

Метеорология
Подрезова Ю.А.

МЕТЕОРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 551.583.13

doi: 10.17072/2079-7877-2025-2-105-115

EDN: MNLLOZ



СОВРЕМЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Юлия Андреевна Подрезова

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, г. Воронеж, Россия
umbassadorka@mail.ru

Аннотация. Цель – статистическая оценка происходящих климатических изменений в центральной и южной частях лесостепной зоны Русской равнины на территории Воронежской области.

Выполнен климато-статистический анализ средних годовых, сезонных и месячных норм температуры и осадков, их межгодовой изменчивости, а также характеристики трендов по данным двух репрезентативных метеостанций – Воронеж и Каменная степь – за два последовательных 30-летия: 1961–1990 гг. (базовый климат) и 1991–2020 гг. (современный климат), а также за период 1961–2023 гг.

Получено, что в период 1961–2023 гг., согласно наблюдениям обеих станций, имело место существенное потепление климата (для года – Воронеж на 3,1 °C, Каменная степь на 2,8 °C) при практически неизменных нормах годовых осадков (Воронеж 585 мм, Каменная степь 512 мм). Приводятся различные статистические показатели, численно, характеризующие изменения климата по станциям за три изучаемых периода.

В центральной и южной частях лесостепной зоны Русской равнины на территории Воронежской области по многолетним данным наблюдений репрезентативных метеостанций Воронеж и Каменная степь за 1961–2023 гг. отмечалось устойчивое закономерное потепление климата во все месяцы года. Годовые нормы температур и осадков за период 1961–2023 гг. составляли 6,7–6,9 °C и 512–585 мм соответственно. Климатические условия на обеих станциях были практически идентичными. Годовая сумма осадков на станции Каменная степь в году была на 14 % ниже, чем в Воронеже. При этом относительная межгодовая изменчивость осадков на обеих станциях являлась практически одинаковой. Каких-либо закономерных статистически значимых изменений годовых сумм осадков на каждой из станций не наблюдалось. Имели место только чисто случайные колебания сумм осадков от года к году около их климатических норм.

Ключевые слова: Воронежская область, лесостепная зона, карбоновый полигон, изменение климата, температура и осадки

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1023013000012-7 «Биогеохимический мониторинг цикла углерода в природных и антропогенных экосистемах Воронежской области в условиях глобального изменения климата (FZUR-2023-0001)».

Для цитирования: Подрезова Ю.А. Современное изменение климата в центральной и южной части лесостепной зоны Русской равнины // Географический вестник=Geographical bulletin. 2025. № 2 (73). С. 105–115. doi: 10.17072/2079-7877-2025-2-105-115. EDN: MNLLOZ

METEOROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-2-105-115

EDN: MNLLOZ

MODERN CLIMATE CHANGE IN THE CENTRAL AND SOUTHERN PARTS OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE RUSSIAN PLAIN

Yuliia A. Podrezova

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

umbassadorka@mail.ru



© 2025 Эта работа Подрезовой Ю.А. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Метеорология
Подрезова Ю.А.

Abstract. The study aims to statistically assess the ongoing climate changes in the central and southern parts of the forest-steppe zone of the Russian Plain, specifically in the Voronezh region.

The author conducted a climatic-statistical analysis of the average annual, seasonal, and monthly norms of temperature and precipitation, their interannual variability, and trend characteristics. Data were sourced from two representative weather stations – Voronezh and Kamennaya Steppe, for two consecutive 30-year periods: 1961–1990 (base climate) and 1991–2020 (modern climate), as well as for the extended period of 1961–2023.

The study showed significant warming observed at both stations from 1961 to 2023 (Voronezh: by 3.1°C, Kamennaya Steppe: by 2.8°C). In contrast, annual precipitation rates remained relatively unchanged (Voronezh: 585 mm, Kamennaya Steppe: 512 mm). The paper provides various statistical indicators numerically characterizing climate changes at these stations over the three studied periods.

In the central and southern parts of the forest-steppe zone of the Russian Plain in the Voronezh region, long-term observation data from the Voronezh and Kamennaya Steppe weather stations indicate a steady warming trend in all months of the year from 1961 to 2023. The annual norms of temperature and precipitation for the period of 1961–2023 were 6.7–6.9 °C and 512 – 585 mm, respectively. Climatic conditions at both stations were practically identical. The annual precipitation at the Kamennaya Steppe weather station was 14% lower than at the Voronezh station. The relative interannual variability of precipitation at both stations was practically identical. No regular statistically significant changes in annual precipitation totals were observed at the stations. There were only purely random fluctuations of precipitation totals from year-to-year near their climatic multiyear averages.

Keywords: Voronezh region, forest-steppe zone, carbon measurements test area, climate change, temperature, precipitation

Funding: The study was carried out as part of a state assignment from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, No. 1023013000012-7 ‘Biogeochemical monitoring of the carbon cycle in natural and anthropogenic ecosystems of the Voronezh region under conditions of global climate change (FZUR-2023-0001)’.

For citation: Podrezova, Yu.A. (2025). Modern climate change in the central and southern parts of the forest-steppe zone of the Russian Plain. *Geographical Bulletin*. No. 2(73). Pp. 105–115. doi: 10.17072/2079-7877-2025-2-105-115. EDN: MNLLOZ

Введение

Проблема изменений современного глобального и региональных климатов за счет естественных и антропогенных факторов является одной из важнейших мировых проблем. В настоящее время для мониторинга и управления балансом парниковых газов, количественной верификации глобальных моделей изменений климата и изучения влияния растительности на баланс парниковых газов успешно используют карбоновые полигоны, расположенные в ряде областей России. Они позволяют разработать и испытать технологии дистанционного мониторинга парниковых газов и других значимых факторов для изучения климата. В дальнейшем полигоны могут быть использованы при оценке и прогнозировании изменений климата и их последствий, а также для адаптации к этим изменениям и обеспечения устойчивого социально-экономического развития. Одно из важных направлений исследований на карбоновых полигонах – изучение динамики характеристик метеорологических условий, оказывающих непосредственное влияние на процессы эмиссии и поглощения парниковых газов [2, 3, 4, 6, 16, 20].

Карбоновый полигон в Воронежской области FOR&ST CARBON имеет общую площадь 181,3 га и характеризует репрезентативные для лесостепной зоны Русской равнины типы экосистем, включая леса и земли сельскохозяйственного назначения [12]. Он охватывает следующие по площади и природным условиям участки.

1. Земли лесного фонда на территории Учебно-опытного лесхоза ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (158,2 га). Территория расположена в левобережном придолинно-террасовом районе типичной лесостепи Окско-Донской низменной равнины, которая представлена преимущественно лесными насаждениями: сосновые леса естественного происхождения, нагорная дубрава, смешанные искусственные насаждения сосны обыкновенной и берёзы повислой (лесные культуры);

2. Федеральный заказник «Каменная степь» (23,1 га), расположенный в Калачском овражно-балочном районе южной лесостепи лесостепной провинции Среднерусской возвышенности. На участке представлены агрокультурные системы: пашни с севооборотами, окружённые лесными полосами.

Объекты и методика исследований, исходные данные

Объектами данного исследования являются происходящие климатические изменения в центральной и южной частях лесостепной зоны Русской равнины на территории Воронежской области, где располагается карбоновый полигон FOR&ST CARBON, по данным репрезентативных метеорологических станций Воронеж (высота 107 м) и Каменная степь (высота 200 м, расположена примерно в 150 км к юго-востоку от Воронежа). Был выполнен климато-статистический анализ средних годовых, сезонных и месячных норм температуры и осадков, их межгодовой изменчивости, а также характеристик трендов на этих станциях за два последовательных 30-летия 1961–1990 и 1991–2020 гг., а также за период 1961–2023 гг. [5, 7, 8, 13, 14, 17, 21, 10]. При этом первое тридцатилетие (1961–1990 гг.), по рекомендации Всемирной Метеорологической Организации, является общим базисным 30-тилетием для сравнительной оценки наблюдаемых изменений климата, а второе (1991–2020 гг.) – последним стандартным 30-летием, характеризующим современный климат. Все использованные метеорологические данные находятся в свободном доступе на сайте ВНИИГМИ-МЦД [18], а также на сайте «Погода и климат» [18].

Метеорология
Подрезова Ю.А.

Для каждого из трех периодов были рассчитаны многолетние климатические нормы средних месячных, сезонных и годовых температур воздуха и сумм осадков, их средние квадратические отклонения-СКО (для осадков также коэффициенты вариации), характеристики линейных трендов, а также изменения самих температуры воздуха и осадков по найденным линейным трендам для этих периодов. Это позволило получить численные оценки современных изменений климата как в виде общих интегральных характеристик (нормы и их СКО), так и характеристик основной тенденции или динамики климатических изменений (тренды) [9, 11, 15, 19].

Результаты и их обсуждение

Климатические нормы средних месячных, сезонных, годовых температур и сумм осадков, их межгодовая изменчивость в периоды 1961–2023, 1961–1990 и 1991–2020 гг.

В табл. 1 приведены значения климатических норм средних месячных, сезонных и годовых температур по станциям Воронеж и Каменная степь, рассчитанные за общий использованный 63-летний период 1961–2023 гг. и два последовательных тридцатилетия: 1961–1990 (базовый климат) и 1991–2020 гг. (современный климат).

Таблица 1

Table 1

Нормы годовых, месячных и сезонных средних температур воздуха (°C) по станциям Воронеж
и Каменная степь за различные периоды осреднения

Norms of annual, monthly, and seasonal average air temperatures (°C) at the Voronezh and Kamennaya
Steppe meteorological stations for different averaging periods

Год, сезон, месяц	Периоды осреднения			Периоды осреднения		
	1961–1990	1991–2020	1961–2023	1961–1990	1991–2020	1961–2023
	Станция Воронеж			Станция Каменная степь		
Год	6,1	7,5	6,9	6,0	7,3	6,7
Зима:	-7,4	-5,3	-6,2	-7,8	-6,0	-6,8
декабрь	-5,2	-4,3	-4,7	-5,6	-4,9	-5,2
январь	-8,8	-6,0	-7,3	-9,3	-6,7	-7,9
февраль	-8,1	-5,7	-6,8	-8,5	-6,4	-7,4
Весна:	6,8	8,0	7,4	6,6	7,8	7,2
март	-2,3	-0,3	-1,2	-2,7	-0,8	-1,7
апрель	7,7	8,7	8,3	7,7	8,6	8,2
май	14,9	15,5	15,1	15,0	15,6	15,2
Лето:	18,7	20,0	19,5	19,0	20,3	19,7
июнь	18,1	19,1	18,6	18,3	19,2	18,8
июль	19,6	21,1	20,4	19,8	21,3	20,6
август	18,4	19,9	19,3	18,9	20,3	19,8
Осень:	6,2	7,2	6,8	6,2	7,2	6,8
сентябрь	12,9	14,0	13,4	13,3	14,4	13,9
октябрь	6,0	7,4	6,8	5,8	7,4	6,7
ноябрь	-0,2	0,4	0,2	-0,5	0,0	-0,2

Как следует из этих данных, за 63-летний период наблюдений 1961–2023 гг. климатические нормы средних годовых температур по станциям Воронеж и Каменная степь были равными 6,9 и 6,7 °C соответственно. Статистически по t-критерию это означает их равенство на уровне значимости $q = 0,05$ (односторонняя альтернатива) [9, 11, 19]. При этом от первого периода ко второму произошло существенное и практически одинаковое повышение 30-летних норм по обеим станциям: по Воронежу от 6,1 до 7,5 °C, т.е. на 1,4 °C, а по Каменной степи от 6,0 до 7,3 °C, т.е. на 1,3 °C. Повышение норм в зимний сезон было наибольшим: по Воронежу от -7,4 до 5,3 °C, или на 2,1 °C, а по Каменной степи от -7,8 до -6,0 °C, т.е. на 1,8 °C. Наименьшим и равным по обеим станциям оно было осенью – от 6,2 до 7,2 °C, или на 1,0 °C. Весной и летом величины потеплений были несколько большими, но также одинаковыми на обеих станциях – весной на 1,2, а осенью на 1,3 °C. По отдельным месяцам значения потеплений колебались в более широких, но также близких пределах по обеим станциям: для Воронежа от 0,6 °C в мае и ноябре до 2,8 °C в январе, для Каменной степи от 0,5 °C в ноябре до 2,6 °C в январе.

Средние квадратические отклонения (СКО) в период 1961–2023 гг. для годовых температур были также практически одинаковыми по обеим станциям и составили по Воронежу 1,3 °C, а по Каменной степи 1,2 °C. Статистически по F-критерию это означает равенство дисперсий температур на уровне значимости $q = 0,05$ (односторонняя альтернатива) [9, 11, 19]. Значения СКО для средних месячных температур, как и следовало ожидать, были значительно больше: по Воронежу для центральных месяцев сезонов – января, апреля, июля, октября – они равнялись 3,9, 2,3, 1,9, 1,9 °C соответственно, а для Каменной степи – 3,8, 2,4, 1,9, 2,0 °C.

Таким образом, обращает на себя внимание очень важный факт: практическое равенство в период 1961–2023 гг. как норм температуры по обеим станциям, так и ее межгодовой изменчивости, являющихся одними из основных показателей климата.

*Метеорология
Подрезова Ю.А.*

В таблице 2 аналогично табл. 1 приведены значения норм осадков для трех исследуемых периодов. Из этих данных следует, что за период 1961–2023 гг. годовая норма осадков по станции Воронеж составила 585 мм, тогда как по станции Каменная степь только 512 мм, т.е. на 73 мм, или 14 %, меньше, что является статистически значимым отличием при $q = 0,05$. От 30-летия 1961–1990 гг. к 30-летию 1991–2020 гг. годовые суммы осадков по обеим станциям практически не изменились: по Воронежу они уменьшились на 10 мм (2 %), а по Каменной степи возросли на 5 мм (1 %). При этом сезонные суммы осадков по обеим станциям колебались от первого периода ко второму также в небольших пределах, до ± 5 % и реже до 10–14 %: стация Воронеж зима – рост на 5 мм (4 %), весна – рост на 12 мм (10 %), лето – понижение на –27 мм (–14 %), осень – без изменений; Каменная степь зима – рост на 5 мм (6 %), весна – рост на 4 мм (4 %), лето понижение на –1 мм (менее –1 %), осень – понижение на –3 мм (–2 %).

Таблица 2
Table 2

Нормы годовых, месячных и сезонных сумм осадков (мм) по метеорологическим станциям Воронеж и Каменная степь за различные периоды осреднения

Norms of annual, monthly, and seasonal precipitation (mm) at the Voronezh and Kamennaya Steppe meteorological stations for different averaging periods

Год, сезон, месяц	Периоды осреднения			Периоды осреднения		
	1961–1990	1991–2020	1961–2023	1961–1990	1991–2020	1961–2023
	Воронеж			Каменная степь		
Год	581	571	585	504	509	512
Зима:	124	129	129	105	110	109
декабрь	51	48	52	45	39	42
январь	40	42	42	35	39	37
февраль	32	39	36	25	32	29
Весна:	116	128	123	103	107	106
март	30	38	35	25	30	28
апрель	40	41	42	34	32	34
май	46	48	47	44	45	44
Лето:	197	170	185	161	160	161
июнь	69	61	66	57	60	60
июль	72	58	66	56	62	58
август	56	51	53	48	38	43
Осень:	145	145	149	135	132	136
сентябрь	54	51	53	49	46	48
октябрь	39	51	46	38	48	44
ноябрь	52	43	49	49	38	45

Таким образом, можно считать, что в период 1961–2023 гг. годовая норма осадков по станции Воронеж составила 585 мм и была статистически значимо больше, чем в Каменной степи, где она равнялась 512 мм. При этом годовые и сезонные суммы осадков по обеим станциям в два смежных 30-летия 1961–1990 и 1991–2020 гг. заметным образом не изменились и были примерно равны нормам по каждой из станций за период 1961–2023 гг.

Средние квадратические отклонения – СКО мм и коэффициенты вариации (С, %) в период 1961–2023 гг. для годовых сумм осадков составили по станции Воронеж 113 мм (19 %), а для Каменной степи они были меньше, а именно 84 мм (16 %). Значения СКО и коэффициентов вариации для сумм осадков центральных месяцев сезонов – января, апреля, июля, октября – были равны: по Воронежу 22 мм (52 %), 27 мм (65 %), 32 мм (49 %), 28 мм (61 %), а для Каменной степи 18 мм (48 %), 23 мм (66 %), 33 мм (56 %), 22 мм (51 %) соответственно.

Можно сказать, что, хотя годовые нормы осадков в Каменной степи на 14 % ниже, чем в Воронеже, их относительная межгодовая изменчивость, выражаемая коэффициентами вариации, практически одинакова: разница коэффициентов вариации составляет всего 3 %, а для центральных месяцев сезонов она колеблется в пределах ± 5 –10 %.

Динамика изменения средних месячных, сезонных и годовых температур в периоды 1961–2023, 1961–1990, 1991–2020 гг.

Для изучения временных изменений средних месячных и годовых температур на станциях в период 1961–2023 гг. и двух 30-летий 1961–1990 (базовый климат) и 1961–2020 гг. (современный климат) использовался анализ трендов и скользящих 11-летних средних. Период отсечения в 11 лет взят только потому, что он соответствует наиболее изученной периодичности солнечной активности, и если ее влияние на ряды температуры и осадков имело место, то эта периодичность проявится в кривых 11-летних скользящих средних.

На рис. 1а, б показан временной ход средних годовых температур за 1961–2023 гг. по обеим станциям (точки) и аппроксимация его линейными трендами (прямые линии), а также кривые 11-летних скользящих средних. Хорошо видно, что 11-летней и какой-либо иной периодичности во временных рядах годовых температур

Метеорология
Подрезова Ю.А.

нет. Эти 11-летние кривые, слабо колеблясь, дают достаточно закономерное повышение температур от начала к концу периода, хорошо аппроксимируемые прямыми линейных трендов. Однако 11-летняя кривая четко показывает, что скорость роста температуры не являлась постоянной в течение всего периода. Она была более низкой на интервале 1961–1990 гг. и заметно более высокой на интервале после 1990 г. Поэтому следует рассчитывать и проанализировать угловые коэффициенты линейных трендов температуры за три периода: b_1 – 1961–1990 гг., b_2 – 1991–2020 гг. и b_3 – за весь период 1961–2023 гг. (эти индексы для трендов всюду будем использовать ниже). Наглядно все это видно на двух графиках рис. 1в, г, где показаны два тренда, рассчитанные раздельно, для каждого из двух смежных 30-летий.

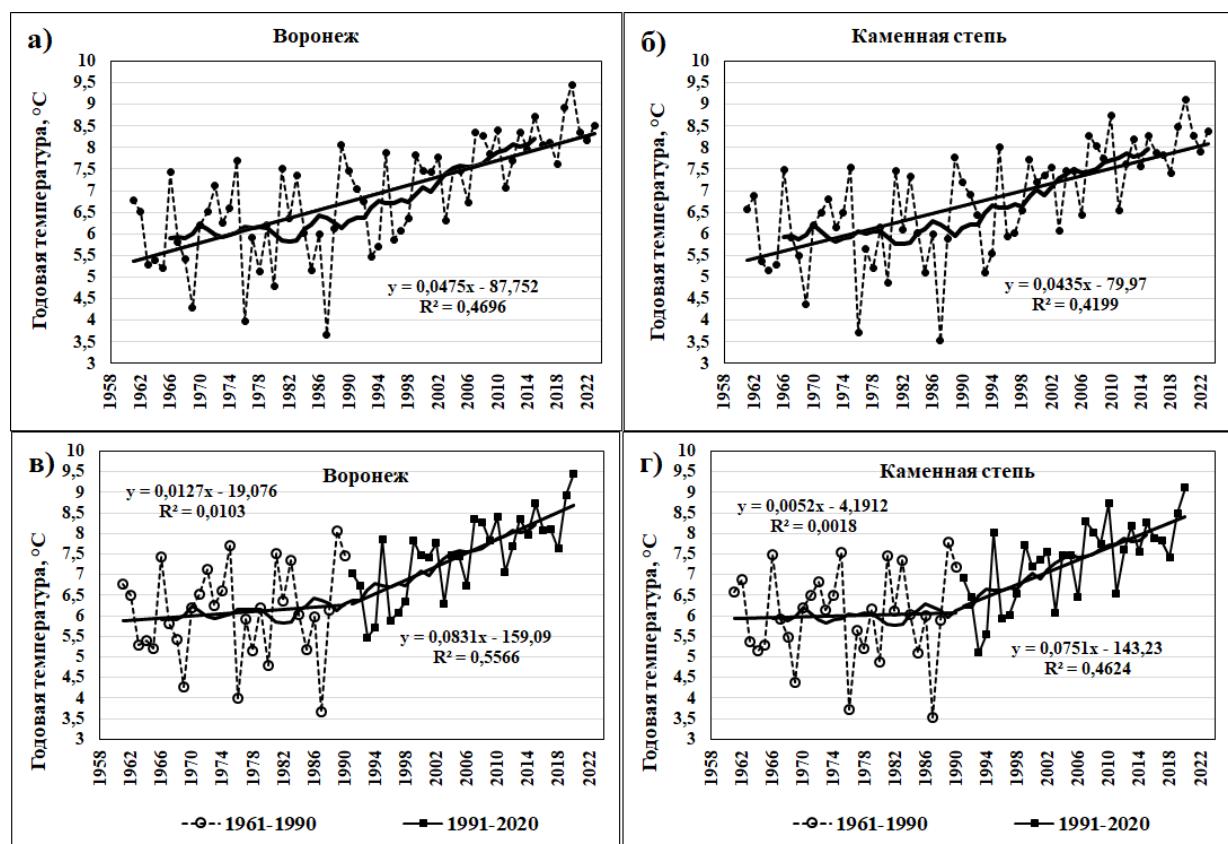


Рис. 1. Ход годовых температур по метеостанции Воронеж (а) и Каменная степь (б) за весь период наблюдений 1961–2023 гг. и за периоды 1961–1990 и 1991–2020 гг. (в, г) с линиями и уравнениями линейных трендов и кривыми их 11-летних скользящих средних

Fig. 1. The course of annual temperatures at the Voronezh (a) and Kamennaya Steppe (б) weather stations for the entire observation period of 1961–2023 and for the periods of 1961–1990 and 1991–2020 (в, г) with lines and equations of linear trends and curves of their 11-year moving averages

В таблице 3 для средних месячных и годовых температур по обеим станциям приведены рассчитанные для трех названных периодов значения трендов b_1 , b_2 , b_3 , выраженных, как это принято, в $^{\circ}\text{C}/10$ лет. При этом темным выделены статистически значимые по F-критерию Фишера значения трендов на уровне доверительной вероятности $p = 0,95$ (уровень значимости $q = 0,05$).

Из данных табл. 3 следует, что угловые коэффициенты b_3 , соответствующие общему периоду 1961–2023 гг., по обеим станциям для года и всех месяцев положительны, когда наблюдалось только потепление, и статистически значимы (исключение только май и ноябрь). При этом для года по станции Воронеж $b_3 = 0,475$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет, а по станции Каменная степь он несколько меньше – $b_3 = 0,435$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет. По различным месяцам для станции Воронеж значения b_3 были максимальны в январе ($b_3 = 0,814$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет) и минимальны в мае ($b_3 = 0,192$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет), по станции Каменная степь они также были максимальны в январе ($b_3 = 0,749$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет) и минимальны в мае ($b_3 = 0,185$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет). Следовательно, по обеим станциям для года и всего периода 1961–2023 гг. имела место практически одинаковая скорость потепления с хорошо выраженной синхронностью интенсивности потепления в годовом ходе, когда максимальные скорости соответствовали не просто зиме, а январю месяцу, а минимальные концу весны – маю месяцу.

Метеорология
Подрезова Ю.А.

Таблица 3
Table 3

Значения угловых коэффициентов трендов средних месячных и годовых температур b_1, b_2, b_3 ($^{\circ}\text{C}/10$ лет))
за периоды 1961–1990, 1991–2020 и 1961–2023 гг. по станциям Воронеж и Каменная степь

The angular coefficients of trends in average monthly and annual temperatures b_1, b_2 , and b_3 ($^{\circ}\text{C}/10$ years))
for the periods of 1961–1990, 1991–2020, and 1961–2023 at the Voronezh and Kamennaya Steppe stations

Год, сезон, месяц	Периоды осреднения			Периоды осреднения		
	1961–1990	1991–2020	1961–2023	1961–1990	1991–2020	1961–2023
	Воронеж			Каменная степь		
Год	0,127	0,831	0,475	0,052	0,751	0,435
декабрь	0,267	1,724	0,494	0,191	1,521	0,408
январь	1,222	-0,279	0,814	1,086	-0,303	0,749
февраль	0,528	0,804	0,773	0,293	0,747	0,672
март	0,610	0,986	0,685	0,345	1,021	0,611
апрель	0,199	0,344	0,339	0,199	0,297	0,346
май	0,045	0,931	0,192	0,034	0,826	0,185
июнь	0,187	0,748	0,344	0,231	0,604	0,305
июль	-0,263	0,618	0,438	-0,246	0,666	0,424
август	-0,225	1,054	0,587	-0,304	1,020	0,553
сентябрь	-0,242	1,109	0,340	-0,304	0,982	0,312
октябрь	-0,215	0,667	0,400	-0,223	0,528	0,411
ноябрь	-0,586	1,261	0,293	-0,682	1,099	0,249

Из данных табл. 3 также видно, что скорости потепления в 30-летие 1991–2020 гг. были существенно выше, чем в 1961–1990 гг.: по Воронежу максимум $b_2 = 1,724$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет, а по Каменной степи максимум $b_2 = 1,521$ $^{\circ}\text{C}/10$ лет, и оба наблюдались зимой. Характерным является также то обстоятельство, что для 30-летия 1961–1990 гг. из 12 месяцев в году в 5-ти из них, с июля по ноябрь, значения b_1 были отрицательны, т.е. имело место не потепление, а похолодание.

Для еще более наглядной картины характера наблюдаемых временных изменений температуры по линейным трендам по обеим станциям были рассчитаны непосредственно значения ее изменений $\Delta T_1, \Delta T_2$ и ΔT_3 в $^{\circ}\text{C}$, соответствующие периодам 1961–1990, 1991–2020, 1961–2023 гг., показанные в табл. 4.

Таблица 4
Table 4

Значения изменений средних месячных, сезонных и годовых температур $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3$ ($^{\circ}\text{C}$)
за периоды 1961–1990, 1991–2020, 1961–2023 гг. по станциям Воронеж и Каменная степь

Changes in average monthly, seasonal, and annual temperatures $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3$ ($^{\circ}\text{C}$)
for the periods of 1961–1990, 1991–2020, and 1961–2023 at the Voronezh and Kamennaya Steppe stations

Год, сезон, месяц	Периоды осреднения			Периоды осреднения		
	1961–1990	1991–2020	1961–2023	1961–1990	1991–2020	1961–2023
	Воронеж			Каменная степь		
Год	0,4	2,5	3,1	0,2	2,3	2,8
Зима:	2,0	2,2	4,5	1,6	2,0	4,0
декабрь	0,8	5,2	3,2	0,6	4,6	2,7
январь	3,7	-0,8	5,3	3,3	-0,9	4,9
февраль	1,6	2,4	5,0	0,9	2,2	4,4
Весна:	0,9	2,3	2,6	0,6	2,1	2,5
март	1,8	3,0	4,5	1,0	3,1	4,0
апрель	0,6	1,0	2,2	0,6	0,9	2,2
май	0,1	2,8	1,2	0,1	2,5	1,2
Лето:	-0,3	2,4	3,0	-0,3	2,3	2,8
июнь	0,6	2,2	2,2	0,7	1,8	2,0
июль	-0,8	1,9	2,8	-0,7	2,0	2,8
август	-0,7	3,2	3,8	-0,9	3,1	3,6
Осень:	-1,0	3,0	2,2	-1,2	2,6	2,1
сентябрь	-0,7	3,3	2,2	-0,9	2,9	2,0
октябрь	-0,6	2,0	2,6	-0,7	1,6	2,7
ноябрь	-1,8	3,8	1,9	-2,0	3,3	1,6

Метеорология
Подрезова Ю.А.

По данным линейных трендов, в целом за период в 63 года произошло достаточно интенсивное потепление климата. Для годовых температур и общего периода 1961–2023 гг. по станции Воронеж увеличение температуры воздуха составило 3,1 °C, а по Каменной степи – 2,8 °C, т.е. значения потеплений были почти одинаковыми. Трендовые оценки годовых температур для кратных десятилетий по обеим станциям оказались также практически равными. При этом оценки на 2030 г. следует рассматривать как статистический прогноз.

Таблица 5
Table 5

Оценки годовых температур, рассчитанные по трендам b_3 за период 1961–2023 гг.

для кратных десятилетий по станциям Воронеж и Каменная степь

Estimates of annual temperatures calculated using b_3 trends for the period of 1961–2023 for round-number decades
at the Voronezh and Kamennaya Steppe stations

Год/станция	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020	2030
Воронеж	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3	7,7	8,2	8,7
Каменная степь	5,3	5,7	6,2	6,6	7,0	7,5	7,9	8,3

Примечание: По сезонам больше всего потеплел зимний период (МС Воронеж на 4,5 °C и МС Каменная степь на 4,0 °C), лето также стало сильно жарче (на 3,0 °C для МС Воронеж и на 2,8 °C для МС Каменная степь). Температуры весеннего сезона увеличились на 2,5–2,6 °C, а осеннего на 2,0–2,2 °C.

Note: By season, the winter period warmed the most (by 4.5°C at the Voronezh MS and by 4.0°C at the Kamennaya Steppe MS); summer also became much hotter (by 3.0°C at the Voronezh MS and by 2.8°C at the Kamennaya Steppe MS). Spring season temperatures increased by 2.5–2.6 °C, fall temperatures – by 2.0–2.2 °C.

Если рассматривать трендовые изменения температур в два последовательные тридцатилетия 1961–1990 и 1991–2020 гг. по сезонам года, то можно заметить, что зимой в оба периода имело место устойчивое потепление на обеих станциях: в Воронеже на 2,0 и 2,2 °C, а в Каменной степи на 1,6 и 2,0 °C соответственно. В остальные сезоны в период 1961–1990 гг. на обеих станциях было или очень слабое потепление и даже похолодание от -1 до -1,2 °C, тогда как в период 1991–2020 гг. имело место только существенное потепление в пределах 2–3 °C.

Динамика изменения средних месячных, сезонных и годовых сумм осадков в периоды 1961–2023, 1961–1990, 1991–2020 гг.

На рисунке 2а, б аналогично температуре воздуха показан временной ход средних годовых сумм осадков за 1961–2023 гг. по обеим станциям (точки) и аппроксимация его линейными трендами (прямые линии) с угловым коэффициентом b_3 , а также кривые 11-летних скользящих средних. На рис. 2в, г показаны две линии трендов, рассчитанные для 1961–1990 (угловой коэффициент b_1) и 1991–2020 гг. (угловой коэффициент b_2). На поле графиков приведены уравнения всех трендов.

Хорошо видно, что для обеих станций прямые линии трендов для годовых сумм осадков имеют очень слабый наклон для общего периода 1961–2023 гг., что соответствует малым и статистически не значимым угловым коэффициентам b_3 . Для периодов 1961–1990 и 1991–2020 гг. (рис. 2б) только один тренд для Воронежа (зима 1961–1990 гг.) имеет статистически значимое значение $b_1 = 48,215 \text{ мм/10 лет}$. Это и следовало ожидать из анализа данных о практической неизменности годовых норм осадков по периодам 1961–1990 и 1991–2020 гг., который был сделан в начале статьи.

В таблице 6 приведены значения угловых коэффициентов b_1 , b_2 и b_3 , полученные для периодов 1961–1990, 1991–2020, 1961–2023 гг. соответственно и для наглядности восприятия выраженные, как это принято, в мм/10 лет. Дополнительно в табл. 7 приведены значения трендовых изменений сумм осадков в процентах от их норм, которые соответствуют угловым коэффициентам табл. 6.

Прежде всего обращает на себя внимание то важное обстоятельство, что большинство трендов табл. 6 статистически не значимы (не значимы 74 тренда из 78, или 95 %). Это является следствием трех факторов: относительно малого периода наблюдений, большой временной изменчивости осадков и малых значений фактически наблюдаемых модулей трендов. Значимыми оказались только 4 угловые коэффициента округленно со значениями 10 мм/10 лет и более. Напомним, что, незначимость трендов, с точки зрения положений статистики, означает, что они являются чисто случайными и могут быть приняты как нулевые.

В результате из данных табл. 6, 7 можно сделать только один достаточно достоверный вывод: фактически наблюдаемые угловые коэффициенты линейных трендов месячных и годовых сумм осадков в изучаемые периоды по станциям Воронеж и Каменная степь, как правило, колебались случайным образом, принимая близкие к нулевым как положительные, так и отрицательные значения, и являлись статистически не значимыми. Этот вывод, разумеется, соответствует и самим значениям изменений осадков, рассчитанным по угловым коэффициентам трендов.

Метеорология
Подрезова Ю.А.

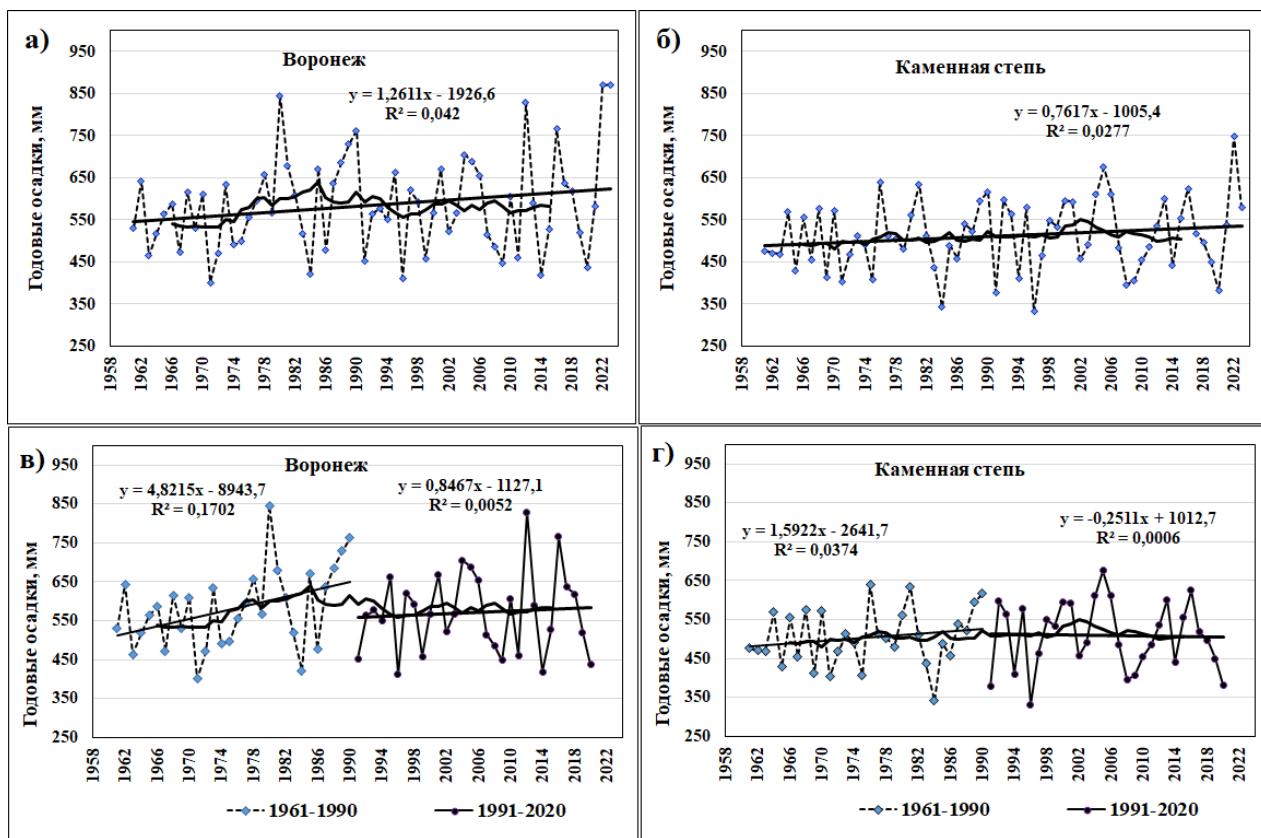


Рис. 2. Ход годовых сумм осадков по метеостанции Воронеж (а) и Каменная степь (б) за весь период наблюдений 1961–2023 гг. и за периоды 1961–1990 и 1991–2020 гг. (в, г) с линиями и уравнениями линейных трендов, а также кривыми 11-летних скользящих средних

Fig. 2. Variation of annual precipitation amounts at the Voronezh (a) and Kamennaya Steppe (b) weather stations for the entire observation period of 1961–2023 and for the periods of 1961–1990 and 1991–2020 (в, г) with lines and equations of linear trends and curves of 11-year moving averages

Таблица 6
Table 6

Значения угловых коэффициентов трендов средних месячных и годовых сумм осадков b_1 , b_2 и b_3 (мм/10 лет) за периоды 1961–1990, 1991–2020, 1961–2023 гг. по станциям Воронеж и Каменная степь
(статистически значимые тренды выделены жирным)

The angular coefficients of trends in average monthly and annual precipitation amounts b_1 , b_2 , and b_3 (mm/10 years) for the periods of 1961–1990, 1991–2020, and 1961–2023 at the Voronezh and Kamennaya Steppe stations (statistically significant trends are highlighted in bold)

Год, сезон, месяц	Периоды осреднения			Периоды осреднения		
	1961–1990	1991–2020	1961–2023	1961–1990	1991–2020	1961–2023
	Воронеж			Каменная степь		
Год	48,215	8,467	12,611	15,922	-2,511	7,617
декабрь	-4,715	5,832	1,107	-4,257	0,469	-1,280
январь	4,807	8,578	2,286	2,064	7,139	1,930
февраль	-0,941	1,558	1,785	-1,570	-0,271	2,265
март	-5,645	3,503	2,023	-2,907	0,997	1,466
апрель	2,558	8,822	2,598	3,127	9,886	1,747
май	-5,279	2,370	0,131	-0,974	-1,209	-0,428
июнь	29,174	-4,453	1,697	6,643	-1,059	2,747
июль	3,395	-1,811	-1,852	0,302	-4,766	0,060
август	6,119	2,701	-1,034	-6,722	1,072	-3,023
сентябрь	13,337	-14,527	0,213	18,736	-8,078	0,843
октябрь	5,212	-7,640	3,629	0,889	-5,549	2,464
ноябрь	0,193	3,531	0,026	0,593	-1,142	-1,175

*Метеорология
Подрезова Ю.А.*

Таблица 7
Table 7

Значения изменений месячных, сезонных и годовых сумм осадков ΔR_1 , ΔR_2 , ΔR_3 в % от норм за периоды 1961–1990, 1991–2020, 1961–2023 гг. по станциям Воронеж и Каменная степь

Changes in monthly, seasonal, and annual precipitation amounts ΔR_1 , ΔR_2 , ΔR_3 in % of norms for the periods of 1961–1990, 1991–2020, and 1961–2023 at the Voronezh and Kamennaya Steppe stations

Год, сезон, месяц	Периоды осреднения			Периоды осреднения		
	1961–1990	1991–2020	1961–2023	1961–1990	1991–2020	1961–2023
	Воронеж			Каменная степь		
Год	24,9	4,4	14,0	8,2	-1,3	8,5
Зима:	-2,1	37,3	26,1	-9,1	17,1	14,7
декабрь	-27,5	36,6	14,0	-24,8	2,9	-16,1
январь	35,8	61,1	35,6	15,4	50,8	30,1
февраль	-8,9	12,1	32,6	-14,8	-2,1	41,4
Весна:	-21,7	34,5	25,1	-2,0	22,7	14,7
март	-56,1	27,5	37,8	-28,9	7,8	27,4
апрель	19,2	64,5	40,5	23,5	72,3	27,2
май	-34,8	14,7	1,8	-6,4	-7,5	-5,9
Лето:	58,8	-6,3	-4,2	0,3	-8,4	-0,8
июнь	126,4	-22,0	16,7	28,8	-5,2	27,1
июль	14,1	-9,4	-18,2	1,3	-24,8	0,6
август	32,8	15,7	-12,8	-36,0	6,2	-37,4
Осень:	38,9	-38,5	16,9	41,9	-30,6	9,3
сентябрь	74,4	-86,3	2,6	104,5	-48,0	10,3
октябрь	40,2	-44,7	50,9	6,9	-32,4	34,5
ноябрь	1,1	24,5	0,3	3,4	-7,9	-15,5

Заключение

В центральной и южной части лесостепной зоны Русской равнины на территории Воронежской области по многолетним данным наблюдений репрезентативных метеостанций Воронеж и Каменная степь за 1961–2023 гг. наблюдалось устойчивое закономерное потепление климата во все месяцы года, сопровождающее практическим постоянством сумм осадков. Приводятся климатические нормы и другие численные характеристики этих процессов за периоды 1961–2023 гг., а также два последовательных тридцатилетия 1961–1990 (базовый климат) и 1991–2020 гг. (современный климат).

Годовые нормы температур и осадков за период 1961–2023 гг. оказались равными: станция Воронеж 6,9 °C и 585 мм, Каменная степь 6,7 °C и 512 мм. Годовые значения СКО по температуре и осадкам (СКО и коэффициент вариации в %) по обеим станциям составили: Воронеж 1,3 °C и 113 мм (19 %), Каменная степь 1,2 °C и 84 мм (16 %). Следовательно, можно считать, что климатические условия на обеих станциях, с точки зрения как самих норм температуры, так и ее межгодовой изменчивости, были практически идентичными. В то же время годовая сумма осадков на станции Каменная степь в году была на 14 % ниже, чем в Воронеже. При этом относительная межгодовая изменчивость осадков на обеих станциях, выражаемая коэффициентами вариации, являлась практически одинаковой.

Средняя скорость повышения годовых температур за 63-летний период 1961–2023 гг. по станции Воронеж составила 0,475 °C/10 лет, что привело к их росту на 3,1 °C. Аналогичная скорость повышения годовых температур по станции Каменная степь была 0,435 °C/10 лет, что привело к почти такому же их росту на 2,8 °C. Сильнее всего потеплел зимний сезон года (Воронеж на 4,5 °C и Каменная степь на 4,0 °C) и лето (для Воронежа на 3,0 °C и для Каменной степи на 2,8 °C). Температуры весеннего сезона увеличились на 2,5–2,6 °C, а осеннего на 2,0–2,2 °C. Максимальные скорости повышения температур на обеих станциях наблюдались в январе: в Воронеже она составила 0,814 °C/10 лет, что дало $\Delta T = 5,3$ °C, в Каменной степи она равнялась 0,749 °C/10 лет, что дало $\Delta T = 4,9$ °C. Минимальные скорости потепления наблюдались в конце весны, а именно в мае: в Воронеже она равнялась 0,192 °C/10 лет ($\Delta T = 1,2$ °C), в Каменной степи – 0,185 °C/10 лет ($\Delta T = 1,2$ °C).

Каких-либо закономерных статистически значимых изменений годовых сумм осадков в исследуемый период 1961–2023 гг. на каждой из станций не наблюдалось. С учетом приближенного равенства коэффициентов вариации осадков на обеих станциях можно считать, что в результате на них имели место только чисто случайные и в относительном плане одинаковые по интенсивности колебания сумм осадков от года к году около их климатических норм (Воронеж 585 мм, Каменная степь 512 мм), обусловленные большой временной изменчивостью этой метеорологической величины (СКО Воронеж 113 мм, СКО Каменная степь 84 мм).

Метеорология
Подрезова Ю.А.

Библиографический список

1. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения 12.02.2024)
2. Гессен С.М., Воротников А.М. Карбоновые полигоны, новый инструмент управления климатическими изменениями в Российской Федерации // Журнал социологических исследований. 2021. Т. 6, № 2. С. 22–30. EDN: QAKKZU
3. Гессен С.М., Воротников А.М. Карбоновые полигоны – новый научно-образовательный проект для Арктики // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. 2021. № 2 (6). С. 98–104. DOI: 10.51823/74670_2021_2_98 EDN: GDFXLW
4. Глаголев М.В., Головацкая Е.А., Шнырев Н.А. Эмиссия парниковых газов на территории Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. 2007. Т. 14, № 2. С. 197–210. EDN: HZXODH
5. Груда Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИГМИ-МЦД», 2012. 194 с. ISBN: 978-5-901579-35-0 EDN: VHXTAJ
6. Десяtkов Б.М., Бородулин А.И., Махов Г.А., Котлярова С.С., Сарманаев С.Р. Оценка эмиссии болотного метана по его концентрации в приземном слое атмосферы // Метеорология и гидрология. 1998. № 8. С. 67–72.
7. Дзюба А.В., Панин Г.Н. Механизм формирования многолетних направленных изменений климата в прошедшем и текущем столетиях // Метеорология и гидрология. 2007. № 5. С. 5–27. EDN: KUHQCT
8. Дроздов О.А., Васильев В.А., Кобышева Н.В. и др. Климатология. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 568 с.
9. Закс Л. Статистическое оценивание / пер. с нем. В.Н. Варыгиной. М.: Статистика, 1976. 598 с.
10. Изменение климата России и земного шара. URL: <http://www.igce.ru/climatechange> (дата обращения 19.01.2024)
11. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Изд.-во МГУ, 1988. 245 с.
12. Карбоновый полигон в Воронежской области FOR&ST CARBON. URL: <https://carbon.vgltu.ru> (дата обращения 10.01.2024)
13. Кислов А.В. Климатология с основами метеорологии. М.: Академия, 2016. 222 с.
14. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 295 с.
15. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб: Гидрометеоиздат, 2000. 778 с.
16. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 208 с. ISBN: 978-5-7692-0891-1 EDN: YLIVKH
17. Переведенцев Ю.П. Теория климата. Казань: КГУ, 2009. 503 с.
18. Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/> (дата обращения 13.02.2024)
19. Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. М.: Наука, 1969. 459 с.
20. Тетерин А.Ф., Медведев А.Н., Ярмошенко И.В. Климатические характеристики вегетационного периода в районе расположения карбонового полигона «Уралкарбон» и перспективных мест размещения карбоновых ферм на Среднем Урале. // Траекторий исследований – человек, природа, технологии. 2022. № 2 (2). С. 64–79. DOI: 10.56564/27825264_2022_2_64 EDN: PXAUKU
21. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск: ГУ ВНИГМИ-МЦД, 2008. 246 с. EDN: QKIDLB

References

1. Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center. available at: <http://meteo.ru/data> (Accessed 12.02.2024).
2. Gessen, S. M., Vorotnikov, A. M. (2021), Carbon polygons, a new tool for managing climate change in the Russian Federation, *Zhurnal sociologicheskikh issledovanij*, vol. 6, no. 2, pp. 22–30.
3. Gessen, S. M., Vorotnikov, A. M. (2021), Carbon testing grounds - a new scientific and educational project for the Arctic, *Arktika 2035: aktual'nye voprosy, problemy, resheniya*, no. 2 (6), pp. 98–104.
4. Glagolev, M.V., Golovackaja, E.A., Shnyrev, N.A. (2007), Greenhouse gas emissions in Western Siberia, *Jemissija parnikovyh gazov na territorii Zapadnoj Sibiri, Sibirskij jekologicheskij zhurnal*, vol. 14, no. 2, pp. 197–210.
5. Gruza, G.V., Ran'kova, Je.Ja. (2012), Nabludaemye i ozhidaemye izmenenija klimata Rossii: temperatura vozduha, [Observed and expected climate changes in Russia: air temperature], Obninsk, Russian.
6. Desyatkov, B.M., Borodulin, A.I., Mahov, G.A., Kotljarova, S.S., Sarmanae, S.R. (1998), Estimation of swamp methane emissions based on its concentration in the surface layer of the atmosphere, *Ocenka jemissii bolotnogo metana po ego koncentracii v prizemnom sloe atmosfery, Meteorologija i gidrologija*, no. 8, pp. 67–72.
7. Dzjuba, A.V., Panin, G.N. (2007), The mechanism of formation of long-term directed climate changes in the past and ordinary difficulties, *Mehanizm formirovaniya mnogoletnih napravlenykh izmenenij klimata v proshedshem i tekushhem stoletijah, Meteorologija i hidrologija*, no. 5, pp. 5–27.
8. Drozdov, O.A., Vasil'ev, V.A., Kobysheva, N.V. and other (1989), *Klimatologiya*, [Climatology], Lenindrad, Russian.
9. Zaks, L. (1976), *Statisticeskoe ocenivanie*, [Statistical evaluation], Moscow, Russian.
10. Climate change in Russia and the globe, available at: <http://www.igce.ru/climatechange> (Accessed 19.01.2024).
11. Isaev, A.A. (1988), *Statistika v meteorologii i klimatologii*, [Statistics in meteorology and climatology], Moscow, Russian.
12. Carbon polygon in the Voronezh region FOR&ST CARBON, available at: <https://carbon.vgltu.ru> (Accessed 10.01.2024).
13. Kislov, A.V. (2016), *Klimatologija s osnovami meteorologii*, [Climatology with basic meteorology], Moscow, Russian.
14. Kobysheva, N.V., Narovlyanskiy, G.Ya. (1978), *Klimaticheskaya obrabotka meteorologicheskoy informacii*, [Climate processing of meteorological information], Leningrad, Russian.
15. Matveev, L.T. (2000), *Fizika atmosfery*, [Atmospheric physics], Saint Petersburg, Russian.
16. Naumov, A.V. (2009), *Dyhanie pochvy: sostavlajushchie, jekologicheskie funkci, geograficheskie zakonomernosti*, [Soil respiration: components, ecological functions, geographical patterns], Novosibirsk, Russian.

Метеорология
Подрезова Ю.А.

17. Perevedencev, Ju. P. (2009), Teorija klimata, [Climate theory], Kazan', Russian.
18. Weather and climate, available at: <http://www.pogodaiklimat.ru> (Accessed 13.02.2024).
19. Smirnov, N.V., Dunin-Barkovskij, I.V. (1969), Kurs teorii veroyatnostej i matematicheskoy statistiki dlya tekhnicheskikh prilozhenij, [Course on Probability Theory and Mathematical Statistics for Technical Applications], Moscow, Russian.
20. Teterin, A. F., Medvedev, A. N., Yarmoshenko, I. V. (2022), Climatic characteristics of the growing season in the area where the Uralcarbon carbon test site is located and promising locations for carbon farms in the Middle Urals, *Traektorij issledovanij – chelovek, priroda, tekhnologii*, no. 2 (2), pp. 64–79.
21. Sherstjukov, B.G. (2008), Regional'nye i sezonnnye zakonomernosti izmenenij sovremenennogo klimata, [Regional and seasonal patterns of changes in modern climate], Obninsk, Russian.

Статья поступила в редакцию: 10.07.24, одобрена после рецензирования: 10.12.24, принята к опубликованию: 13.06.25.

The article was submitted: 10 July 2024; approved after review: 10 December 2024; accepted for publication: 13 June 2025.

Информация об авторе

Юлия Андреевна Подрезова
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник научно-
исследовательского отдела,
Воронежский государственный лесотехнический
университет имени Г.Ф. Морозова;
394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева 8

e-mail: umbassadorka@mail.ru

Information about the author

Yuliia A. Podrezova
Candidate of Geographical Sciences,
Senior Researcher, Research Department,
Voronezh State University of Forestry
and Technologies named after G.F. Morozov;
8, Timiryazeva st., Voronezh, 394087, Russia