

Особенности изменения климатических условий на территории Среднего Поволжья в период 1966-2024 гг. и их последствия

Ю. П. Переведенцев✉, А. Д. Янгиров, Т. Р. Аухадеев

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Российская Федерация
(420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18)

Аннотация. Цель – оценить динамику межсуточных перепадов температуры воздуха больше 6 °C и атмосферного давления более 8 гПа на территории Среднего Поволжья в период 1966-2024 гг. на фоне происходящих изменений регионального климата.

Материалы и методы. Информационной базой послужили ежедневные данные о температуре воздуха и атмосферном давлении реанализа ERA5 в узлах регулярной сетки с разрешением 0,25° на территории Среднего Поволжья в период 1966-2024 гг. (количество узлов 1334). Многолетие данные указанных метеовеличин подвергались статистической обработке, как в целом по периоду 1966-2024 гг., так и по подпериодам 1966-1994 и 1995-2024 гг. Находились средние сезонные значения, средние квадратические отклонения (СКО), коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ), повторяемость межсуточных перепадов температуры более 6 °C и давления более 8 гПа по сезонам. Оценивалось влияние циркуляционных мод на климатические показатели.

Результаты и обсуждения. В регионе наблюдается, как и в целом по территории России, потепление климата, проявившееся в значительном повышении средней годовой температуры в период 1966-2024 гг. со скоростью 0,42 °C/10 лет. Наиболее активно потепление происходит в зимний период (КНЛТ = 0,69 °C/10 лет), наименьшая скорость отмечается летом (КНЛТ = 0,31 °C/10 лет). Получена динамика изменчивости межсуточных перепадов температуры воздуха (> 6 °C) и атмосферного давления (> 8 гПа) на территории Среднего Поволжья за 1966-2024 гг. При этом в период 1995-2024 гг. число резких перепадов температуры и давления уменьшается по сравнению с более ранним периодом 1966-1995 гг., что свидетельствует о росте устойчивости атмосферы.

Выводы. Наиболее часто фиксируются межсуточные перепады температуры (> 6 °C) в зимний период, что превышает их суммарное число за остальные сезоны. При этом отмечается уменьшение частоты межсуточных перепадов температуры больше 6 °C за зимний сезон в период 1995-2024 гг. по сравнению с периодом 1966-1994 гг. Происходит также уменьшение дисперсии среднесуточной температуры воздуха. Частота межсуточных перепадов давления больше 8 гПа наиболее значительна зимой, при этом происходит ее слабое уменьшение с 23 случаев/сезон (период 1966-1994 гг.) до 22 случаев/сезон (1995-2024 гг.). По сезонам частота перепадов давления распределяется в следующей последовательности: зима, осень, весна, лето.

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферное давление, перепады, климатические изменения, здоровье человека.

Источник финансирования: Работа выполнена при поддержке средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (проект №FZSM-2024-0004).

Для цитирования: Переведенцев Ю. П., Янгиров А. Д., Аухадеев Т. Р. Особенности изменения климатических условий на территории Среднего Поволжья в период 1966-2024 гг. и их последствия // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2025, № 4, с. 103-114. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/103-114>

ВВЕДЕНИЕ

Проблеме воздействия состояния окружающей среды на здоровье человека посвящены многочисленные исследования, краткий обзор которых содержится в [2]. Согласно [4], одними из важнейших «метеопатопусковых факторов», вызывающих патологические метеотропные реакции являются межсуточные перепады температуры, атмосферного давления, влажности воздуха, скорости ветра, показатели плотности кислорода, атмосферного электричества и геомагнитной активности. Принято считать, что оптимальные (комфортные) для человека усло-

вия возникают, если среднесуточная температура воздуха составляет 18 °C, относительная влажность 50 %, отсутствуют облака, ветер и межсуточные перепады температуры воздуха и атмосферного давления [1].

В настоящее время происходит наиболее значительное глобальное потепление климата со времен «Средневекового теплого периода» (X-XIV века). Современное состояние этой проблемы и оценки будущих климатических изменений на планете и в ее регионах до конца XXI в. представлены в 6-м оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата



(2021 г.) [16] и 3-м оценочном докладе Росгидромета [15]. В [8] отмечается, что повышение глобальной приповерхностной температуры сопровождается быстрым ростом числа природных катастроф, в первую очередь вследствие гидрометеорологических аномалий. На территории Приволжского федерального округа также наблюдается рост экстремальности температуры воздуха и повторяемости опасных гидрометеорологических явлений [9].

Первой основополагающей работой по изучению климата Среднего Поволжья явилась монография профессора Казанского университета Н.В. Колобова [7], опубликованной в 1968 г. Обзор более современных работ по изучению климата региона представлен в [11]. В частности, в них показано, что в 133-летний период (1888-2020 гг.) зимняя температура воздуха на территории Приволжского федерального округа (ПФО) повысилась на 4,6 °С.

Цель настоящей статьи – оценить динамику межсуточных перепадов температуры воздуха больше 6 °С и атмосферного давления более 8 гПа на территории Среднего Поволжья в период 1966-2024 гг. на фоне происходящих изменений регионального климата. Отмеченные перепады метеорологических величин влияют на состояние здоровья человека.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве исходных данных в работе использовались ежедневные данные о температуре воздуха и атмосферном давлении реанализа ERA5 в узлах ре-

гулярной сетки с разрешением 0,25 ° на территории Среднего Поволжья (рис. 1) в период 1966-2024 гг. (количество узлов 1334).

Многолетние данные указанных метеовеличин подвергались статистической обработке, как в целом по периоду 1966-2024 гг., так и по подпериодам 1966-1994 и 1995-2024 гг. Находились средние сезонные значения, средние квадратические отклонения (СКО), коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ), повторяемость межсуточных перепадов температуры более 6 °С и давления более 8 гПа по сезонам. Оценивалось влияние циркуляционных мод на климатические показатели.

Для выделения систематической составляющей изменений температуры и давления, осредненных по территории Среднего Поволжья за 1966-2024 гг., для всех сезонов года были построены линейные тренды:

$$y(\tau) = a\tau + b, \quad (1)$$

где $y(\tau)$ – сглаженное значение показателя на момент времени τ ($\tau = 1, 2, 3, \dots, n$), a – угловой коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ), характеризует скорость изменения показателя, b – свободный член (начальное значение линейного тренда). Положительное значение коэффициента a указывает на рост показателя, а отрицательное – на падение.

С целью оценки вклада линейного тренда в общую дисперсию показателя рассчитывался коэффициент детерминации линейного тренда R^2 . Результат достоверен на уровне значимости 5 % при $R^2 > 0,05$ ($n = 59$).

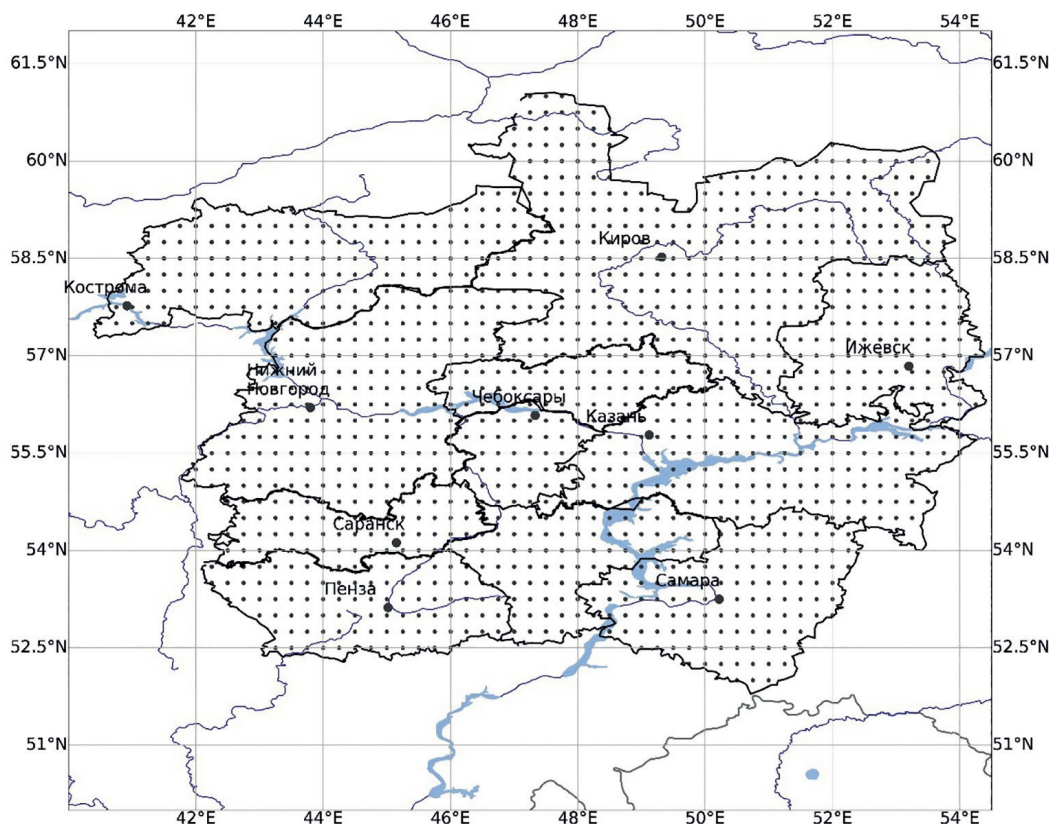


Рис. 1. Территория Среднего Поволжья
[Fig. 1. The territory of the Middle Volga region]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С середины 1970-х гг. берет свое начало современное глобальное потепление климата. В России регулярный мониторинг температурного режима земного шара осуществляется в ИГКЭ Росгидромета и РАН [10], согласно которому в период 1976-2022 гг. положительные тренды приповерхностной температуры воздуха (ТВ) составляют около 97 % всех локальных оценок. При этом наибольшая интенсивность потепления отмечена в Арктическом широтном поясе ($0,57^{\circ}\text{C}/10$ лет) и на территории Европы ($0,49^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Как следует из климатической доктрины РФ, ожидаемые изменения климата являются причиной угроз безопасности РФ, что требует получения полной и объективной информации о текущих и возможных в будущем климатических изменениях. Проблеме изменения климата уделено внимание в итоговой Казанской Декларации стран БРИКС (октябрь 2024 г.). Вначале дадим оценку климатических изменений на Земле с 1850 г. (с момента появления надежных метеорологических наблюдений) по настоящее время. Для этого были использованы временные ряды аномалий приповерхностной температуры по всему земному шару с сайта группы исследования климата Университета Восточной Англии (данные CRU и центра Хэдли-Над CRUT4). Выделение низкочастотной компоненты (НЧК) осуществлялось с помощью НЧ-фильтра Поттера с точкой отсечения 10 и 30 лет.

Анализ рядов среднегодовой температуры воздуха (СГТВ) для Северного (СП) и Южного (ЮП) полушарий показал, что за последние 170 лет при общем весьма существенном, но достаточно неравномерном повышении СГТВ имели место и периоды ее понижения. Так, в СП периоды похолодания наблюдались с 1875 по 1909 гг. и с 1946 по 1972 гг. С 1909 по 1943 гг. произошло потепление и СГТВ СП увеличивалась на $0,60^{\circ}\text{C}$ за 35 лет. С 1972 по 2021 гг. в период фазы активного потепления (51 год) величина повышения температуры составила $1,3^{\circ}\text{C}$. При этом во временном ходе темпе-

ратуры отчетливо проявляется 60-70-летнее колебание. Скорость повышения СГТВ (КНЛТ) в период 1850-2021 гг. составила $0,072^{\circ}\text{C}/10$ лет, летняя температура повышалась со скоростью $0,054^{\circ}\text{C}/10$ лет, а зимняя со скоростью $0,083^{\circ}\text{C}/10$ лет. Процесс современного потепления в ЮП начался на 7 лет раньше, чем в СП, однако скорость потепления в Северном полушарии в последние десятилетия вдвое выше, чем в ЮП. Так, в период 1970-2021 гг. значение КНЛТ СГТВ в СП составило примерно $0,26^{\circ}\text{C}/10$ лет. Следует отметить, что в различных географических районах Земли отмечаются как различные даты начала наступления активной фазы современного потепления по сезонам года, так и скорости потепления. В частности, в Казани, где метеонаблюдения ведутся с 1812 г., современное годовое потепление началось в 1946 г., летнее с 1980 г., а зимнее с 1968 г. и продолжается по настоящее время. При этом вклад процессов СП в локальные изменения температуры составляет в целом для года 63 %, летнего периода 27 % и зимнего 43 %.

Рассмотрим особенности климатического режима на территории Среднего Поволжья в современный период. Согласно [3], значительное влияние на формирование климата оказывает циркуляционный фактор. При этом наибольшее влияние на него оказывают западные, северо-западные циклоны и местный циклогенез, а также антициклоны северо-западного происхождения.

Распределение параметров приземного барического поля на территории Среднего Поволжья по сезонам в период 1966-2024 гг. таково. Зимой изобары направлены с юго-запада на северо-восток. Перепад давления между южной и северной границами региона составляет 7 гПа (давление уменьшается с юга на север от 1022,5 до 1015,5 гПа). Среднее квадратическое отклонение давления возрастает с юга на север от 4,2 до 5,8 гПа. Значения КНЛТ давления возрастают с юга на север по модулю от 0,21 до 0,51 гПа/10 лет. При этом значения КНЛТ <0 , что указывает на падение зимнего давления в регионе.

Таблица 1

Режим атмосферного давления осредненного по территории Среднего Поволжья
[Table 1. The regime of atmospheric pressure averaged over the territory of the Middle Volga region]

Период / Period	Сезон / Season			
	Зима / Winter	Весна / Spring	Лето / Summer	Осень / Autumn
Атмосферное давление (гПа)				
1966-2024	1016,2	1013,6	1009,0	1014,2
1966-1994	1016,5	1014,6	1008,4	1013,4
1995-2024	1015,9	1012,7	1009,6	1014,9
СКО атмосферного давления (гПа)				
1966-2024	5,1	2,5	1,6	3,2
1966-1994	5,8	2,2	1,6	3,5
1995-2024	4,4	2,5	1,5	2,8
КНЛТ атмосферного давления (гПа/10 лет)				
1966-2024	-0,36	-0,54	0,26	0,44
1966-1994	-2,45	0,43	-0,52	0,44
1995-2024	0,53	-0,66	0,16	0,22

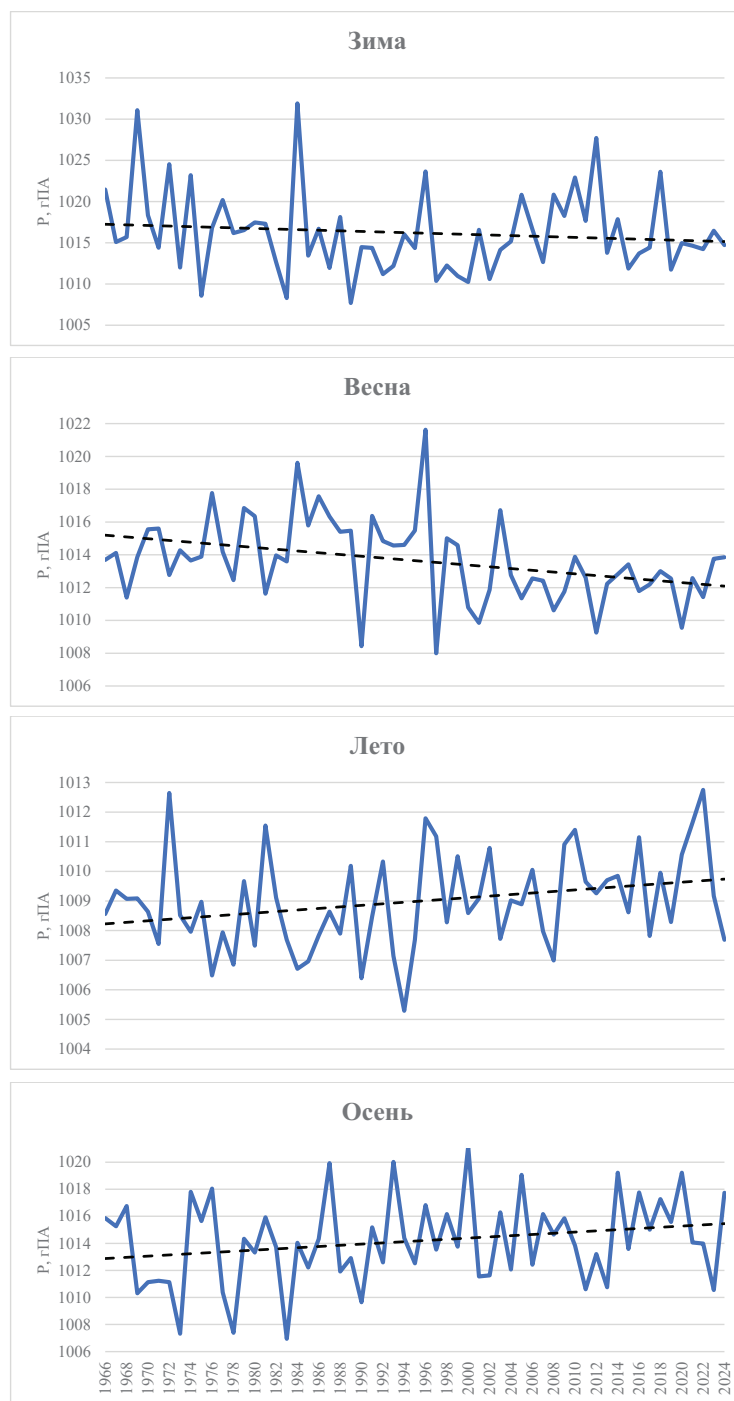


Рис. 2. Межгодовые изменения и линейные тренды атмосферного давления осредненного по территории Среднего Поволжья за 1966-2024 гг. (гПа)

[Fig. 2. Interannual changes and linear trends of atmospheric pressure averaged over the territory of the Middle Volga region in 1966-2024 (gPa)]

В летний период поле давления размытое. Давление растет с востока на запад от 1011,5 до 1012 гПа, оно заметно меньше, чем зимой. Величины СКО давления летом также незначительны: меняются по территории от 1,4 до 1,8 гПа. В отличие от зимнего периода летом давление растет со скоростью от 0,18 до 0,30 гПа/10 лет. Максимум формируется в западной части региона. Анализ структуры барического поля в подпериоды 1966-1994 и 1995-2024 гг. показывает, что если в более

ранний период значения давления и зимой, и летом уменьшаются ($KHЛТ < 0$), то в более поздний период наблюдается его рост ($KHЛТ > 0$).

В таблице 1 представлены характеристики атмосферного давления осредненные по территории для различных периодов. Наблюдаются сезонные отличия в его поведении для указанных периодов: в зимний период во всех случаях давление меняется с большей скоростью, чем в летний.

Временной ход осредненного по территории давления для всего периода представлен на рисунке 2.

Температурное поле на территории Среднего Поволжья по сезонам за период 1966-2024 гг. имеет следующие особенности. Зимой изотермы направлены с севера-запада на юго-восток. Перепад температуры с юго-запада на северо-восток составляет 5 °С (температура понижается с -8 °С до -13 °С). СКО увеличивается с юга на север от 2,3 до 2,8 °С. Значения КНЛТ температуры положительные, что свидетельствует о потеплении климата со скоростью 0,6-0,7 °С. В летний период изотермы принимают зональный характер. Температура

понижается с юга на север от 20 °С до 16 °С. Значения СКО температуры невелики, порядка 1,2-1,3 °С. Температура растет со скоростью 0,3-0,4 °С/10 лет.

Сравнение температурных режимов осредненных по территории региона за периоды 1966-1994 и 1995-2024 гг. показывает, что если зимой в более ранний период потепление происходило со скоростью 1,46 °С/10 лет, то в более поздний период его скорость уменьшилась до 0,53 °С/10 лет. Кроме того, в 1966-1994 гг. летняя температура понижалась со скоростью -0,12 °С/10 лет, однако в 1995-2024 гг. летняя температура стала расти со скоростью 0,28 °С/10 лет (табл. 2).

Таблица 2

Режим температуры воздуха, осредненной по территории Среднего Поволжья
в период 1966-2024 гг.

[Table 2. The regime of air temperature averaged over the territory of the Middle Volga region
in the period 1966-2024.]

Период / Period	Сезон / Season			
	Зима / Winter	Весна / Spring	Лето / Summer	Осень / Autumn
Период	Сезон			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Температура воздуха (°С)				
1966-2024	-10,4	4,5	17,6	3,7
1966-1994	-11,3	4,1	17,0	3,0
1995-2024	-9,6	5,0	18,1	4,4
СКО температуры воздуха (°С)				
1966-2024	2,4	1,5	1,3	1,5
1966-1994	2,5	1,5	1,3	1,5
1995-2024	1,9	1,4	1,1	1,2
КНЛТ температуры воздуха (°С/10 лет)				
1966-2024	0,69	0,29	0,31	0,39
1966-1994	1,46	-0,07	-0,12	-0,35
1995-2024	0,53	0,43	0,28	0,58

На рисунке 3 представлены осредненные по территории тенденции изменения температуры за период 1966-2024 гг.

Ранее в работе авторов статьи [6] была показана роль атмосферной циркуляции в формирование термического режима региона. В период декабрь-март от 27 до 47 % дисперсии температуры описывается изменениями циркуляции. При этом в январе и феврале более чем в два раза сильнее влияние блокинга SCAND над североатлантическим колебанием NAO, а в декабре больше влияние NAO. В летний период охлаждающее влияние на режим оказывает атмосферное колебание Восточная Атлантика – Западная Россия (коэффициент корреляции $r = -0,7$). Кроме того, значительно влияние на температурный режим региона атлантической мультideкадной осцилляции, находящейся с середины 1970-х гг. в теплой фазе.

На этом климатическом фоне в условиях активных синоптических процессов (циклоническая активность, адвекция тепла и холода, прохождение атмосферных фронтов) возникают значительные межсуточные перепады температуры и давления. В таблице 3 представ-

лены значения межсуточных перепадов температуры, осредненных по месяцам за период 1966-2024 гг., рассчитанные для ряда станций Поволжья. Выявлен годовой ход интенсивности перепадов. В зимний период значения межсуточных перепадов температуры на всех станциях превышают 3 °С, а в летний период в большинстве случаев они не достигают 2 °С.

Согласно [13], резкие изменения температуры и атмосферного давления оказывают непосредственное воздействие на здоровье человека. Рассмотрим межсуточные изменения резких перепадов температуры (> 6 °С) и давления (> 8 гПа) на территории региона.

Для оценки степени неустойчивости температурного режима за счет значительных межсуточных изменений температуры (> 6 °С) построена таблица 4, где представлены данные о повторяемости резких изменений температуры. Согласно [5], межсуточная изменчивость погоды зависит главным образом от адвективного фактора.

В декабре-феврале повторяемость резких изменений температуры воздуха более 50 %, а летом не превышает 10 %.

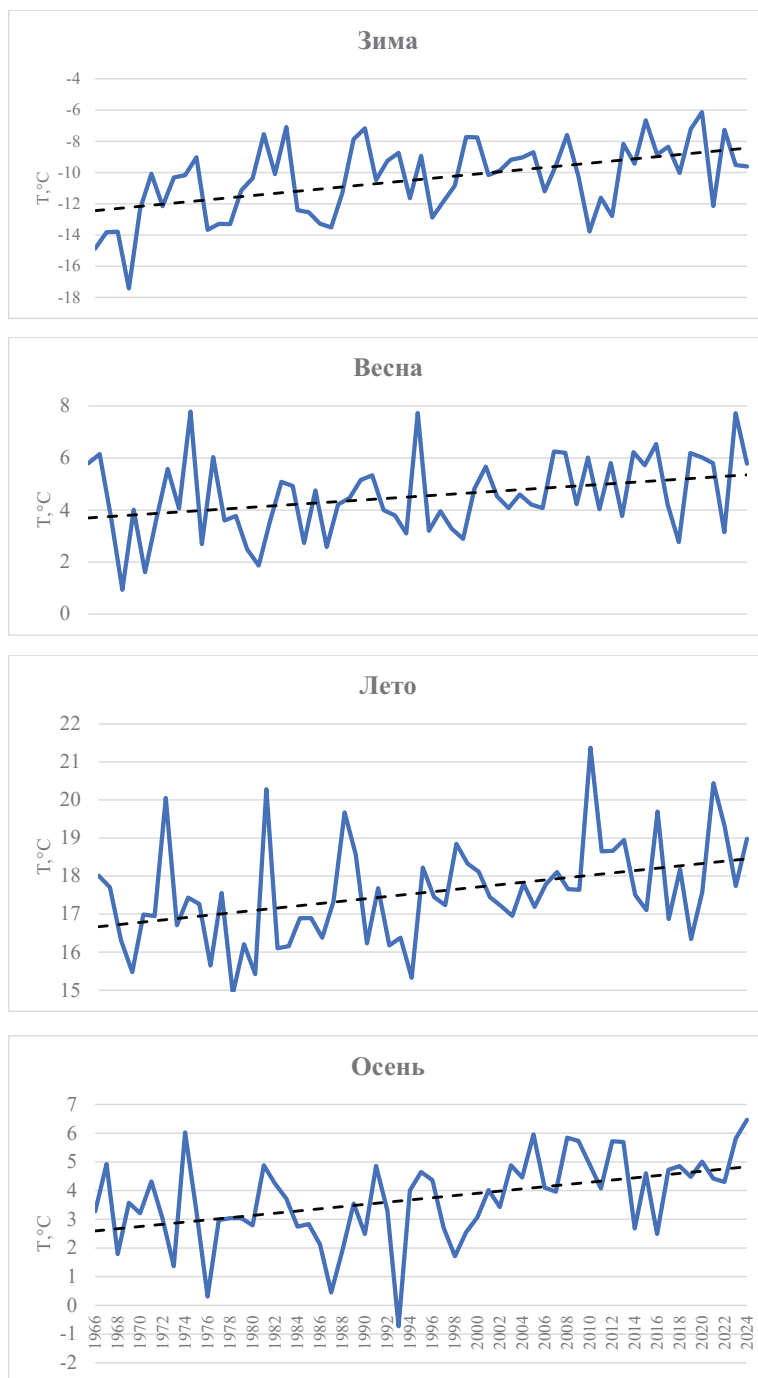


Рис. 3. Межгодовые изменения и линейные тренды температуры воздуха, осредненной по территории Среднего Поволжья за 1966-2024 гг. (°C)

[Fig. 3. Interannual changes and linear trends in the average air temperature over the territory of the Middle Volga region in 1966-2024 (°C)]

Таким образом, наиболее неустойчивая погода формируется зимой, а наиболее стабильная – летом.

В таблице 5 представлены сведения о повторяемости резких межсуточных изменений давления (> 8 гПа) осредненных по территории региона.

Как видно из таблицы 5, четко прослеживается сезонный ход в частоте перепадов давления, которые располагаются в следующей последовательности: зима, осень, весна, лето. При этом частота положительных

и отрицательных перепадов температуры и давления практически одинакова, что согласуется с данными работы [12].

В таблицах 6 и 7 представлено распределение по сезонам межсуточных перепадов температуры и давления (число случаев), осредненных по всей территории Среднего Поволжья, согласно которым в году основная доля перепадов температуры приходится на зимний период (более половины всех случаев). Резких пере-

Таблица 3

Среднемесячные межсуточные изменения температуры воздуха (°C)
на территории Среднего Поволжья в период 1966-2024 гг.

[Table 3. Average monthly day-to-day changes in air temperature (°C)
in the Middle Volga region in the period 1966-2024]

Станция / Station	Месяц / Month												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Чебоксары	3,65	3,07	1,88	2,03	2,51	2,07	1,71	1,81	1,78	2,03	2,33	3,29	2,35
Киров	3,96	3,12	1,94	2,10	2,62	2,24	1,82	1,80	1,75	1,99	2,56	3,47	2,45
Саранск	3,47	3,28	1,92	1,96	2,32	1,92	1,64	1,70	1,86	2,11	2,27	3,19	2,30
Н. Новгород	3,72	3,40	1,86	2,06	2,42	1,99	1,72	1,81	1,84	2,15	2,35	3,41	2,39
Пенза	3,48	3,25	1,93	2,04	2,19	1,97	1,66	1,71	1,87	2,12	2,23	3,18	2,30
Бугульма	3,38	3,02	1,92	2,23	2,73	2,27	1,81	1,96	2,11	2,18	2,41	3,21	2,44
Казань	3,65	3,12	1,92	2,05	2,51	2,05	1,70	1,75	1,83	1,99	2,30	3,25	2,34
Ижевск	4,65	3,33	2,09	2,07	2,66	2,17	1,77	1,89	1,89	2,00	2,69	3,68	2,52
Ульяновск	3,76	3,51	2,09	2,07	2,39	2,05	1,59	1,74	1,90	2,15	2,41	3,43	2,42

Таблица 4

Повторяемость (в %) резких изменений температуры (> 6 °C за сутки)
на территории Среднего Поволжья

[Table 4. Frequency (in %) of sudden temperature changes (> 6 °C per day)
in the Middle Volga region]

Сезон / Season	Период / Period		
	1966-2024	1966-1994	1995-2024
Зима	59,7	60,7	58,6
Весна	17,2	15,7	18,9
Лето	7,6	7,7	7,5
Осень	15,4	15,9	14,9

Таблица 5

Повторяемость (в %) резких изменений атмосферного давления (> 8 гПа за сутки)
на территории Среднего Поволжья за 1966-2024 гг.

[Table 5. The frequency (in %) of sudden changes in atmospheric pressure (> 8 gPa per day)
in the Middle Volga region in 1966-2024.]

Сезон / Season	Период / Period		
	1966-2024	1966-1994	1995-2024
Зима	38,8	39,3	38,2
Весна	24,7	23,0	26,4
Лето	6,3	6,8	5,8
Осень	30,2	30,9	29,6

падов давления во всех случаях происходит больше, чем температуры. При этом лишь в летний период их число незначительно. Отмечается следующая особенность: в период 1995-2024 гг. число резких перепадов температуры и давления уменьшается по сравнению с более ранним периодом 1966-1994 гг., что согласуется с результатами работы [14], в которой показано, что на территории ПФО число крупных среднемесячных аномалий температуры воздуха в период 1999-2018 гг. стало меньше, чем в период 1955-1998 гг. Кроме того, в последние годы уменьшается дисперсия отклонений

суточной температуры от годового хода [6], что свидетельствует об усилении устойчивости режима.

На рисунке 4а представлено распределение среднегодового количества суточных перепадов давления > 8 гПа, осредненных по территории Среднего Поволжья, за весь период 1966-2024 гг. Средняя величина перепадов давления составляет 58,5 случаев/год. Линейный тренд, представленный на рисунке, незначим (КНЛТ=0,04 случаев/10 лет), т.е. не обнаруживается тенденция изменения частоты перепадов давления в рассматриваемый период.

Таблица 6

Частота межсуточных перепадов температуры за сезон больше 6 °С
за периоды 1966-2024, 1966-1994 и 1995-2024 гг. (случай/сезон) на территории Среднего Поволжья
[Table 6. The frequency of diurnal temperature fluctuations per season is more than 6 °C
for the periods 1966-2024, 1966-1994 and 1995-2024. (case/season) in the Middle Volga region]

Сезон / Season	Период / Period		
	1966-2024	1966-1994	1995-2024
Год	24,0 (-1,44)	26,0 (-0,52)	22,2 (-2,98)
Зима	14,4 (-1,09)	15,8 (-0,17)	13,0 (-2,69)
Весна	4,1 (0,05)	4,1 (-0,31)	4,2 (0,48)
Лето	1,8 (-0,13)	2,0 (-0,38)	1,7 (-0,01)
Осень	3,7 (-0,27)	4,1 (0,33)	3,3 (-0,77)

Таблица 7

Частота межсуточных перепадов давления за сезон больше 8 гПа
за периоды 1966-2024, 1966-1994 и 1995-2024 гг. (случай/сезон) на территории Среднего Поволжья
[Table 7. The frequency of inter-daily pressure drops per season is more than 8 gPa
for the periods 1966-2024, 1966-1994 and 1995-2024. (case/season) in the Middle Volga region]

Сезон / Season	Период / Period		
	1966-2024	1966-1994	1995-2024
Год	58,6 (0,04)	59,0 (1,85)	58,1 (0,4)
Зима	22,7 (-0,01)	23,2 (2,83)	22,2 (-0,71)
Весна	14,5 (0,38)	13,6 (-0,68)	15,3 (0,16)
Лето	3,7 (-0,14)	4,0 (0,07)	3,4 (0,05)
Осень	17,7 (-0,18)	18,2 (-0,37)	17,2 (0,93)

Примечание: в скобках значение КНЛТ (число случаев/10 лет)

[Note: in parentheses is the value of CNLT (number of cases/10 years)]

Среднегодовое количество суточных перепадов температуры >6 °С (рис. 4б) имеет тенденцию к уменьшению частоты. Так, среднее число перепадов температуры за весь период составляет 24,1 случаев/год, а КНЛТ=-1,44 случаев/10 лет. Особенно выделяется период 2003-2024 гг., где перепадов температуры было заметно меньше, чем в более ранние годы.

На рисунке 5 представлено распределение по годам (1966-2024 гг.) числа случаев с межсуточными перепадами температуры воздуха > 6 °С в зимний период. Линейные тренды, построенные как для всего периода, так и для 2-х подпериодов (1966-1994 и 1995-2024 гг.) свидетельствуют о том, что в более ранний период частота перепадов росла (КНЛТ = 0,41 случаев/10 лет), а в более поздний период, наоборот, понизилась (КНЛТ = -1,62 случаев/10 лет). В целом за весь период величина КНЛТ также отрицательная (-0,76 случаев/10 лет). Таким образом, на территории Среднего Поволжья возникла тенденция уменьшения частоты с межсуточными перепадами температуры > 6 °С. Из рисунка 5 видно, что межгодовая изменчивость числа перепадов температуры зимой в рассматриваемый 59-летний период велика.

На рисунке 6 представлено распределение по годам числа случаев с межсуточными перепадами давления более 8 гПа зимой за весь период исследования. Линейный тренд для периода 1966-2024 гг. незначим, однако в более ранний подпериод 1966-1994 гг. происходит рост давления (КНЛТ=2,92 случая/10 лет), а в более поздний период (1995-2024 гг.) наблюдается слабое уменьшение

числа перепадов давления со скоростью -0,75 случаев/10 лет. Эта тенденция характерна и для температуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате статистической обработки и анализа данных о температуре воздуха и атмосферном давлении на территории Среднего Поволжья в период 1966-2024 гг. выявлены следующие региональные особенности изменения климата.

В регионе наблюдается, как и в целом по территории России, потепление климата, проявившееся в значительном повышении средней годовой температуры в период 1966-2024 гг. со скоростью 0,42 °С/10 лет. Наиболее активно потепление происходит в зимний период (КНЛТ = 0,69 °С/10 лет), наименьшая скорость отмечается летом (КНЛТ = 0,31 °С/10 лет).

Наиболее часто фиксируются межсуточные перепады температуры (> 6 °С) в зимний период, что превышает их суммарное число за остальные сезоны. При этом отмечается уменьшение частоты межсуточных перепадов температуры больше 6 °С за зимний сезон в период 1995-2024 гг. по сравнению с периодом 1966-1994 гг. Происходит также уменьшение дисперсии среднесуточной температуры воздуха.

Частота межсуточных перепадов давления больше 8 гПа наиболее значительна зимой, при этом происходит ее слабое уменьшение с 23 случаев/сезон (период 1966-1994 гг.) до 22 случаев/сезон (1995-2024 гг.). По сезонам частота перепадов давления распределяется в следующей последовательности: зима, осень, весна, лето.

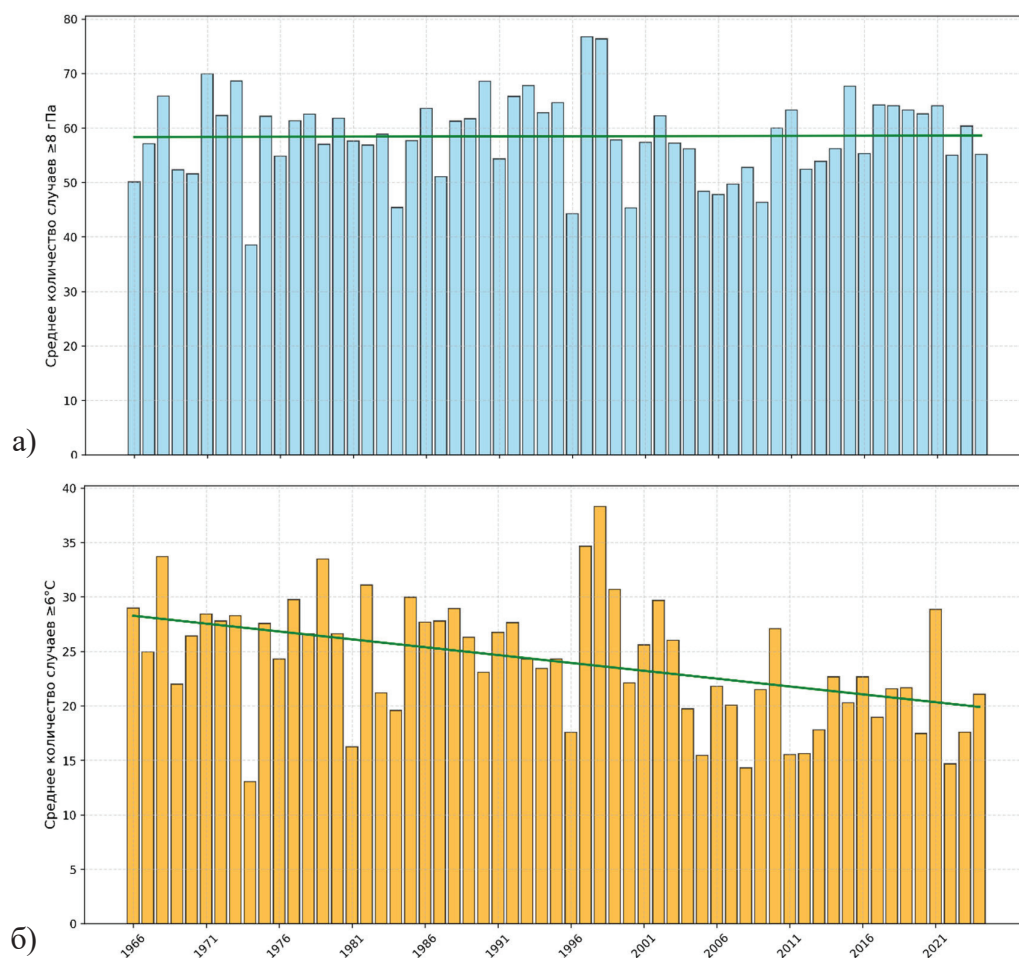


Рис. 4. Распределение межсуточных перепадов давления (а) и температуры (б) по годам в Среднем Поволжье (число случаев)
[Fig. 4. Distribution of inter-day pressure (a) and temperature (b) drops by year in the Middle Volga region (number of cases)]

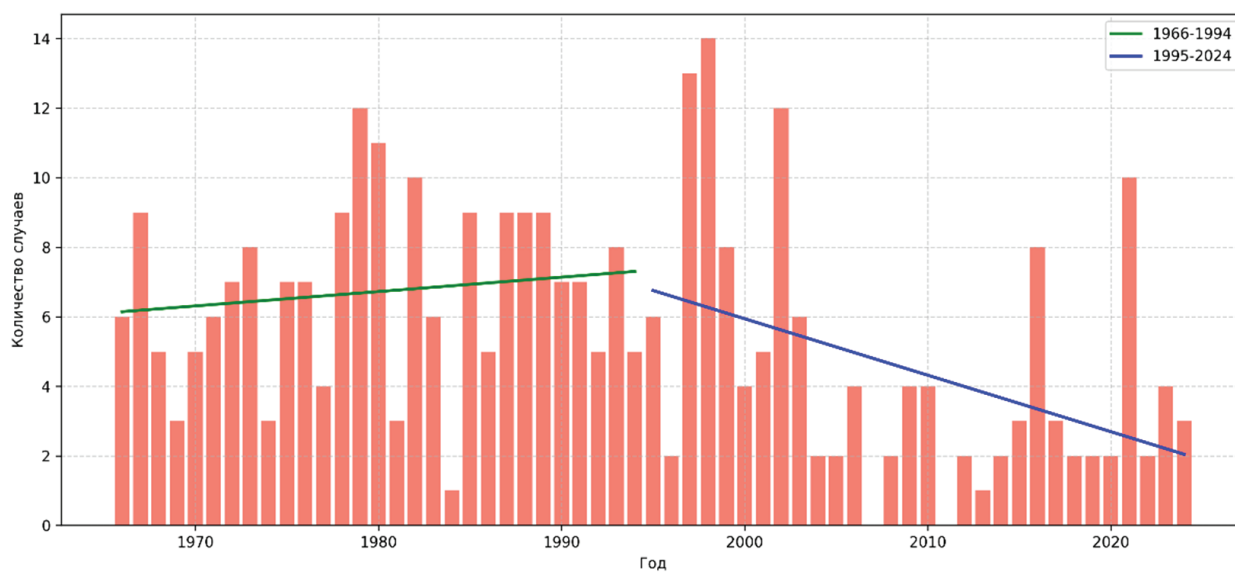


Рис. 5. Частота случаев с межсуточными перепадами температуры $> 6^{\circ}\text{C}$ на территории Среднего Поволжья за 1966-2024 гг.
[Fig. 5. The frequency of cases with inter-day temperature fluctuations $> 6^{\circ}\text{C}$ in the Middle Volga region in 1966-2024]

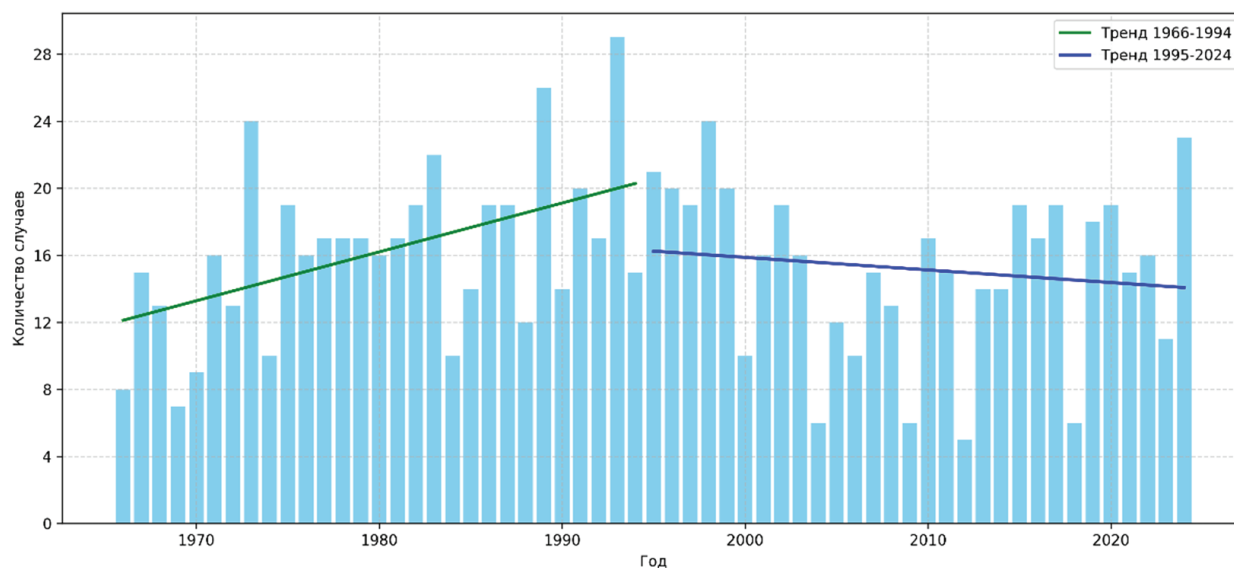


Рис. 6. Частота случаев с межсуточными перепадами давления > 8 гПа на территории Среднего Поволжья за 1966-2024 гг.

[Fig. 6. Frequency of cases with inter-day pressure drops > 8 gPa in the Middle Volga region in 1966-2024]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев С.С. *Человек и окружающая среда*. Ростов-на-Дону: Издательство СКНЦ ВШ АПСН, 2005. 271 с.
2. *Динамика тропосферы и стратосферы в умеренных широтах Северного полушария и современные изменения климата в Приволжском федеральном округе* / Ю.П. Переведенцев, В.В. Гурьянов, К.М. Шанталинский, Т.Р. Аухадеев. Казань: Издательство Казанского университета, 2017. 186 с.
3. *Изменения климатических условий и ресурсов Среднего Поволжья* / Ю.П. Переведенцев, М.А. Верещагин, К.М. Шанталинский, Э.П. Наумов, Ю.Г. Хабутдинов. Казань: Центр инновационных технологий, 2011. 296 с.
4. Исаев А.А. *Экологическая климатология*. Москва: Научный мир, 2001. 456 с.
5. *Климат России* / под ред. Н.В. Кобышевой. Санкт-Петербург: Гидрометеониздат, 2001. 655 с.
6. *Климатические изменения в Приволжском федеральном округе в XIX-XXI веках* / Ю.П. Переведенцев, Б.Г. Шерстюков, К.М. Шанталинский, В.В. Гурьянов, Т.Р. Аухадеев // *Метеорология и гидрология*, 2020, № 6, с. 36-46.
7. Колобов Н.В. *Климат Среднего Поволжья*. Казань: Издательство Казанского университета, 1968. 252 с.
8. Мохов И.И. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // *Вестник РАН*, 2022, т. 92, № 1, с. 3-14.
9. *Опасные гидрометеорологические явления на территории Приволжского федерального округа* / Ю.П. Переведенцев, А.В. Шумихина, К.М. Шанталинский, В.В. Гурьянов // *Метеорология и гидрология*, 2019, № 12, с. 20-30.
10. Особенности температурного режима у поверхности земного шара в 2022 году / Э.Я. Ранькова, О.Ф. Самохина,

У.И. Антипина, В.Д. Смирнов // *Фундаментальная и прикладная климатология*, 2023, т. 9, № 3, с. 330-368.

11. Переведенцев Ю.П., Мирсаева Н.А. Метеорология и климатология в Казанском университете: к 190-летию Гидрометеорологической службы России // *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки*, 2024, т. 166, кн. 4, с. 724-747.

12. *Природно-климатические условия и социально-географическое пространство России* / под ред. А.Н. Золотокрылина, В.В. Виноградовой, О.Б. Глезера. Москва: Институт географии РАН, 2018. 156 с.

13. Русанов В.И. *Методы исследования климата для медицинских целей*. Томск: Издательство Томского университета, 1973. 191 с.

14. *Современные региональные климатические изменения и их последствия* / под ред. Ю.П. Переведенцева, Н.А. Мирсаевой, В.Н. Павловой. Москва: Русайнс, 2024. 223 с.

15. *Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации* / под ред. В.М. Катцова. Санкт-Петербург: Научное издание, 2022. 676 с.

16. *Sixth Assessment Report of the IPCC*. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (Access: 28 December 2022).

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 11.07.2025

Принята к публикации: 25.11.2025

Features of the Change in Climatic Conditions in the Middle Volga Region During the Period 1966-2024 and Their Consequences

Yu. P. Perevedentsev✉, A. D. Yangirov, T. R. Aukhadeev

Kazan (Volga Region) Federal University, Russian Federation
(420008, Kazan, Kremlevskaya Str., 18)

Abstract. The objective is to assess the dynamics of inter-day differences in air temperature greater than 6 °C and atmospheric pressure greater than 8 hPa in the Middle Volga region in the period 1966-2024 against the background of ongoing changes in the regional climate.

Materials and methods. The information base was daily data on air temperature and atmospheric pressure of the ERA5 reanalysis in the nodes of a regular grid with a resolution of 0.25 °C in the Middle Volga region in the period 1966-2024 (number of nodes 1334). Long-term data on these meteorological values were subjected to statistical processing, both for the period 1966-2024 as a whole and for the subperiods 1966-1994 and 1995-2024. The average seasonal values, standard deviations (SD), linear trend slope coefficients (LTSC), frequency of interdaily temperature differences of more than 6 °C and pressure differences of more than 8 hPa by seasons were found. The influence of circulation modes on climate indicators was estimated.

Results and discussions. The region, as well as Russia as a whole, is experiencing climate warming, which is manifested in a significant increase in the average annual temperature in the period 1966-2024 at a rate of 0.42 °C/10 years. Warming is most active in winter (LTSC=0.69 °C/10 years), the lowest rate is observed in summer (LTSC = 0.31 °C/10 years). The dynamics of variability of interdaily air temperature differences (> 6 °C) and atmospheric pressure (> 8 hPa) in the Middle Volga region for 1966-2024 was obtained. Moreover, in the period 1995-2024 the number of sharp temperature and pressure drops decreases compared to the earlier period 1966-1995, which indicates an increase in atmospheric stability.

Conclusions. The most frequently recorded daily temperature drops (> 6 °C) are in the winter period, which exceeds their total number for other seasons. At the same time, a decrease in the frequency of daily temperature drops greater than 6 °C per winter season is noted in the period 1995-2024 compared to the period 1966-1994. There is also a decrease in the dispersion of the average daily air temperature. The frequency of daily pressure drops greater than 8 hPa is most significant in winter, while it slightly decreases from 23 cases/season (period 1966-1994) to 22 cases/season (1995-2024). By season, the frequency of pressure drops is distributed in the following order: winter, autumn, spring, summer.

Key words: air temperature, atmospheric pressure, drops, climate change, human health.

Funding: The work was supported by a subsidy allocated to Kazan Federal University for the implementation of a state assignment in the field of scientific activity (project No. FZSM-2024-0004).

For citation: Perevedentsev Yu. P., Yangirov A. D., Aukhadeev T. R. Features of the Change in Climatic Conditions in the Middle Volga Region During the Period 1966-2024 and Their Consequences. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geoekologiya*, 2025, no. 4, pp. 103-114. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/103-114>

REFERENCES

1. Andreev S. S. *Chelovek i okruzhajushhaja sreda* [Man and the environment]. Rostov-on-Don: Izdatel'stvo SKNC VSH APSN, 2005. 271 p. (In Russ.)
2. *Dinamika troposfery i stratosfery v umerennykh shirotah Severnoj polusharija i sovremennye izmenenija klimata v Privolzhskom federal'nom okruge* [Dynamics of the troposphere and stratosphere in the temperate latitudes of the Northern Hemisphere and current climate changes in the Volga Federal District] / Ju. P. Perevedentsev, V. V. Gur'janov, K. M. Shantalinskij, T. R. Aukhadeev. Kazan': Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 2017. 186 p. (In Russ.)
3. *Izmenenija klimaticheskikh uslovij i resursov Srednego Povolzh'ja* [Changes in climatic conditions and resources of the Middle Volga region] / Ju. P. Perevedentsev, M. A. Vereshagin, K. M. Shantalinskij, Je. P. Naumov, Ju. G. Habutdinov. Kazan': Centr innovacionnyh tehnologij, 2011. 296 p. (In Russ.)
4. Isaev A. A. *Jekologicheskaja klimatologija* [Environmental climatology]. Moscow: Nauchnyj mir, 2001. 456 p. (In Russ.)
5. *Klimat Rossii* [The climate of Russia] / pod red. N. V. Kobyshevoj. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 2001. 655 p. (In Russ.)
6. Klimaticheskie izmenenija v Privolzhskom federal'nom okruge v XIX-XXI vekah [Climatic changes in the Volga Federal District in the 19th-21st centuries] / Ju. P. Perevedentsev, B. G. Sherstjukov, K. M. Shantalinskij, V. V. Gur'janov, T. R. Aukhadeev. *Meteorologija i gidrologija*, 2020, no. 6, pp. 36-46. (In Russ.)
7. Kolobov N. V. *Klimat Srednego Povolzh'ja* [The climate of the Middle Volga region]. Kazan': Izdatel'stvo Kazanskogo universiteta, 1968. 252 p. (In Russ.)
8. Mohov I. I. *Izmenenija klimata: prichiny, riski, posledstviya, problemy adaptacii i regulirovaniya* [Climate change: causes, risks, consequences, problems of adaptation and regulation]. *Vestnik RAN*, 2022, vol. 92, no. 1, pp. 3-14. (In Russ.)

© Perevedentsev Yu. P., Yangirov A. D., Aukhadeev T. R., 2025

✉ Yuri P. Perevedentsev, e-mail: ypereved@kpfu.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

9. Opasnye gidrometeorologicheskie javlenija na territorii Pri-volzhsogo federal'nogo okruga [Dangerous hydrometeorological phenomena in the territory of the Volga Federal District] / Ju. P. Perevedentsev, A. V. Shumihina, K. M. Shantalinskij, V. V. Gur'janov. *Meteorologija i gidrologija*, 2019, no. 12, pp. 20-30. (In Russ.)

10. Osobennosti temperaturnogo rezhima u poverhnosti zem-nogo shara v 2022 godu [Features of the temperature regime at the surface of the globe in 2022] / Je. Ja. Ran'kova, O. F. Samohi-na, U. I. Antipina, V. D. Smirnov. *Fundamental'naja i prikladnaja klimatologija*, 2023, vol. 9, no. 3, pp. 330-368. (In Russ.)

11. Perevedentsev Ju. P., Mirsaeva N. A. Meteorologija i klima-tologija v Kazanskom universitete: k 190-letiju Hidrometeorolo-gicheskoj sluzhby Rossii [Meteorology and Climatology at Kazan University: on the 190th anniversary of the Hydrometeorological Service of Russia]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Serija Estestvennye nauki*, 2024, vol. 166, kn. 4, pp. 724-747. (In Russ.)

12. *Prirodno-klimaticheskie uslovija i social'no-geografi-cheskoe prostranstvo Rossii* [Natural and climatic conditions and socio-geographical space of Russia] / pod red. A. N. Zolotokryli-na, V. V. Vinogradovoj, O. B. Glezera. Moscow: Institut geografii RAN, 2018. 156 p. (In Russ.)

13. Rusanov V. I. *Metody issledovanija klimata dlja medi-cinskih celej* [Climate research methods for medical purposes]. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo universiteta, 1973. 191 p. (In Russ.)

14. *Sovremennye regional'nye klimaticheskie izmeneni-ja i ih posledstvija* [Current regional climate changes and their consequences] / pod red. Ju. P. Perevedentseva, N. A. Mirsaevoj, V. N. Pavlovoj. Moscow: Rusajns, 2024. 223 p. (In Russ.)

15. Tretij ocenочnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih po-sledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii [The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation] / pod red. V. M. Katcova. Saint-Petersburg: Naukoemkie tehnologii, 2022. 676 p. (In Russ.)

16. *Sixth Assessment Report of the IPCC*. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> (Access: 28 December 2022).

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publi-cation of this article.

Received: 11.07.2025

Accepted: 22.11.2025

Переведенцев Юрий Петрович

Доктор географических наук, профессор кафедры метеоро-логии, климатологии и экологии атмосферы Казанского фе-дерального университета, г. Казань, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-3181-6227, e-mail: ypereved@kpfu.ru

Янгиров Айдар Динарович

Аспирант кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского федерального университета, г. Казань, Российская Федерация, e-mail: aydar.yangirov.00@mail.ru

Аухадеев Тимур Ринатович

Кандидат географических наук, доцент кафедры метеоро-логии, климатологии и экологии атмосферы Казанского фе-дерального университета, г. Казань, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-6818-7794, e-mail: tauhadeev@yandex.ru

Yuri P. Perevedentsev

Dr. Sci. (Geogr.), Prof. at the Department of Meteorology, Clima-tology and Atmospheric Ecology, Kazan Federal University, Ka-zan, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-3181-6227, e-mail: ypereved@kpfu.ru

Aidar D. Yangirov

Postgraduate Student at the Department of Meteorology, Clima-tology and Atmospheric Ecology, Kazan Federal University, Ka-zan, Russian Federation, e-mail: aydar.yangirov.00@mail.ru

Timur Rh. Aukhadeev

Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof. at the Department of Meteorolo-gy, Climatology and Atmospheric Ecology, Kazan Federal Univer-sity, Kazan, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-6818-7794, e-mail: tauhadeev@yandex.ru