, ГТК Селянинова и коэффициент увлажнения (КУ) Сапожниковой по формулам (1)–(3). Результаты расчетов за период с ССТ>10 °С представлены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристики увлажненности территории РТ
 Characteristics of moisture content on the territory of the Republic of Tatarstan

Станция	Индекс сухости (лето)		ГТК		КУ	
	Среднее значение	КНЛТ, ед./10 лет	Среднее значение	КНЛТ, ед./10 лет	Среднее значение	КНЛТ, ед./10 лет
Арск	2,72	0,10	1,05	-0,2	0,91	-0,2
Елабуга	2,94	0,23	1,09	-0,2	0,92	-0,3
Вязовые	3,00	0,04	1,01	0,0	0,83	0,0
Казань	2,70	0,16	1,07	-0,4	0,92	-0,2
Мензелинск	2,86	0,15	1,00	-0,3	0,83	-0,3
Кайбицы	3,16	0,15	0,96	-0,4	0,81	-0,2
Муслюмово	3,13	0,21	0,98	-0,3	0,77	-0,2
Акташ	3,26	0,17	0,98	-0,2	0,83	-0,1
Азнакаево	3,05	0,37	1,06	-0,3	0,88	-0,2
Тетюши	2,93	0,09	1,00	-0,2	0,84	-0,1
Дрожжаное	2,81	0,11	1,05	-0,1	0,86	-0,2
Бугульма	2,87	0,38	1,16	-0,4	0,94	-0,3
Чулпаново	3,12	0,19	0,98	-0,3	0,81	-0,2

Как видно из табл. 4, индекс сухости в летний период меняется по территории от 2,70 (ст. Казань) до 3,16 (ст. Кайбицы), индекс ГТК от 0,96 (ст. Кайбицы) до 1,16 (ст. Бугульма), величина КУ от 0,84 (ст. Муслюмово) до 1,03 (ст. Бугульма), что свидетельствует в целом о сбалансированности прихода и расхода влаги. При этом значения КНЛТ имеют положительный знак для индекса сухости и отрицательный для ГТК и КУ, что указывает на слабую тенденцию роста засушливости в регионе.

Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

Заключение

В результате выполненного исследования получены новые данные об изменчивости основных климатических показателей в регионе за длительный период. В 1828–2021 гг. в Казани во всех месяцах выявлена неравномерная тенденция роста ТВ: максимальная скорость потепления в декабре (КНЛТ = 0,28 °C/10 лет) и в марте (КНЛТ = 0,25 °C/10 лет), минимальная в июле (КНЛТ = 0,09 °C/10 лет). Вклад глобального фактора потепления в региональный составляет для года 63 %, для лета 27 % и 43 % для зимы. В зимний период температура в Казани имеет достаточно высокую зависимость от Северо-Атлантического колебания (коэффициент корреляции равен 0,60) и от Скандинавского колебания ($r = -0,49$). В летний период тесная связь устанавливается между ТВ Казани и колебанием Восточная Атлантика – Западная Россия ($r = -0,71$). Зимой Северная Атлантика способствует нагреву региона, а летом охлаждению.

Наблюдается динамика агроклиматических ресурсов. Так, переход SST через 10 °C весной на территории РТ происходит на 122–126 сутки от начала года, а осенью заканчивается на 268–271 сутки. Продолжительность активной фазы вегетационного периода растет со скоростью от 0,57 до 3,38 суток/10 лет за счет ее более раннего наступления весной и более позднего завершения осенью. Сумма активных температур в РТ растет со скоростью 51–77 °C/10 лет, в поле атмосферных осадков, наоборот, проявляется неоднородность: по данным одних станций, суммы осадков уменьшаются, а по другим – растут. Анализ показателей увлажненности и засушливости (индексов Будыко, ГТК, Сапожниковой) выявил, что в целом на территории Татарстана выполняется примерное равенство между приходом и расходом влаги. Вместе с тем тренды этих показателей говорят о слабой тенденции роста засушливости в летний период.

Оценка показателя биологической эффективности климата (БЭК) демонстрирует, что в целом по РТ он близок к своему оптимальному значению (БЭК \approx 22).

Библиографический список

1. Анализ условий аномальной погоды на территории России летом 2010 г. Сборник докладов / под ред. Н.П. Шакиной. ГУ «Гидрометцентр России». М.: Триада, Лтд, 2011. 72 с.
2. Броннер Ф.К. Следствия из метеорологических наблюдений в Казани 1814 года // Казанские известия. 1815. № 35. С. 200–202.
3. Будыко М.И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.
4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 194 с.
5. Климат Казани и его изменения в современный период / под ред. Ю.П. Переведенцева, Э.П. Наумова. Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2006. 216 с.
6. Колобов Н.В. Климат Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1968. 252 с.
7. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / под ред. С.М. Семенова. М.: Росгидромет, 2012. 508 с.
8. Отнес Р.К. Прикладной анализ временных рядов. М.: Мир, 1982. 428 с.
9. Павлова В.Н., Переведенцев Ю.П., Караченкова А.А., Тагиров М.Ш., Мирсаева Н.А. Оценка агроклиматических ресурсов и урожайности яровой пшеницы в Республике Татарстан // Метеорология и гидрология. 2023. № 1. С. 90–102.
10. Педь Д.А. Определение дат устойчивого перехода температуры воздуха через определенные значения // Метеорология и гидрология. 1951. № 10. С. 38–39.
11. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Николаев А.А. Региональные проявления современного потепления климата в тропосфере Северного полушария // Изв. Российской академии наук. Сер. геогр. 2005. № 6. С. 6–16.
12. Переведенцев Ю.П., Гоголь Ф.В., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Динамика полей температуры воздуха Северного полушария в современный период // Проблемы анализа риска. 2007. Т. 4, № 1. С. 73–80.
13. Переведенцев Ю.П., Мирсаева Н.А. Становление и развитие метеорологических наблюдений и климатических исследований в Казанском университете // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7, № 4. С. 5–25.
14. Переведенцев Ю.П., Павлова В.Н., Парубова Е.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А., Шанталинский К.М. Современные тенденции изменения агроклиматических ресурсов на территории Приволжского федерального округа // Фундаментальная и прикладная климатология. 2022. Т. 8, № 4. С. 477–501.
15. Переведенцев Ю.П., Соколов В.В., Наумов Э.П. Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. Казань: Казанский ун-т, 2013. 272 с.
16. Смоляков П.Т. К 125-летию Метеорологической обсерватории Казанского государственного университета им. В.И. Ульянова-Ленина // Уч. записки Казанск. ун-та. 1936. Т. 96, кн. 1. С. 9–14.
17. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. СПб.: Научно-технологические, 2022. 124 с.

Метеорология

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.

18. Университет Восточной Англии. URL: <https://www.uea.ac.uk/groups-and-centres/climatic-research-unit/data> (дата обращения: 28.12.2022).
19. Шестой оценочный доклад МГЭИК. Изменение климата 2022: последствия, адаптация и уязвимость. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (дата обращения: 28.12.2022).
20. Osborn T.J., Jones P.D., Lister D.H., Morice C.P., Simpson I.R., Winn J.P., Hogan E., Harris I.C. 2021. Land surface air temperature variations across the globe updated to 2019: the CRUTEM5 dataset. *Journal of Geophys. Res.: Atmospheres*, 126, e2019JD032352, doi: 10.1029/2019JD032352.
21. Perevedentsev Y., Gusarov A., Mirsaeva N., Sherstyukov B., Shantalinsky K., Guryanov V., Aukhadeev T. 2022. Contemporary Climate Change and Its Hydrological Consequence in the Volga Federal District, European Russia. *Climate*, 10, 198, doi.org/10.3390/cli10120198.

References

1. Shakina N.P. (ed.) (2011) *Analiz uslovij anomal'noj pogody na territorii Rossii letom 2010* [Analysis of abnormal weather conditions on the territory of Russia in the summer of 2010]. GA «Hydrometeorological Center of Russia». Triada, Ltd, Moscow, Russia.
2. Bronner F.K. (1815) Consequences from meteorological observations in Kazan in 1814. *Kazanskije izvestija*, no. 35, pp. 200–202.
3. Budyko M.I. (1971) *Klimat i zhizn'* [Climate and life], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia.
4. Gruza G.V., Rankova E.Ya. (2012) *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozduha* [Observed and expected climate changes in Russia: air temperature], RIHMI-WDC, Obninsk, Russia.
5. Perevedentsev Yu.P., Naumov E.P. (2006) *Klimat Kazani i ego izmeneniya v sovremennyj period* [The climate of Kazan and its changes in the modern period], Publishing house of Kazan State University, Kazan, Russia.
6. Kolobov N.V. (1968) *Klimat Srednego Povolzh'ja* [Climate of the Middle Volga region], Publishing house of Kazan State University, Kazan, Russia.
7. Semenov S.M. (2012) *Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlja fizicheskikh i biologicheskikh system* [Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems], Rosgidromet, Moscow, Russia.
8. Otnes R.K. (1982) *Prikladnoj analiz vremennyh rjadov* [Applied Time Series Analysis], Mir, Moscow, Russia.
9. Pavlova V.N., Perevedentsev Yu.P., Karachenkova A.A., Tagirov M.Sh., Mirsaeva N.A. (2023) Assessment of agro-climatic resources and productivity of spring wheat in the Republic of Tatarstan // *Meteorologija i gidrologija*, no. 1, pp. 90–102.
10. Ped' D.A. (1951) Determination of dates of stable transition of air temperature through certain values // *Meteorologija i gidrologija*, no. 10, pp. 38–39.
11. Perevedentsev Yu.P., Vereshhagin M.A., Naumov E.P., Shantalinsky K.M., Nikolaev A.A. (2005) Regional manifestations of modern climate warming in the tropo-stratosphere of the Northern Hemisphere // *Izv. Rossijskoj akademii nauk. Ser. geogr.*, no. 6, pp. 6–16.
12. Perevedentsev Yu.P., Gogol' F.V., Naumov E.P., Shantalinsky K.M. (2007) Dynamics of air temperature fields in the Northern Hemisphere in the modern period, *Problemy analiza riska*, vol. 4, no. 1, pp. 73–80.
13. Perevedentsev Yu.P., Mirsaeva N.A. (2021) Formation and development of meteorological observations and climate research at Kazan University // *Fundamental'naja i prikladnaja klimatologija*, vol. 7, no. 4, pp. 5–25.
14. Perevedentsev Yu.P., Pavlova V.N., Parubova E.M., Mirsaeva N.A., Nikolaev A.A., Shantalinsky K.M. (2022) Modern trends in changes in agro-climatic resources in the Volga Federal District // *Fundamental'naja i prikladnaja klimatologija*, vol. 8, no. 4, pp. 477–501.
15. Perevedentsev Yu.P., Sokolov V.V., Naumov E.P. (2013) *Klimat i okruzhajushhaja sreda Privolzhskogo federal'nogo okruga* [Climate and environment of the Volga Federal District], Publishing house of Kazan State University, Kazan, Russia.
16. Smoljakov P.T. (1936) To the 125th anniversary of the Meteorological Observatory of Kazan State University named after V.I. Ulyanov-Lenin // *Uch. zapiski Kazansk. un-ta*, vol. 96, book. 1, pp. 9–14.
17. Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary (2022) Science-intensive technologies, St. Petersburg, Russia.
18. University of East Anglia, available at: <https://www.uea.ac.uk/groups-and-centres/climatic-research-unit/data> (Access: 28 December 2022).
19. Sixth Assessment Report of the IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (Access: 28 December 2022).
20. Osborn T.J., Jones P.D., Lister D.H., Morice C.P., Simpson I.R., Winn J.P., Hogan E., Harris I.C. (2021) Land surface air temperature variations across the globe updated to 2019: the CRUTEM5 dataset, *Journal of Geophys. Res.: Atmospheres*, 126, e2019JD032352, doi: 10.1029/2019JD032352.
21. Perevedentsev Yu.P., Gusarov A., Mirsaeva N., Sherstyukov B., Shantalinsky K., Guryanov V., Aukhadeev T. (2022) Contemporary Climate Change and Its Hydrological Consequence in the Volga Federal District, European Russia. *Climate*, no. 10, 198, doi.org/10.3390/cli10120198.

Статья поступила в редакцию: 25.04.23, одобрена после рецензирования: 22.05.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 25 April 2023; approved after review: 22 May 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

*Метеорология**Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.*

Информация об авторах

Information about the authors

Юрий Петрович Переведенцев

доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета;
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18
e-mail: yperaved@kpfu.ru

Yuri P. Perevedentsev

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Environmental Sciences and Nature Management of Kazan (Volga Region) Federal University;
18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia

Константин Михайлович Шанталинский

кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета;
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18
e-mail: kshantal@kpfu.ru

Konstantin M. Shantalinsky

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Environmental Sciences and Nature Management of Kazan (Volga Region) Federal University;
18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia

Надежда Александровна Мирсаева

кандидат географических наук, заведующий кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета;
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

Nadezhda A. Mirsaeva

Candidate of Geographical Sciences, Head of the Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Environmental Sciences and Nature Management of Kazan (Volga Region) Federal University;
18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia

e-mail: NAMirsaeva@kpfu.ru

Александр Анатольевич Николаев

кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета;
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, 18
e-mail: Aleksandr.Nikolaev@kpfu.ru

Alexander A. Nikolaev

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Environmental Sciences and Nature Management of Kazan (Volga Region) Federal University;
18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia

Вклад авторов

Переведенцев Ю.П. – идея статьи, организация работ, анализ данных, написание статьи.
Шанталинский К.М. – проведение расчетов, сбор и обработка данных, подготовка графического материала.
Мирсаева Н.А. – анализ данных, редактирование статьи.
Николаев А.А. – проведение расчетов, подготовка графического материала.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Yuri P. Perevedentsev – idea of the article; organization of work; data analysis; writing the article.
Konstantin M. Shantalinsky – numerical simulations; data collection and processing; preparation of graphic material.
Nadezhda A. Mirsaeva – data analysis; editing of the article.
Alexander A. Nikolaev – numerical simulations; preparation of graphic material.
The authors declare no conflict of interest.