

Научная статья

УДК 551.583.1

DOI: 10.17072/2079-7877-2026-3-127-140

EDN: KZEFTW



ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН В ПЕРИОД 1966–2025 ГГ. И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Юрий Петрович Переведенцев ✉, Тимур Ринатович Аухадеев, Надежда Александровна Мирсаева,
Александр Анатольевич Николаев, Айдар Динарович Янгиров

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

✉ yperaved@kpfu.ru, ORCID: 0000-0002-3181-6227, Scopus Author ID: 6603045210, e-Library AuthorID: 58828

Аннотация. Рассматриваются тенденции изменения основных климатических показателей – температуры воздуха, атмосферного давления, относительной влажности воздуха, атмосферных осадков, облачности и солнечной радиации на территории Республики Татарстан в период 1966–2025 гг. Информационной базой послужили ежедневные данные наблюдений 14 метеостанций и данные реанализа ERA5 с разрешением 0,25°. Многолетние данные подвергались статистической обработке как в целом по периоду 1966–2025 гг. (60 лет), так и по 30-летним подпериодам 1966–1995 и 1996–2025 гг., что позволило оценить динамику изменения региональных климатических показателей и взаимосвязь между ними в условиях современного глобального потепления климата. Так, осредненная за 10-летия температура воздуха с периода 1966–2025 к периоду 2016–2025 гг. повысилась в январе на 5,2 °С, годовое значение – на 2,0 °С. Величина относительной влажности, наоборот, понизилась в этот период за исключением января. Годовая сумма осадков возрастала со скоростью 0,29 мм /10 лет, в то же время в июле сумма осадков понижалась, что способствует росту засушливости. Годовое атмосферное давление уменьшилось, при этом давление и осадки меняются в противофазе. Выявлено, что летом приход солнечной радиации возрастает, а в другие сезоны уменьшается. При этом между общей облачностью и приходящей суммарной радиацией устанавливается тесная корреляционная зависимость с отрицательным знаком, наиболее высокая в летний и осенний периоды. Между облачностью и атмосферными осадками, наоборот, связь положительная. Дана оценка изменчивости испаряемости, испарения и годового стока в рассматриваемый период. По полученным значениям гидрологических характеристик территорию Татарстана можно отнести к зоне достаточного увлажнения. Оценивалось влияние ряда атмосферных циркуляционных мод на метеорологические характеристики. Выявлено, что зимой наибольшее влияние на изменения метеорологических величин оказывает Скандинавский блокинг, а летом колебание Восточная Атлантика – Западная Россия.

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферное давление, относительная влажность воздуха, атмосферные осадки, испарение, индексы атмосферной циркуляции, тенденция, корреляция

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Академии наук Республики Татарстан по проекту № 26-27-20001.

Для цитирования: Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д. Изменения основных климатических показателей на территории Республики Татарстан в период 1966–2025 гг. и их последствия для гидрологического режима // Географический вестник = Geographical bulletin. 2026. № 3(78). С. 127–140. EDN: KZEFTW DOI: 10.17072/2079-7877-2026-3-127-140

Original article

DOI: 10.17072/2079-7877-2026-3-127-140

EDN: KZEFTW

CHANGES IN THE MAIN CLIMATIC INDICATORS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN IN 1966–2025 AND THEIR CONSEQUENCES FOR THE HYDROLOGICAL REGIME

Yuri P. Perevedentsev ✉, Timur R. Aukhadееv, Nadezhda A. Mirsaeva, Alexander A. Nikolaev, Aidar D. Yangirov
Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

✉ yperaved@kpfu.ru, ORCID: 0000-0002-3181-6227, Scopus Author ID: 6603045210, eLibrary AuthorID: 58828

© Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д., 2026



Лицензировано под CC BY 4.0. Чтобы посмотреть копию этой лицензии, посетите
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

Abstract. The article analyzes the trends in the change of the main climatic parameters – air temperature, atmospheric pressure, relative humidity, precipitation, cloudiness, and solar radiation – in the Republic of Tatarstan over the period 1966–2025. The information base of the study includes daily observation data from 14 meteorological stations and data of ERA5 reanalysis with a resolution of 0.25 °. Long-term data were statistically processed both for the period 1966–2025 as a whole (60 years) and for the 30-year sub-periods 1966–1995 and 1996–2025, which made it possible to assess the dynamics of change in regional climatic parameters and the relationship between them in the context of modern global warming. It has been found that from 1966–2025 to 2016–2025 the air temperature averaged over 10 years increased by 5.2 °C in January, while the annual value increased by 2.0 °C. The relative humidity, on the contrary, decreased during this period, with the exception of January. The annual precipitation grew at a rate of 0.29 mm/10 years, while in July precipitation amount decreased, which contributed to higher aridity. The annual atmospheric pressure lowered; pressure and precipitation changed in antiphase. The incoming solar radiation was found to increase in the summer and decrease in other seasons. There is noted a strong negative correlation between the total cloudiness and the incoming total radiation, most pronounced in the summer and autumn seasons. Conversely, the relationship between cloudiness and atmospheric precipitation is positive. We also assessed the variability of evaporability, evaporation, and annual runoff during the period under consideration. According to the obtained values of hydrological characteristics, the territory of Tatarstan can be classified as a zone of sufficient moisture. Assessing the influence of a number of atmospheric circulation modes on the meteorological characteristics, we have found that in the winter, changes in meteorological variables are primarily influenced by the Scandinavian blocking, while in the summer – by the East Atlantic – Western Russia Oscillation.

Keywords: air temperature, atmospheric pressure, relative humidity, precipitation, evaporation, atmospheric circulation indices, trend, correlation.

Funding. This study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan under project No. 26-27-20001.

For citation: Perevedentsev Yu. P., Aukhadееv T. R., Mirsaeva N. A., Nikolaev A. A., Yangirov A. D. Changes in the main climatic indicators in the Republic of Tatarstan in 1966–2025 and their consequences for the hydrological regime. *Geographical Bulletin*, no. 3(78), pp. 127–140. EDN: KZEFTW DOI: 10.17072/2079-7877-2026-3-127-140

Введение

Проблема современных изменений климата и их влияния на человеческое общество выдвинулась в ряд первоочередно важных [13]. Согласно 6-му оценочному докладу МГЭИК (2021 г.) [22], главной причиной современного глобального потепления является антропогенный фактор. При этом скорость потепления климата как в Северном и Южном полушариях, так и в регионах Земли различная: в последние десятилетия на территории России среднегодовая температура воздуха растет в два с половиной раза быстрее, чем глобальная температура [2]. Особенно активно этот процесс происходит в арктической зоне, где зимой скорость роста температуры достигает 1,3 °C/10 лет [1]. По мнению автора [14], это явление формируется под влиянием ряда климатических обратных связей, в том числе из-за зависимости альбедо поверхности от температуры. Наблюдаемый рост средней глобальной температуры, обусловленный антропогенным увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере, сопровождается увеличением частоты, интенсивности и продолжительности таких явлений, как волны жары, экстремальные осадки, засухи, наводнения, ураганы и лесные пожары, что создает новые риски для природных и социально-экономических систем [6]. В [3] дана оценка современного и будущего состояния глобальных экологических и климатических проблем, рассматривается состояние компонент земной системы. В [16] дана комплексная оценка тенденций изменения ряда климатических показателей на территории России в период 1976–2023 гг. В [20] главное внимание уделено экстремальным проявлениям климатических изменений на территории России в период 1980–2022 гг.

Изучению климатических условий на территории Республики Татарстан (РТ) за длительный период, начиная с 1815 г. по настоящее время, посвящены многочисленные публикации, обзор которых содержится в [17]. В данной статье впервые представлен комплексный анализ изменений температуры воздуха, атмосферного давления, относительной влажности, облачности, атмосферных осадков, солнечной радиации за последние десятилетия. Показана динамика испарения и климатического стока. Рассмотрены взаимосвязь между метеополями и влияние на них атмосферной циркуляции.

Цель данной статьи – рассмотреть тенденции изменения основных гидрометеорологических показателей на территории РТ в период 1966–2025 гг. и их последствия для гидрологического режима.

Материалы и методы

Исходными данными для выполнения работы послужили результаты ежедневных метеорологических наблюдений за 1966–2025 гг. на 14 метеостанциях, расположенных на территории РТ (фонд ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД») (рис. 1). Радиационные характеристики и облачности рассчитывались по данным реанализа [21]. Дополнительно привлекались ежечасные данные реанализа ERA-5 с пространственным разрешением 0,25×0,25°.

Схема района исследования изображена на рис. 1.

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

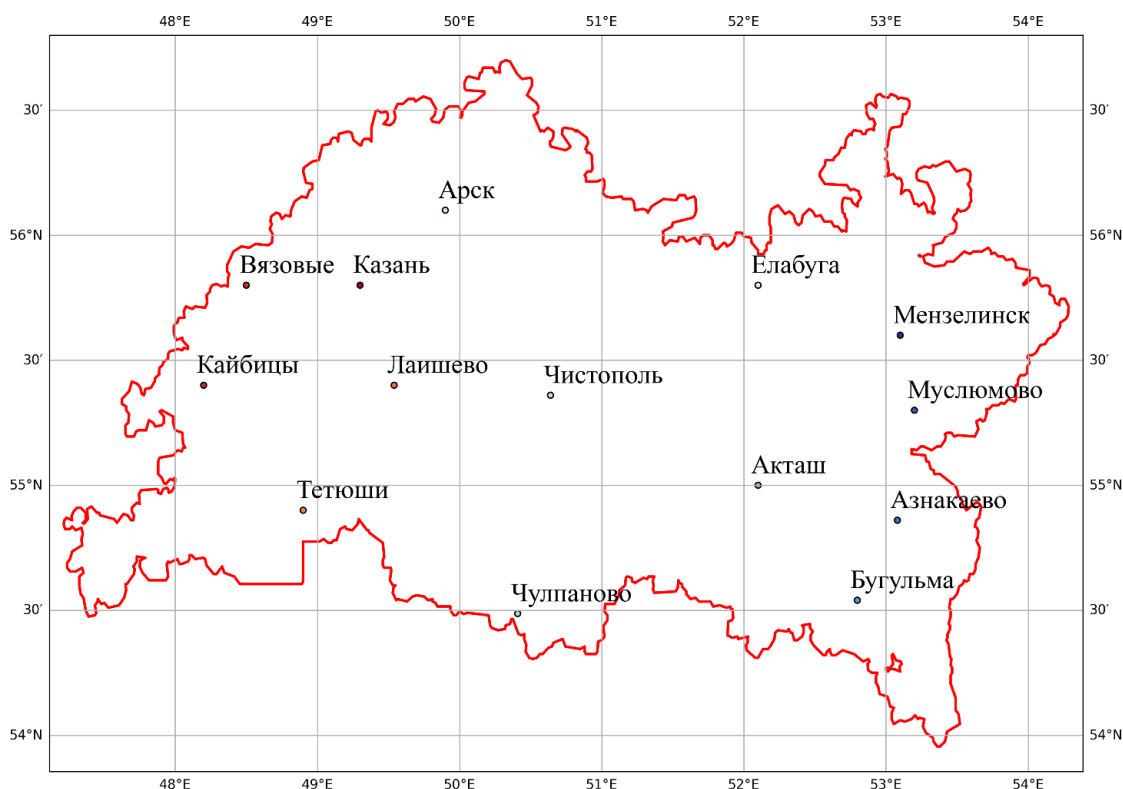


Рис. 1. Расположение метеорологических станций на территории Республики Татарстан

Fig. 1. Location of meteorological stations on the territory of the Republic of Tatarstan

В результате статистической обработки исходных данных находились средние значения, средние квадратические отклонения (СКО), коэффициенты наклона линейных трендов метеовеличин (КНЛТ), коэффициенты корреляции между отдельными метеопараметрами и индексами атмосферной циркуляции с оценкой их достоверности. Для получения динамики климатических изменений расчеты проводились для 3-х периодов: 1966–2025 (60 лет), 1966–1995 (30 лет), 1996–2025 гг. (30 лет). Затем между показателями позднего и раннего подпериодов находилась разность.

Для выделения систематической составляющей изменений метеовеличин для центральных месяцев были построены линейные тренды [18]:

$$y(t) = at + b, \quad (1)$$

где $y(t)$ – сглаженное значение метеовеличины на момент времени t ($t = 1, 2, 3, \dots, n$); a – угловой коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ), характеризует скорость изменения метеовеличин; b – свободный член (начальное значение линии тренда). В нашем случае t порядковый номер года, где 1966 г. соответствует номеру 1.

Величина годового стока рассчитывалась по формуле [7]:

$$Y = P - E(P, E_0), \quad (2)$$

где Y – «климатический» сток, P – атмосферные осадки, E – суммарное испарение с поверхности, E_0 – испаряемость.

«Климатический» сток соответствует истинному значению «гидрологического» стока.

Для расчета испарения использовалась формула Шрайбера [5]:

$$E = P \left(1 - e^{\frac{-E_0}{P}} \right). \quad (3)$$

Величину E_0 рассчитывали по формуле Н.Н. Иванова [9]:

$$E_{\text{мес.}} = 0,0018 (25 + t)^2 (100 - f), \quad (4)$$

где t – среднемесячная температура воздуха, °C, f – среднемесячная относительная влажность воздуха, %.

Коэффициент стока рассчитывался по формуле [4]:

$$\alpha = \frac{Y}{P} = 1 - \frac{E}{P}, \quad (5)$$

где $\frac{E}{P}$ – коэффициент испарения.

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

Результаты и их обсуждение

С целью оценки динамики изменения основных метеорологических величин – температуры и относительной влажности воздуха, атмосферного давления и атмосферных осадков – проводился анализ осредненных по десятилетиям в период 1966–2025 гг. данных 14 метеостанций. Результаты метеонаблюдений осреднялись по территории РТ (табл. 1–4).

Как видно из таблицы 1, в январе средняя температура в последнем десятилетии (2016–2025 гг.) выросла по сравнению с первым (1966–1975 гг.) на 5,2 °С. Потепление произошло и в другие центральные месяцы сезонов. Годовая температура повысилась на 2,0 °С. Наибольшая скорость потепления отмечена в январе (0,88 °С/10 лет). В июле скорость потепления заметно ниже (0,34 °С/10 лет).

Величина относительной влажности f , наоборот, во все центральные месяцы сезонов на территории РТ, кроме января, и за год уменьшается (табл. 2). Значения КНЛТ > 0 только для января (1,4 %/10 лет). Наибольшая скорость уменьшения величины f отмечена в апреле (–2,15 %/10 лет). Годовое значение КНЛТ f составляет (–0,6 %/10 лет). Так как относительная влажность зависит от температуры воздуха, при ее увеличении параметр f должен уменьшаться.

Таблица 1

Table 1

Средняя за десятилетия температура воздуха (°С) осредненная по территории РТ
The average air temperature over the decades (°C) averaged for the territory of the Republic of Tatarstan

Месяцы	Годы						КНЛТ, °С/10 лет
	1966–1975	1976–1985	1986–1995	1996–2005	2006–2015	2016–2025	
Январь	–15,4	–12,1	–11,9	–10,3	–12,2	–10,2	0,88
Апрель	5,6	4,0	5,8	4,6	5,6	6,8	0,34
Июль	19,2	19,0	18,8	20,4	20,1	20,6	0,34
Октябрь	3,4	2,4	3,7	4,7	4,8	5,6	0,58
Год	3,3	3,3	3,8	4,2	4,8	5,3	0,46

Таблица 2

Table 2

Средняя за десятилетия относительная влажность (%) осредненная по территории РТ
The average relative humidity over the decades (%) averaged for the territory of the Republic of Tatarstan

Месяцы	Годы						КНЛТ, %/10 лет
	1966–1975	1976–1985	1986–1995	1996–2005	2006–2015	2016–2025	
Январь	80,2	83,4	85,4	85,5	82,7	81,5	0,14
Апрель	72,5	73,3	73,0	69,3	66,6	62,5	–2,15
Июль	68,6	72,7	72,5	70,5	66,3	64,8	–1,18
Октябрь	79,0	84,0	82,6	81,0	79,2	76,2	–0,86
Год	74,0	77,1	77,6	76,8	74,1	71,9	–0,59

Атмосферные осадки, согласно оценке линейных трендов, возрастают в январе, апреле, в целом в году и уменьшаются в июле и октябре (табл. 3). Скорости изменения сумм осадков невелики. Так, в январе сумма осадков растет со скоростью 1,53 мм/10 лет, в году со скоростью 0,29 мм/10 лет. Уменьшение осадков наиболее заметно в июле (КНЛТ = –1,52 мм/10 лет). Междекадная динамика атмосферных осадков такова: в январе в последнюю декаду их выпало 44,0 мм, что на 16,8 мм больше, чем в первое десятилетие (1966–1975 гг.), а в июле, наоборот, в период 2016–2025 гг. их выпало на 6,5 мм меньше, чем в первое десятилетие. Таким образом, проявляется тенденция к засухливости в период вегетации, что было ранее отмечено в работе [15].

Таблица 3

Table 3

Средняя за десятилетия сумма осадков (мм) осредненная по территории РТ
The average amount of precipitation over the decades (mm) averaged for the territory of the Republic of Tatarstan

Месяцы	Годы						КНЛТ, мм/10 лет
	1966–1975	1976–1985	1986–1995	1996–2005	2006–2015	2016–2025	
Январь	27,2	42,0	34,5	34,0	33,1	44,0	1,53
Апрель	32,9	31,3	32,0	24,1	31,1	41,8	0,83
Июль	58,5	63,4	66,8	50,7	60,1	52,0	–1,52
Октябрь	53,7	46,9	54,1	53,0	48,9	46,2	–0,80
Год	470,8	522,8	517,5	525,4	505,4	504,9	0,29

Атмосферное давление меняется противоположно относительно атмосферных осадков (табл. 4). Так, в январе и апреле тенденция давления отрицательна, что свидетельствует об усилении циклонической

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

деятельности, а в июле и октябре давление растет (осадки уменьшаются). Годовая величина атмосферного давления уменьшается, а осадки возрастают. Таким образом, обнаруживается закономерность – атмосферные осадки и давление меняются в противофазе.

Таблица 4

Table 4

Среднее за десятилетие атмосферное давление (гПа) осредненное по территории РТ
The average atmospheric pressure over the decade (hPa) averaged for the territory of the Republic of Tatarstan

Месяцы	Годы						КНЛТ, гПа/10 лет
	1966–1975	1976–1985	1986–1995	1996–2005	2006–2015	2016–2025	
Январь	1024,4	1020,5	1016,6	1018,9	1022,5	1019,1	–0,60
Апрель	1017,8	1016,7	1018,8	1018,8	1015,2	1015,2	–0,52
Июль	1010,6	1010,4	1009,9	1012,9	1011,3	1010,2	0,10
Октябрь	1016,8	1016,7	1019,3	1018,0	1018,8	1019,3	0,38
Год	1018,0	1017,4	1016,6	1016,7	1017,0	1016,7	–0,24

Перейдем к рассмотрению климатических изменений по месяцам и станциям, что позволит более детально проанализировать пространственно-временную изменчивость метеовеличин на территории РТ.

Рассчитанные разности среднемесячных значений температуры воздуха между более «поздним» (1996–2025 гг.) и «ранним» (1966–1995 гг.) периодом выявили круглогодичное потепление, особенно интенсивное в январе, феврале, октябре, ноябре. Годовые разности меняются от 1,1 °С (ст. Лаишево) до 1,6 °С (ст. Казань).

Атмосферное давление по среднегодовым значениям понизилось на всех станциях РТ в диапазоне от –0,3 гПа (ст. Казань) до –0,7 гПа (ст. Чистополь). При этом понижение давления произошло в период январь–июнь, а повышение в период июль–декабрь (вторая половина года). Наиболее сильно давление понижалось в феврале, марте, мае, а повышалось в июле, октябре.

Годовые разности относительной влажности, за исключением ст. Чулпаново, отрицательные (влажность уменьшается). Устойчиво понижается величина f на всех станциях в марте, апреле, июле, октябре.

Анализ разностей между средними годовыми значениями метеовеличин 2-х тридцатилетних периодов – позднего (1996–2025 гг.) и раннего (1966–1995 гг.) – показывает следующее: среднегодовая температура воздуха (СГТВ) растет на всех станциях. Положительная разность составила на ст. Чулпаново (1,10 °С), а максимум на ст. Казань (1,63 °С). Сумма годовых осадков на большинстве станций выросла (максимум в Казани на 45,82 мм), но на 4-х станциях уменьшилась (ст. Лаишево, Чистополь, Бугульма, Чулпаново). На станции Чулпаново годовая сумма осадков уменьшилась на 17,02 мм. Величина относительной влажности уменьшилась на всех станциях за исключением ст. Чулпаново. Эти изменения невелики: от –0,87 (ст. Бугульма) до –3,42 % (ст. Арск). Величина годового давления повсеместно понизилась – от –0,31 (ст. Казань) до –0,72 гПа (ст. Арск).

Таким образом, годовые значения метеовеличин меняются по территории РТ достаточно согласовано.

Рассмотрим территориальные различия среднемесячных метеовеличин.

Среднеянварская температура воздуха изменялась на территории РТ в период (1966–2025 гг.) в пределах от –12,79 (ст. Муслумово) до –11,31 °С (ст. Казань). Перепад составил 1,48 °С. В апреле ТВ на ст. Бугульма составила 4,94 °С, на ст. Актас – 5,81 °С (перепад – 0,87 °С). В июле теплее всего в Казани (20,14 °С), а холоднее в Бугульме (18,93 °С, перепад – 1,21 °С), в октябре температура менялась от 3,37 (ст. Бугульма) до 4,48 °С (ст. Казань). Перепад составил 1,11 °С. Таким образом, территориальные различия в июле температуры невелики, а наибольшие различия формируются зимой. Годовые температуры достигают максимума в Казани (4,61 °С), сказывается обогревающее влияние большого города, а минимальные в Бугульме (3,51 °С) в условиях Бугульминской возвышенности (рис. 2, 3).

Скорости роста средней температуры (°С/10 лет), согласно расчетам КНЛТ, в этот период таковы: в январе она меняется от 0,76 (ст. Лаишево) до 0,96 °С/10 лет (ст. Казань); в апреле от 0,25 (ст. Кайбицы) до 0,42 °С/10 лет (ст. Казань); в июле от 0,27 (ст. Чулпаново) до 0,42 °С/10 лет (ст. Казань); в октябре от 0,48 (ст. Чулпаново) до 0,66 °С/10 лет (ст. Чистополь); в году от 0,39 (ст. Чулпаново) до 0,56 °С/10 лет (ст. Казань). Таким образом, в крупном городе скорость потепления наибольшая, что было выявлено ранее в работе [8].

СКО температуры воздуха в период 1966–2025 гг. меняется в следующих пределах: в январе от 3,90 (ст. Лаишево) до 4,49 °С (ст. Муслумово), в июле от 1,75 (ст. Чулпаново) до 1,99 °С (ст. Казань). Хорошо прослеживается годовой ход – зимой межгодовая изменчивость температуры максимальная, летом минимальная. Годовые значения СКО меняются в пределах от 1,13 (ст. Бугульма) до 1,31 °С (ст. Казань).

Средняя сумма атмосферных осадков испытывает годовой ход. Их количество минимально в марте, наименьшее количество осадков выпадает в Муслумово (19,26 мм), а наибольшее в Казани (31,42 мм). Наибольшее количество осадков выпадает в летние месяцы – июне и июле. Так, в июле по территории они менялись от 51,17 (ст. Чулпаново) до 68,14 мм (ст. Казань). Годовые суммы осадков меняются по территории РТ в пределах от 448,93 (ст. Муслумово) до 557,78 мм (ст. Казань). КНЛТ годовых сумм осадков колеблется от –

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

4,23 (ст. Чулпаново) до 12,76 мм (ст. Вязовые). Таким образом, на юге РТ годовое количество осадков уменьшается, а на северо-западе, наоборот, возрастает (рис. 4).

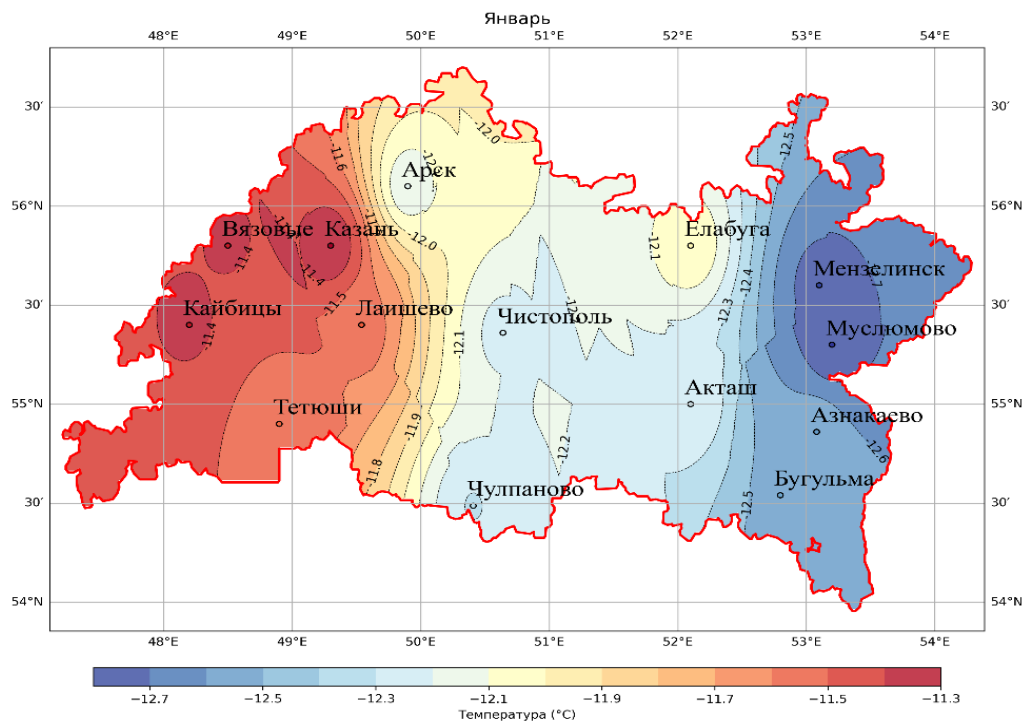


Рис. 2. Средняя январская температура воздуха (°C)

Fig. 2. Average January air temperature (°C)

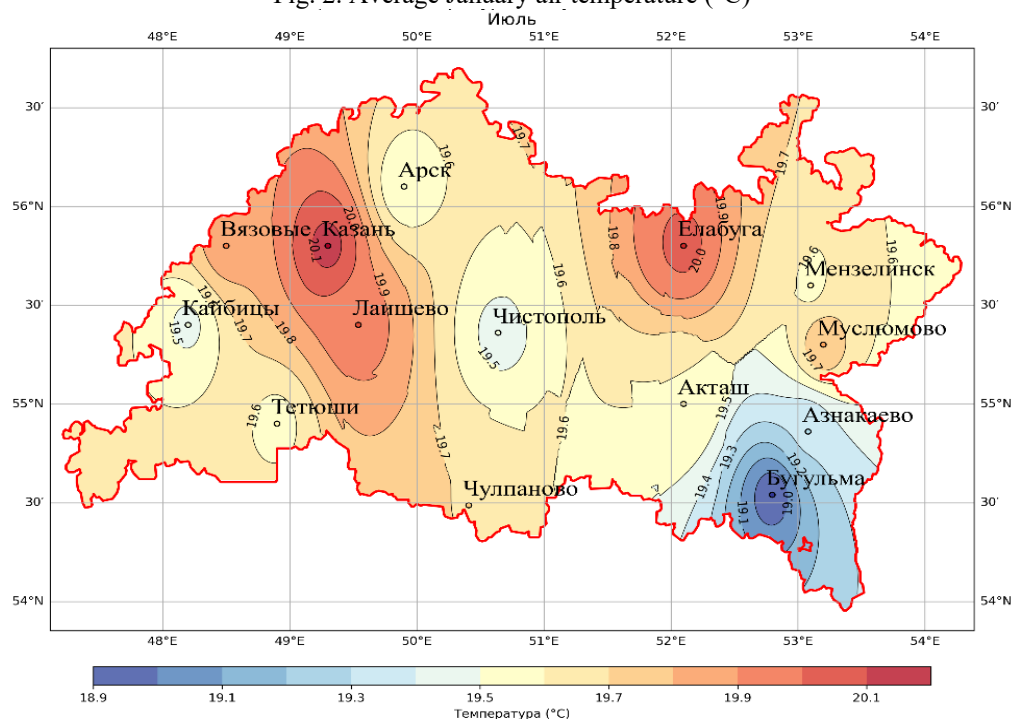


Рис. 3. Средняя июльская температура воздуха (°C)

Fig. 3. Average July air temperature (°C)

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

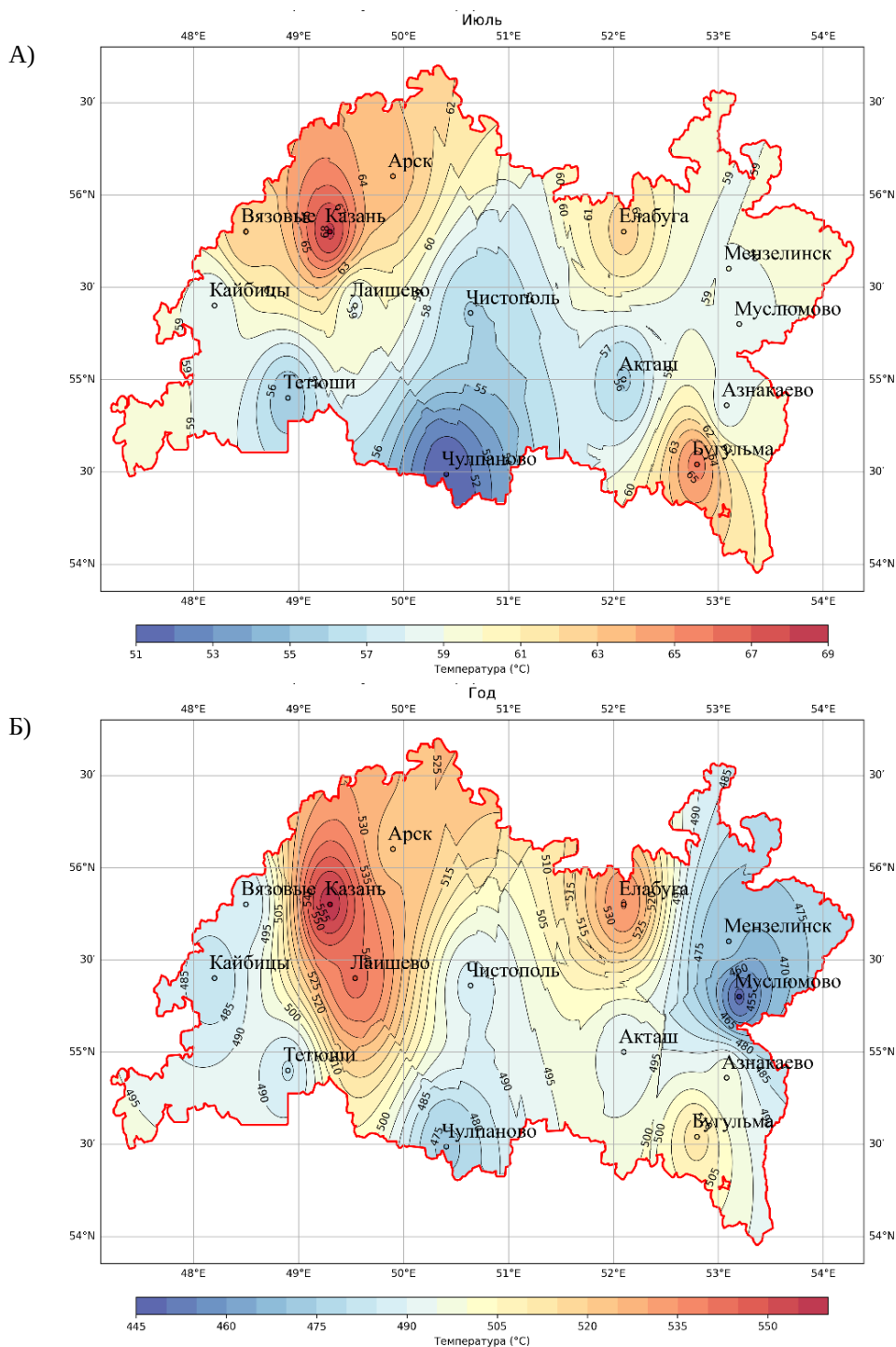


Рис. 4. Средняя сумма атмосферных осадков: июль (А), год (Б) (мм)

Fig. 4. Average precipitation: July (A), year (B) (mm)

Осредненная по территории РТ за 60 лет относительная влажность достигает максимальных значений в декабре на ст. Тетюши (86,35 %), а минимальные значения отмечаются в мае на ст. Бугульма (54,95 %). Годовые значения величины f меняются по территории незначительно – от 72,93 (ст. Азнакаево) до 76,45 мм (ст. Чулпаново). Величины КНЛТ относительной влажности невелики. Так, годовые значения меняются от –1,03 (ст. Елабуга) до 0,11 %/10 лет (ст. Чулпаново).

Величина атмосферного давления в годовом ходе достигает максимума в феврале (1022 гПа, ст. Азнакаево), а минимума в июле (1010,43 гПа, ст. Муслюмово). Территориальные различия малы. Средние годовые значения меняются от 1016,53 (ст. Арск) до 1017,65 гПа (ст. Азнакаево). Значения КНЛТ величины P также малы. Их годовые значения меняются в пределах от –0,18 (ст. Лаишево) до –0,27 гПа/10 лет

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

(ст. Мензелинск). На всей территории РТ давление понижается. Максимальная скорость падения P отмечается в марте (ст. Чистополь, $-1,48$ гПа/10 лет).

СКО средней суммы осадков, наоборот, достигает максимальных значений в летний период. Так, в июле СКО меняется от 31,26 (ст. Елабуга) до 42,69 мм (ст. Бугульма), в январе изменения происходят в пределах от 13,67 (ст. Муслумово) до 18,73 мм (ст. Елабуга). Годовые значения СКО находятся в диапазоне 75,57 (ст. Муслумово) – 102,54 мм (ст. Лаишево).

СКО относительной влажности наибольших значений достигают в период июнь-август. Так, в январе максимальное значение отмечено на ст. Арск (7,86 %), а минимальное на ст. Чулпаново (6,02 %), в ноябре отмечаются самые низкие значения СКО: от 3,28 (ст. Казань) до 4,85 % (ст. Муслумово). Годовые значения СКО относительной влажности не очень значительны и меняются от 2,53 (ст. Чулпаново) до 3,81 % (ст. Акташ).

Значения СКО атмосферного давления максимальны зимой и минимальны летом. Так, в январе на ст. Арск СКО достигает 7,70 гПа, на ст. Чулпаново – 7,22 гПа. В июле СКО давления меняется от 2,38 (ст. Чулпаново) до 2,63 гПа (ст. Казань). СКО среднегодовых значений давления невелико. Эта величина меняется от 1,77 (ст. Чулпаново) до 1,92 гПа (ст. Арск).

Расчет коэффициентов корреляции (r) между метеовеличинами и индексами атмосферной циркуляции выявил активную роль циркуляционного фактора в их изменчивости. Так, скандинавский блокинг (SCAND) приводит к понижению температуры воздуха зимой ($r < 0$), повышению давления ($r > 0$). Циркуляционная мода Восточная Атлантика – Западная Россия (EA/WR) приводит к понижению летней температуры ($r < 0$) и повышению относительной влажности ($r > 0$). Связь метеовеличин с Северо-Атлантическим колебанием (NAO) оказалась заметно слабее, чем с другими индексами. Обнаруженные связи физически объяснимы (табл. 5).

Таблица 5
Table 5

Значения коэффициентов парной корреляции между индексами атмосферной циркуляции и метеорологическими величинами осредненными по территории РТ
The coefficients of paired correlation between atmospheric circulation indices and meteorological values averaged for the territory of the Republic of Tatarstan

Индекс	Месяц			
	I	IV	VII	X
Температура				
NAO	0,36	-0,17	-0,11	-0,14
SCAND	-0,58	-0,20	0,05	-0,39
EA/WR	-0,17	-0,64	-0,74	-0,57
Давление				
NAO	-0,17	-0,12	0,06	0,00
SCAND	0,72	0,53	0,22	0,25
EA/WR	-0,47	-0,49	-0,46	-0,72
Относительная влажность				
NAO	0,24	0,23	0,06	0,25
SCAND	-0,42	-0,12	-0,07	-0,05
EA/WR	0,04	0,13	0,37	0,38
Атмосферные осадки				
NAO	-0,21	0,07	0,19	-0,12
SCAND	-0,59	-0,44	-0,15	-0,28
EA/WR	0,02	0,31	0,18	0,46

Отметим, что величины r , рассчитанные по отдельным подпериодам, заметно отличаются. Кроме того, в отдельные месяцы коэффициенты корреляции могут быть больше по величине, чем в центральные, представленные в табл. 5.

К числу основных факторов, формирующих температурный режим приземного слоя атмосферы, относятся лучистый коротковолновый приток тепла и облачность [10].

Рассмотрим пространственно-временную изменчивость приходящей суммарной солнечной радиации (СР) на территории РТ в период 1984–2025 гг. Естественно, что СР испытывает годовой ход: ее максимальный приход отмечается в июне, а минимум в декабре (рис. 5). В июне она возрастает с северо-запада РТ на юго-восток с 650 до 666 МДж/м², а в декабре в том же направлении с 48 до 69 МДж/м². При этом, согласно рассчитанным значениям КНЛТ временных рядов СР, в летний период приход суммарной радиации в регионе возрастает, а в другие сезоны уменьшается. Так, в июле скорость ее увеличения на юго-востоке РТ достигает 17 МДж/м²/10 лет, а в ноябре она уменьшается со скоростью от -12 на северо-западе РТ, до -14 МДж/м²/10 лет на востоке.

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

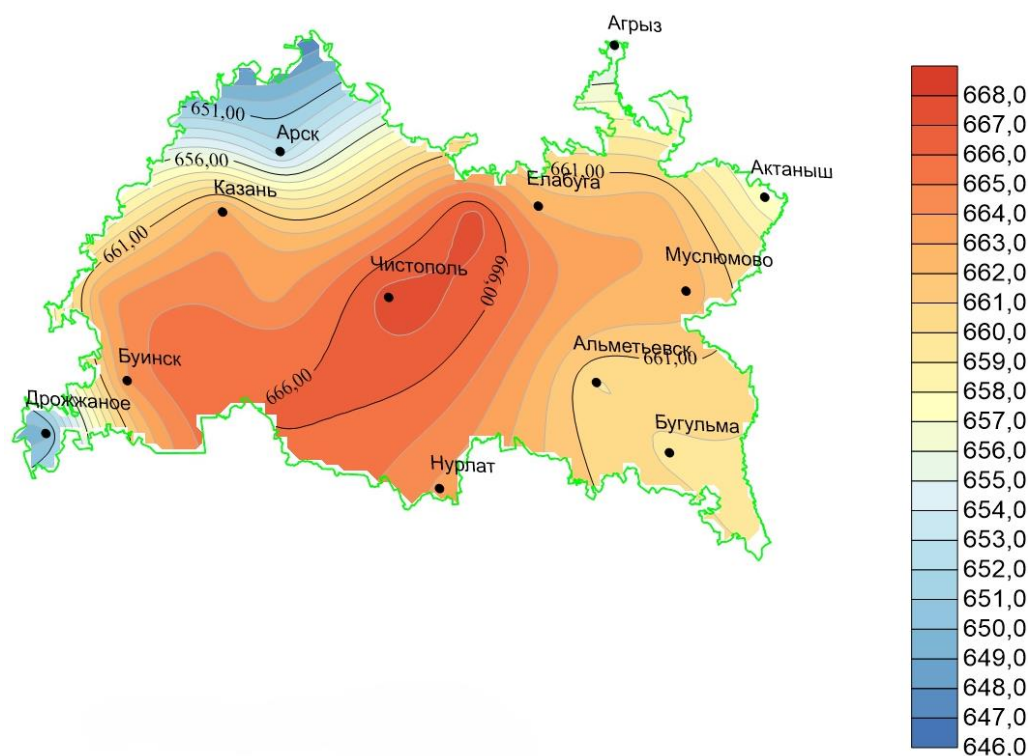


Рис. 5. Суммарная солнечная радиация в июне (МДж/м²)

Fig. 5. Total solar radiation in June (MJ/m²)

Циркуляция атмосферы косвенно влияет на приход СР к земной поверхности. Это подтверждают значимые корреляционные связи между СР и циркуляционными модами. Так, в период январь-апрель отмечается достаточно тесная корреляция СР с блокингом SCAND. Коэффициент корреляции r в феврале меняется на территории РТ в пределах от 0,56 (юго-восток) до 0,65 (северо-запад). Блокинг SCAND способствует повышению давления, созданию антициклонической ситуации и уменьшению облачности. Отметим, что с температурой воздуха связь SCAND отрицательная. Несколько слабее оказалась связь СР с Арктической осцилляцией (АО). В феврале величина r меняется на территории РТ в пределах от $-0,41$ до $-0,46$. Более тесная связь СР формируется с циркуляционной модой EA/WR в период май-сентябрь. В мае величина r достигает значений $-0,5$; $-0,6$, т.е. влияние Восточной Атлантики приводит к уменьшению приходящей СР. Отметим, что если корреляция температуры воздуха зимой с Северо-Атлантическим колебанием (NAO) имеет положительный знак, то с суммарной радиацией она отрицательная (r порядка $-0,46$).

Рассмотрим поведение облачности над территорией РТ в период 1984–2025 гг. Как известно, облачность относится к числу ведущих факторов формирования климата, являясь самым мощным регулятором радиационного режима атмосферы и подстилающей поверхности [12]. Так, в холодное полугодие обогревающий эффект облачности, способствующий уменьшению оттока длинноволновой радиации в космос (парниковый эффект), определяет около 50 % общей изменчивости температуры, а в теплое полугодие охлаждающий эффект облачности определяет около 25 % ее общей изменчивости [19]. При этом изменение количества облачности на 0,1 балла приводит к изменению температуры воздуха примерно на $0,4$ – $0,5$ °С. Согласно [11], летом в 63 % случаев увеличение количества облаков сопровождается понижением температуры, зимой в 73 % случаев ее ростом.

Анализ полученных карт распределения облачности на территории РТ в различные месяцы показывает, что в зимние месяцы она уменьшается с северо-запада на юго-восток. Так, в декабре она уменьшается в отмеченном направлении с 6,5 до 4,6 баллов, в январе с 6,4 до 6,3 баллов. Различия в распределении облачности между месяцами и по территории незначительны. Весной наблюдается зональное распределение облаков. Так, в мае их количество уменьшается с севера на юг РТ с 6,5 до 6,3 баллов. Летом также наблюдается зональное распределение общей облачности по их количеству. В июле отмечается минимальное количество облаков в годовом ходе: с севера на юг их количество уменьшается с 6,2 до 5,0 баллов. И, наконец, осенью количество облаков заметно возрастает и достигает своего максимума в октябре, когда на северо-востоке РТ их количество возрастает до 7,8 баллов, на юге территории 7,5 балла (рис. 6).

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

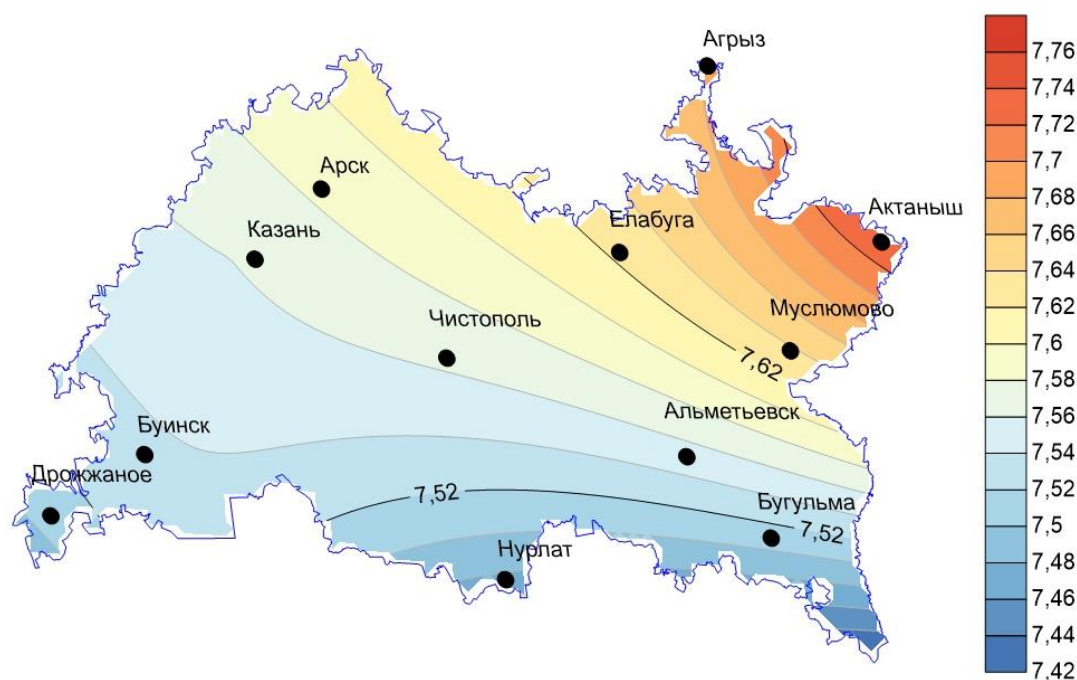


Рис. 6. Количество общей облачности в октябре (баллы)

Fig. 6. Total cloud cover in October (points)

Рассмотрим распределение КНЛТ (баллы/10 лет) общей облачности. Расчеты показали, что в период октябрь-апрель происходит увеличение облачности, а в период май-сентябрь ее уменьшение. Наибольшая скорость роста облаков отмечается в марте на юго-востоке РТ (КНЛТ = 1,1 балла/10 лет). В августе, наоборот, количество облаков уменьшается с наибольшей скоростью. Величина КНЛТ в конце лета максимальна на юге Республики (–0,3 балла/10 лет).

Представляет интерес оценка корреляции между общей облачностью и суммарной радиацией по сезонам года. Анализ рассчитанных парных коэффициентов корреляции показал, что в течение всего года связь между ними отрицательная, так как облачность способствует ослаблению потока приходящей на землю солнечной радиации. В зимний период наибольших значений коэффициенты корреляции достигают в декабре. Они возрастают с юго-запада на северо-восток РТ с величины –0,59 до –0,71. В январе и феврале значения r меняются на территории РТ от –0,57 до –0,69, т.е. связь между облачностью и приходящей радиацией достаточно тесная. Весной, в апреле и мае, коэффициенты корреляции по абсолютной величине превышают зимние значения. Так, в апреле они достигают на западе РТ значений –0,86, на юго-востоке понижаются до –0,8, т.е. связь между облачностью и радиацией весьма высокая. В летний период значения r достигают максимальных значений. Так, в августе они возрастают с северо-запада на юг РТ с –0,80 до –0,92. Это почти функциональная связь. Осенью также между облачностью и приходящей радиацией связь тесная. В ноябре величины r растут с юга на северо-запад от –0,80 до –0,86. Таким образом, между общей облачностью и приходящей суммарной радиацией на всей территории РТ и во все сезоны года устанавливается тесная отрицательная корреляция из-за экранирующего эффекта облаков.

Поскольку атмосферные осадки выпадают из облаков, рассмотрим корреляционные связи между ними. Расчеты величин r для каждого месяца года показали, что эта связь имеет неустойчивый годовой ход. Так, наиболее тесная связь между облачностью и осадками возникает в апреле, июне, сентябре. В сентябре на юго-западе РТ r достигают значения 0,83, в центре РТ – 0,75 и на востоке – 0,73, т.е. территориальные различия невелики. Естественно, что связь между количеством облаков и осадками положительная. Наиболее слабая связь между облачностью и осадками отмечается в ноябре и декабре, когда коэффициенты корреляции по территории РТ меняются в пределах от 0,24 (северо-восток РТ) до 0,39 (юго-запад РТ).

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

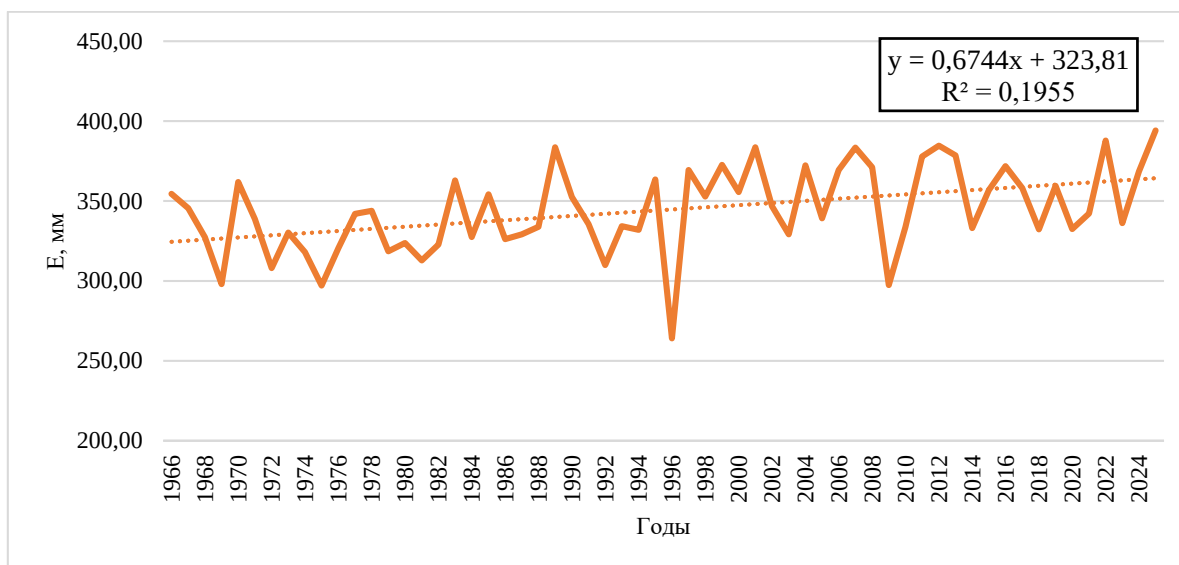


Рис. 7. Временной ход величины испарения (Е) на территории РТ в период 1966–2025 гг. (мм)
 Fig. 7. Time course of evaporation (E) in the territory of the Republic of Tatarstan in 1966–2025 (mm)

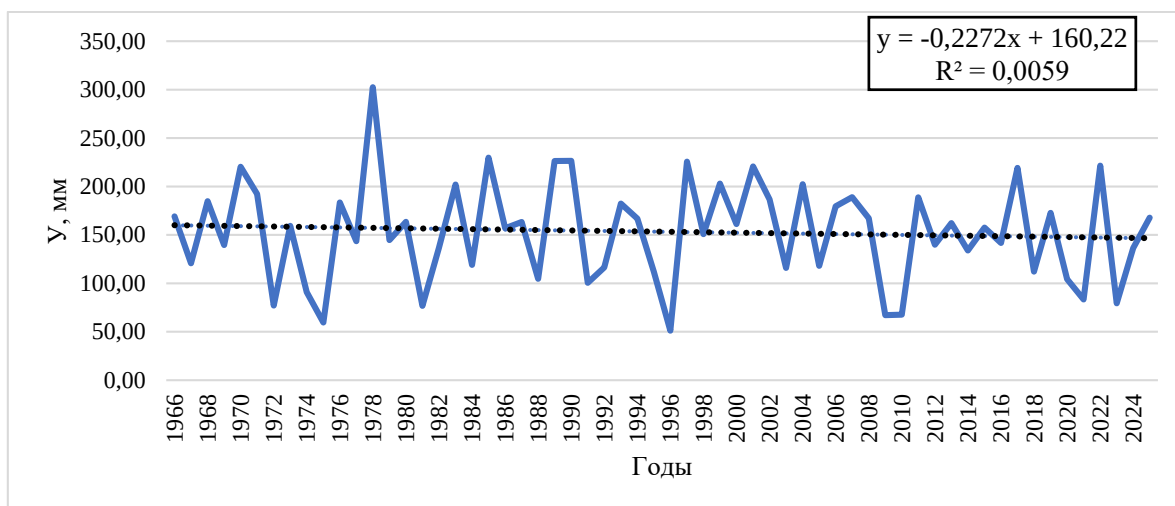


Рис. 8. Временной ход величины годового стока (Y) (мм)
 Fig. 8. Time course of annual runoff (Y) (mm)

Рассмотрим поведение гидрологических характеристик. Для расчета годового стока рассчитывались годовая испаряемость (E_0) по формуле Иванова и испарение по формуле Шрайбера. В среднем по РТ величина $E_0 = 634,3$ мм, СКО = 47,5 мм. Величина испарения E имеет меньшие значения – 344,4 мм. Эти характеристики рассчитывались для каждого года периода 1966–2025 гг. Оказалось, что они испытывают слабый рост (рис. 7). Так, для величины E_0 КНЛТ равен 24,9 мм/10 лет, а для величины $E = 6,7$ мм/10 лет. На рисунках 7 и 8 представлены уравнения линейной регрессии величин E и Y , где скорости изменения величин в мм/год, R^2 – коэффициент детерминации. Среднее многолетнее значение годового стока по РТ равно 153,3 мм (СКО – 41,4 мм). Эта величина испытывает слабое понижение со скоростью 2,27 мм/10 лет (рис. 8). При этом коэффициент стока (средняя величина 0,29) практически не меняется во времени, что позволяет отнести территорию РТ, согласно [4], к зоне достаточного увлажнения. Коэффициент испарения E/P (средняя величина 1,26 мм) также слабо меняется во времени.

Выводы

Тенденция потепления отмечена во все месяцы года, особенно этот процесс интенсивно идет в январе. Так, среднеянварская температура последнего (2016–2025 гг.) периода выросла на 5,2 °С по сравнению с самым ранним периодом (1966–1975 гг.). Годовая температура повысилась на 2 °С. Скорость потепления в январе составила 0,88 °С/10 лет, а в июле – 0,34 °С/10 лет. В связи с ростом температуры воздуха наблюдается уменьшение величины относительной влажности.

Годовая сумма осадков растет, в то же время в летний период их количество уменьшается, что приводит к усилению засушливости.

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

Обнаружен противофазный характер изменения атмосферного давления и осадков. В месяцы, когда наблюдается рост давления, осадки уменьшаются.

Расчет коэффициентов корреляции между метеовеличинами и индексами атмосферной циркуляции показал, что зимой наиболее активно действует колебание SCAND, а летом колебание EA/WR.

Суммарная радиация достигает максимальных значений в июне (до 666 МДж/м²) на юго-востоке РТ, минимальные значения отмечаются в декабре (48 МДж/м²). Выявлена тенденция ее роста в летний период со скоростью 17 МДж/м²/10 лет и уменьшения осенью (КНЛТ = –14 МДж/м²/10 лет).

Происходит увеличение общей облачности на территории РТ в период октябрь-апрель и ее уменьшение в период май-сентябрь. В марте скорость роста количества облаков составляет 1,13 балла/10 лет, наибольшая скорость ее уменьшения проявляется в августе (–0,33 балла/10 лет).

Расчеты коэффициентов корреляции между облачностью и суммарной радиацией свидетельствуют о тесной связи этих характеристик.

Отмечается слабый рост испаряемости и испарения на территории РТ, что приводит к уменьшению годового стока.

По гидрологическим показателям территорию РТ можно отнести к зоне умеренной увлажненности.

Библиографический список

1. Алексеев Г. В., Харланенкова Н. Е., Вязилова А. Е. Арктическое усиление: роль междуширотного обмена в атмосфере // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. Т. 1, № 1. С. 232–247.
2. Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара. Приземная температура. 2022. Годовой обзор. М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2023. 34 с.
3. Данилов-Данильян В. И., Катцов В. М., Порфирьев Б. Н. Экология и климат: где мы сейчас и где будем через два-три десятилетия. Общемировые тенденции // *Вестник РАН*. 2023. Т. 93, № 10. С. 930–941. DOI: 10.31857/S0869587323100031 EDN: HFTNRL
4. Догановский А. М. Гидрология суши. Общий курс. СПб: РГТМУ, 2012. 524 с.
5. Золина О. Г., Володин Е. М., Стерин А. М. Экстремальные климатические события в условиях наблюдаемых и прогнозируемых климатических изменений // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2026. Т. 12, № 1. С. 68–129. DOI: 10.21513/2410-8758-2026-1-67-129 EDN: KPWMOQ
6. Кислов А. В., Гребенец В. И., Евстигнеев В. М., Конищев В. Н., Сидорова М. В., Суркова Г. В., Тумель Н. В. Последствия возможного потепления климата в XXI веке на севере Евразии // *Вестник Московского ун-та. Серия 5. Географическая*. 2011. № 3. С. 3–8. EDN: OFZVWH
7. Климат Казани / под ред. Н. В. Колобова, Ц. А. Швер, Э. П. Наумова. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 187 с.
8. Климат Казани и его изменения в современный период / под ред. Ю. П. Переведенцева, Э. П. Наумова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2006. 216 с.
9. Климатология / О. А. Дроздов, В. А. Васильев, Н. В. Кобышева [и др.]; под ред. О. А. Дроздова, Н. В. Кобышева. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.
10. Матвеев Л. Т. Физика атмосферы. СПб: Гидрометеиздат, 2000. 778 с.
11. Матвеев Ю. Л. Динамико-статистическое исследование поля облаков глобального и синоптического масштабов: дис. ... докт. физ.-мат. наук. СПб, 1996. 62 с. EDN: ZJBRQV
12. Монин А. С. Прогноз погоды как задача физики. М.: Наука, 1969. 184 с.
13. Монин А. С., Сонечкин Д. М. Колебания климата по данным наблюдений: тройной солнечный и другие циклы. М.: Наука, 2005. 191 с. ISBN: 5-02-033748-X EDN: QKFJEP
14. Мохов И. И. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // *Вестник РАН*. 2022. Т. 92, № 1. С. 3–14. DOI: 10.31857/S0869587322010066 EDN: NTZPAK
15. Переведенцев Ю. П., Павлова В. Н., Шанталинский К. М., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Тагиров М. Ш. Агроклиматические условия на территории Республики Татарстан в период 1966–2021 гг. // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. 2022. № 4(386). С. 96–113. DOI: 10.37162/2618-9631-2022-4-96-113 EDN: QNFHFM
16. Переведенцев Ю. П., Васильев А. А., Гурьянов В. В., Мирсаева Н. А., Николаев А. А. Тенденции изменения основных климатических показателей на территории России в период 1976 – 2023 годов // *Метеорология и гидрология*. 2025. № 10. С. 44–61. DOI: 10.52002/0130-2906-2025-10-44-62 EDN: VEZTKS
17. Переведенцев Ю. П., Мирсаева Н. А. Метеорология и климатология в Казанском университете: к 190-летию гидрометеорологической службы России // *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки*. 2024. Т. 166, Кн. 4. С. 724–747. DOI: 10.26907/2542-064X.2024.4.724-747 EDN: KNPOBC
18. Переведенцев Ю. П., Соколов В. В., Наумов Э. П. Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. Казань: Казан. ун-т, 2013. 274 с.
19. Шерстюков Б. Г. Изменения, изменчивость и колебания климата. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2011. 293 с. EDN: QKLGFB
20. Экологическая климатология: учебник / Ю. П. Переведенцев, Н. А. Мирсаева, А. А. Николаев, В. В. Гурьянов. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2026. 206 с.
21. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) : website. URL: <https://power.larc.nasa.gov/> (дата обращения 10.05.2026)
22. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani (eds.). Cambridge: Cambridge University Press, 2021. 2391 p.

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

References

1. Alekseev G. V., KHarlanenkova N. E., Vyazilova A. E. Arkticheskoe usilenie: rol' mezhdushirotnogo obmena v atmosfere [Arctic amplification: the role of interlatitudinal exchange in the atmosphere]. *Fundamental and Applied Climatology*, 2015, vol. 1(1), pp. 232–247. (In Russ.)
2. *Byulleten' monitoringa izmenenij klimata Zemnogo shara. Prizemnaya temperatura. 2022. Godovoy obzor* [Bulletin of Monitoring of Global Climate Change. Surface Temperature. 2022. Annual Review]. Moscow: FGBU «IGKEH», 2023. 34 p. (In Russ.)
3. Danilov-Danil'yan V. I., Kattsov V. M., Porfir'ev B. N. Ecology and climate: where we are now and where we will be in two- or three-decades situation in Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2023, vol. 93(10), pp. 930–941. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0869587323100031 EDN: HFTNRL
4. Doganovskij A. M. *Gidrologiya sush. Obshhiy kurs* [Land Hydrology. General Course]. Saint Petersburg: RGGMU, 2012. 524 p. (In Russ.)
5. Zolina O. G., Volodin E. M., Sterin A. M. Extreme climate events under observed and projected climate change. *Fundamental and Applied Climatology*, 2026, vol. 12(1), pp. 68–129. (In Russ.) DOI: 10.21513/2410-8758-2026-1-67-129 EDN: KPWMQ
6. Kislov A. V., Grebenets V. I., Evstigneev V. M., Konishhev V. N., Sidorova M. V., Surkova G. V., Tumel' N. V. Posledstviya vozmozhnogo potepeniya klimata v XXI veke na severe Evrazii [Consequences of Possible Climate Warming in the 21st Century in Northern Eurasia]. *Moscow University Geography Bulletin*, 2011, no 3, pp. 3–8. (In Russ.) EDN: OFZVWH
7. *Klimat Kazani* [Climate of Kazan]. Ed. by N. V. Kolobova, T. A. Shver, E. P. Naumova. L.: Gidrometeoizdat, 1990. 187 p. (In Russ.)
8. *Klimat Kazani i ego izmeneniya v sovremennyy period* [Climate of Kazan and Its Changes in the Modern Period]. Ed. by Yu. P. Perevedentseva, E. P. Naumova. K.: Kazan University, 2006. 216 p. (In Russ.)
9. Drozdov O. A., Vasil'ev V. A., Kobysheva N. V. i dr. *Klimatologiya* [Climatology]. L.: Gidrometeoizdat, 1989. 568 p. (In Russ.)
10. Matveev L. T. *Fizika atmosfery* [Physics of the Atmosphere]. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 2000. 778 p. (In Russ.)
11. Matveev Yu. L. *Dinamiko-statisticheskoe issledovanie polya oblakov global'nogo i sinopticheskogo masshtabov* [Dynamic and Statistical Study of Cloud Fields on Global and Synoptic Scales]. Dissertatsiya v vide nauchnogo doklada na soiskanie uch. stepeni doktora fiz.-mat. nauk. Saint Petersburg, 1996. 62 p. (In Russ.) EDN: ZJBRQV
12. Monin A. S. *Prognoz pogody kak zadacha fiziki* [Weather Forecasting as a Problem of Physics]. Moscow: Nauka, 1969. 184 p. (In Russ.)
13. Monin A. S., Sonechkin D. M. *Kolebaniya klimata po dannym nablyudenij: trojnoj solnechnyj i drugie tsikly* [Climate Fluctuations Based on Observational Data: Triple Solar and Other Cycles]. Moscow: Nauka, 2005. 191 p. (In Russ.) ISBN: 5-02-033748-X EDN: QKFJEP
14. Mokhov I. I. Climate Change: Causes, Risks, Consequences, Adaptation and Regulation. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2022, vol. 92(1), pp. 3–14. (In Russ.) DOI: 10.31857/S0869587322010066 EDN: NTZPAK
15. Perevedentsev Yu. P., Pavlova V. N., Shantalinsky K. M., Mirsaeva N. A., Nikolaev A. A., Tagirov M. Sh. Agroclimatic conditions on the territory of the Republic of Tatarstan in the period 1966–2021. *Hydrometeorological research and forecasts*, 2022, no. 4(386), pp. 96–113. (In Russ.) DOI: 10.37162/2618-9631-2022-4-96-113
16. Perevedentsev Yu. P., Vasiliev A. A., Guryanov V. V., Mirsaeva N. A., Nikolaev A. A. Trends in changes in the main climatic indicators on the territory of Russia in the period 1976–2023. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2025, no. 10, pp. 44–61. (In Russ.) DOI: 10.52002/0130-2906-2025-10-44-62 EDN: VEZTKS
17. Perevedentsev Yu. P., Mirsaeva N. A. Meteorology and climatology at Kazan University: to the 190th anniversary of the hydrometeorological service of Russia. *Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences*, 2024, vol. 166(4), pp. 724–747. (In Russ.) DOI: 10.26907/2542-064X.2024.4.724-747 EDN: KNPOBC
18. Perevedentsev Yu. P., Sokolov V. V., Naumov E. H. P. *Klimat i okruzhayushhaya sreda Privolzhskogo federal'nogo okruga* [Climate and environment of the Volga Federal District]. K.: Kazan University, 2013. 274 p. (In Russ.)
19. Sherstyukov B. G. *Izmeneniya, izmenchivost' i kolebaniya klimata* [Climate change, variability and fluctuations]. Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MTSD», 2011. 293 p. (In Russ.) EDN: QKLGFB
20. *Ekologicheskaya klimatologiya* [Ecological climatology]: uchebnik / Yu. P. Perevedentsev, N. A. Mirsaeva, A. A. Nikolaev, V. V. Guryanov. K.: Kazan University, 2026. 206 p. (In Russ.)
21. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER). URL: <https://power.larc.nasa.gov/> (Accessed: 10 May 2026).
22. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I.Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 p.

Статья поступила в редакцию: 17.06.2026, одобрена после рецензирования: 28.07.2026, принята к опубликованию: 12.09.2026.

The article was submitted: 17 June 2026; approved after review: 28 July 2026; accepted for publication: 12 September 2026.

Информация об авторах

Юрий Петрович Переведенцев

Доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы, Институт экологии, биотехнологии и природопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет; 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18
ORCID: 0000-0002-3181-6227, Scopus Author ID: 6603045210, eLibrary AuthorID: 58828

Information about the authors

Yuri P. Perevedentsev

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Ecology, Biotechnology and Environmental Management, Kazan (Volga Region) Federal University; 18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia
ORCID: 0000-0002-3181-6227, Scopus Author ID: 6603045210, eLibrary AuthorID: 58828

e-mail: ypereved@kpfu.ru

Метеорология

Переведенцев Ю. П., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Николаев А. А., Янгиров А. Д.

Тимур Ринатович Аухадеев

Кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы, Институт экологии, биотехнологии и природопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет; 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18
ORCID: 0000-0002-6818-7794, Scopus Author ID: 56521721900, eLibrary AuthorID: 698185

e-mail: trauhadееv@kpfu.ru

Надежда Александровна Мирсаева

Кандидат географических наук, заведующий кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы, Институт экологии, биотехнологии и природопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет; 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18
ORCID: 0000-0001-7123-9121, Scopus Author ID: 56165230500, eLibrary AuthorID: 741357

e-mail: NAMirsaeva@kpfu.ru

Александр Анатольевич Николаев

Кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы, Институт экологии, биотехнологии и природопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет; 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18
ORCID: 0000-0002-8555-8745, Scopus Author ID: 36747501000, eLibrary AuthorID: 61806

e-mail: Aleksandr.Nikolaev@kpfu.ru

Айдар Динарович Янгиров

Аспирант кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы, Институт экологии, биотехнологии и природопользования, Казанский (Приволжский) федеральный университет; 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18
SPIN-код: 6720-9410, eLibrary AuthorID: 1336424

e-mail: aydar.yangirov.00@mail.ru

Timur R. Aukhadееv

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Ecology, Biotechnology and Environmental Management, Kazan (Volga Region) Federal University; 18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia
ORCID: 0000-0002-6818-7794, Scopus Author ID: 56521721900, eLibrary AuthorID: 698185

Nadezhda A. Mirsaeva

Candidate of Geographical Sciences, Head of the Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Ecology, Biotechnology and Environmental Management, Kazan (Volga Region) Federal University; 18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia
ORCID: 0000-0001-7123-9121, Scopus Author ID: 56165230500, eLibrary AuthorID: 741357

Alexander A. Nikolaev

Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Ecology, Biotechnology and Environmental Management, Kazan (Volga Region) Federal University; 18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia
ORCID: 0000-0002-8555-8745, Scopus Author ID: 36747501000, eLibrary AuthorID: 61806

Aidar D. Yangirov

Postgraduate Student, Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Institute of Ecology, Biotechnology and Environmental Management, Kazan (Volga Region) Federal University; 18, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russia
SPIN-code: 6720-9410, eLibrary AuthorID: 1336424

Вклад авторов

Переведенцев Ю. П. – идея статьи, анализ полученных данных, написание отдельных частей статьи, научное редактирование статьи.

Аухадеев Т. Р. – подготовка эмпирических данных для статьи, проведение численных экспериментов, обработка материала.

Мирсаева Н. А. – подготовка эмпирических данных для статьи, проведение численных экспериментов, обработка материала.

Николаев А. А. – подготовка эмпирических данных для статьи, проведение численных экспериментов, написание отдельных частей статьи.

Янгиров А. Д. – обработка и анализ данных, визуализация результатов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Yuri P. Perevedentsev – the article concept; data analysis; writing of individual sections of the article; scientific editing.

Timur R. Aukhadееv – preparation of the empirical data; numerical experiments; data processing.

Nadezhda A. Mirsaeva – preparation of the empirical data; numerical experiments; data processing.

Alexander A. Nikolaev – preparation of the empirical data; numerical experiments; writing of individual sections of the article.

Aidar D. Yangirov – data processing and analysis; visualization of the results.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.