

## Экспериментальные исследования обоснованности температуры наиболее холодной пятидневки на территории Белгородской области

Евгений Олегович Шеремет, Валерий Анатольевич Уваров,  
Николай Юрьевич Никулин, Алена Анатольевна Шеремет,  
Никита Юрьевич Саввин

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова);  
г. Белгород, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Мотивацией для настоящего исследования послужило изменение расчетной температуры наиболее холодной пятидневки Белгородской области по последним справочным данным, идущим вразрез с глобальным трендом потепления климата. Выдвинута гипотеза о возможной необоснованности полученных справочных сведений, проведены экспериментальная проверка и анализ полученных результатов. Представлена информация об изменении климатических параметров отопительного сезона Белгородской области. Выявлены недостатки в существующей методике расчета обеспеченности наиболее холодных пятидневок и предложены способы решения указанной проблемы.

**Материалы и методы.** С целью расчета основных климатических параметров холодного периода года использовались архивы данных действующих метеорологических станций. Применялась библиотека для обработки информации и анализа данных Pandas; в качестве визуализации использовалась библиотека Matplotlib; для решения поставленных в работе математических задач — библиотека SciPy.

**Результаты.** Представлены подробные результаты исследования изменения климатических параметров Белгородской области. Показаны описательные статистики по каждой из метеостанций, обладающих достаточной глубиной архива данных для исследований. Приведены изменения среднегодовых температур метеостанций в течение всего периода исследований. Рассчитаны и визуализированы изменения основных расчетных параметров отопительных периодов. Выполнены расчеты, позволяющие установить температуры наиболее холодной пятидневки на каждой метеостанции в различных комбинациях.

**Выводы.** Выявлено, что климатические изменения в Белгородской области по сведениям всех метеостанций региона соответствуют глобальным изменениям климата. Указанная в последней редакции строительной климатологии температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 является избыточной и не достигает ни при каком из обоснованных сочетаний  $-24$  °С. Полученные температуры наиболее холодных пятидневок метеостанций меньше установленного значения на  $1-2$  °С. Предложено использовать для расчета наиболее холодных пятидневок несколько региональных метеостанций. Эти предложения будут способствовать обоснованному снижению стоимости систем отопления.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** изменение климата, климатические параметры, распределение экстремальных значений, холодный период года, наиболее холодная пятидневка, система отопления

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Шеремет Е.О., Уваров В.А., Никулин Н.Ю., Шеремет А.А., Саввин Н.Ю. Экспериментальные исследования обоснованности температуры наиболее холодной пятидневки на территории Белгородской области // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 11. С. 1744–1766. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.11.1744-1766

Автор, ответственный за переписку: Алена Анатольевна Шеремет, aleenisokay@ya.ru.

## Experimental studies on the validity of the coldest five-day period temperature in the Belgorod Region

Evgeniy O. Sheremet, Valeriy A. Uvarov, Nikolaj Yu. Nikulin,  
Alena A. Sheremet, Nikita Yu. Savvin

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov);  
Belgorod, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The motivation for this study was the change in the calculated temperature of the coldest five-day period in the Belgorod Region according to the latest reference data, which runs counter to the global trend of climate warming. A hypothesis was proposed about the possible unjustified nature of the obtained reference data, experimental checks and analysis of the obtained results were carried out. Information is presented about the change in climatic parameters of the heating season in the Belgorod region. Shortcomings in the existing methodology for calculating the reliability of the coldest five-day periods are identified and solutions to the indicated problem are proposed.

pothesis was put forward about the possible groundlessness of the obtained reference data and an experimental verification and analysis of the obtained results were carried out. Data on the change in climatic parameters of the heating season in the Belgorod region are presented. Shortcomings in the existing methodology for calculating the provision of the coldest five-day periods were identified and ways to solve this problem were proposed.

**Materials and methods.** To calculate the main climate parameters of the cold period of the year, archives of data from existing meteorological stations were used. The Pandas library for data processing and analysis was used to process the data; the Matplotlib library was used for data visualization; the SciPy library was used to solve the mathematical problems presented in the work.

**Results.** The detailed results of the study of changes in the climatic parameters of the Belgorod region are presented. Detailed descriptive statistics are shown for each of the meteorological stations with a sufficient depth of data archive for research. The change in average annual temperatures of meteorological stations during the entire period of research is presented. Changes in the main calculated parameters of heating periods are calculated and visualized. Calculations are made to establish the temperatures of the coldest five-day period at each meteorological station in various combinations.

**Conclusions.** It was revealed that climate changes in the Belgorod region, according to data from all meteorological stations in the region, correspond to global climate changes. The temperature of the coldest five-day period with a provision of 0.92 specified in the latest edition of construction climatology is excessive and does not reach  $-24^{\circ}\text{C}$  under any of the justified combinations. The obtained temperatures of the coldest five-day periods of meteorological stations are lower than the established value by  $1-2^{\circ}\text{C}$ . It is proposed to use several regional meteorological stations to calculate the coldest five-day periods. These proposals will contribute to a justified reduction in the cost of heating systems.

**KEYWORDS:** climate change, climate parameters, distribution of extreme values, cold period of the year, coldest five-day period, heating system

*Acknowledgments.* This work was realized in the framework of the Program "Priority 2030" on the base of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. This work was realized using equipment of High Technology Centre at BSTU after V.G. Shukhov.

**FOR CITATION:** Sheremet E.O., Uvarov V.A., Nikulin N.Yu., Sheremet A.A., Savvin N.Yu. Experimental studies on the validity of the coldest five-day period temperature in the Belgorod Region. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(11):1744-1766. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.11.1744-1766 (rus.).

*Corresponding author:* Alena A. Sheremet, aleeniskay@ya.ru.

## ВВЕДЕНИЕ

В современных научных работах, основанных на многолетних наблюдениях и обширных исследованиях, подтверждается наличие глобального потепления и изучаются вопросы его возможного влияния и прогнозирования в среднесрочных и долгосрочных масштабах. Приводятся данные о том, что даже при сокращении выбросов рост глобальной температуры продолжится [1]. Это заставляет ученых разрабатывать и анализировать технологии на предмет минимального влияния на ускорение глобального потепления [2]. Некоторые авторы [3] делают акцент на том, что потепление продолжится, но не будет таким критичным, как утверждают в самых пессимистичных сценариях. Есть большая вероятность более умеренных сценариев, которые не приведут к фатальным последствиям. В то же время в исследовании [4] выявили, что происходит увеличение содержания водяного пара в тропосфере, что усиливает процессы глобального потепления. Возможное влияние глобального потепления и человека на вероятные прогнозируемые засухи в регионах Азии и Ближнего Востока рассматривается в труде [5]. Определяются региональные особенности климатических рисков в Китае при различных сценариях глобального потепления [6]. Предоставляются дополнительные доказательства существенного изменения климата в течение следующих десятилетий [7]. Анализируются изменения климатических условий в Восточной Азии и указывается на чувствительность региона к глобаль-

ным изменениям [8]. В публикациях [9, 10] также подтверждается наличие глобального потепления на базе изучения эквивалентной потенциальной температуры поверхности и исследований современных температурных рядов.

Таким образом, совокупность информации, полученной из различных областей климатологии, свидетельствует о комплексном характере глобального потепления. Этот феномен проявляется в устойчивых изменениях температурных режимов земной поверхности, что подтверждается систематическим анализом климатических показателей в долгосрочной перспективе. Ключевой причиной глобального потепления выступает увеличение атмосферной концентрации углекислого газа, вызванное человеческой деятельностью — промышленностью, транспортом, добывающим сектором, сведением лесов и энергетическими затратами зданий.

Современные климатические модели, основанные на физико-математических расчетах, прогнозируют дальнейшую динамику глобального потепления в зависимости от различных сценариев антропогенного воздействия. Согласно наиболее благоприятным прогнозам, средняя температура на планете будет продолжать умеренно расти как минимум до середины XXI в., после чего возможна стабилизация или небольшое снижение температурных показателей. Однако более вероятные сценарии, учитывающие текущие тенденции выбросов парниковых газов, указывают на значительное повышение глобальной температуры от  $2$  до  $5^{\circ}\text{C}$  к концу

столетия (2085–2100 гг.) относительно базового периода 1986–2005 гг.

Современная энергетическая стратегия Российской Федерации<sup>1, 2, 3, 4</sup> включает комплекс мер, направленных на оптимизацию энергопотребления и повышение эффективности использования энергоресурсов в масштабах всего топливно-энергетического сектора. В рамках этой политики особое внимание уделяется сокращению энергоемкости производственных процессов, что требует внедрения интеллектуальных систем мониторинга и управления [11]. Одновременно ведется модернизация систем теплоснабжения, которая включает как совершенствование методов диагностики их текущего состояния [12], так и внедрение цифровых моделей для увеличения надежности проектных решений [13]. Повышение адаптивности и эксплуатационных характеристик достигается за счет использования современных информационно-диагностических систем контроля оборудования [14] и внедрения перспективных адаптивных стратегий управления, ориентированных на оптимизацию гидравлических и температурных режимов [15]. При этом разработка и реализация энергосберегающих инициатив в российских условиях требуют обязательного учета климатических изменений как на глобальном уровне, так и с учетом региональных особенностей каждого субъекта РФ.

Изучаются климатические изменения в глобальном масштабе и в пределах Российской Федерации [16–21]. Тем не менее недостаточное внимание уделяется анализу трансформации ключевых характеристик отопительного периода, имеющих принципиальное значение для проектирования новых зданий и их теплосистем и оценки потенциала энергосбережения существующих сооружений. Большинство доступных исследований [16] носят обобщающий характер, рассматривая влияние глобального потепления на инфраструктурные системы в целом. Лишь ограниченное число зарубежных работ фокусируется на рассмотрении взаимосвязи между климатическими изменениями и энергоэффективностью зданий. При этом имеющиеся публи-

кации в основном посвящены региональному анализу: систематизировано влияние климатических изменений на энергопотребление зданий для отопления и охлаждения [17], на примере Китая и Португалии анализируются прогнозы изменения градусодней отопления и охлаждения [18, 19]. Аналогичные расчеты для Канады и Сербии [20, 21] также подтверждают общую тенденцию к изменению баланса между энергией на отопление и охлаждение.

В некоторых отечественных работах предметом изучения являлись расчетные характеристики холодного периода года [22–24]. Приведена методика вычисления расчетных температур в холодный период года с варьируемой обеспеченностью [22]. При расчете требуемого сопротивления теплопередаче окон предлагается учитывать расчетную температуру наружного воздуха для холодного периода года [23]. Исследование [24] содержит комплексный анализ изменения климатических параметров Санкт-Петербурга, в том числе холодного периода года, и устанавливает, что фактические тепловые нагрузки оказываются значительно ниже расчетных, а фактическая расчетная температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 выше нормативного значения на 3 °С.

Проведен детальный анализ влияния глобального потепления на отопительный период в европейской части России [25]. На основе данных 90 метеостанций за 1881–1995 гг. были рассчитаны продолжительность отопительного сезона, средняя температура и дефицит тепла. Данные обработаны с применением 10-летнего скользящего среднего и регрессионно-аналитической модели климата [26–28]. Результаты визуализированы в виде карт с изолиниями текущих и прогнозируемых (до 2050 г.) параметров.

Проанализированы климатические трансформации в Белгородской области на данных метеостанции Готня [29]. Результаты продемонстрировали устойчивую тенденцию к потеплению климата в регионе, согласующуюся с глобальными процессами. На основании анализа тенденций роста среднегодовых температур определены ключевые климатические показатели: изменение среднегодовых температурных значений, длительности отопительных сезонов, температурных характеристик отопительного периода и градусо-суток отопительного периода. Результаты исследований показали, что темпы потепления на большей части территории Белгородской области в 2 раза превышают прогнозные оценки, сделанные в начале 2000-х гг.

Выполненный анализ нормативной документации выявил ряд противоречий в климатических параметрах, не соответствующих современным тенденциям изменения регионального климата. В частности, в СНиП 2.01.01–82 и СНиП 23-01–99 установлена идентичная расчетная температура –23 °С для наиболее холодной пятидневки с обеспеченно-

<sup>1</sup> Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (в ред. от 11.06.2021).

<sup>2</sup> О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы : Указ Президента РФ от 09.05.2017 № 203. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71570570/>

<sup>3</sup> Методология расчета индекса «Цифровая Россия» субъектов Российской Федерации // Московская школа управления Сколково.

<sup>4</sup> Об утверждении программы «Цифровая экономика Российской Федерации» : Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 № 1632-р. URL: <http://base.garant.ru/71734878/>

стью 0,92. При этом в актуализированной версии СП 131.13330.2020 для аналогичных условий указана более низкая температура  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Подобная корректировка нормативных значений представляется методически необоснованной, особенно на фоне зафиксированных климатических изменений, свидетельствующих о тенденции к потеплению.

Для верификации адекватности указанных нормативных температурных значений был проведен комплексный анализ метеорологических данных всех метеостанций региона. Исследование включало детальную оценку фактических температурных показателей, анализ ключевых характеристик отопительного сезона, вычисление и анализ обеспеченностей наиболее холодных пятидневок, сравнительный анализ полученных данных с нормативными значениями.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для детального изучения изменений основных параметров отопительного сезона в Белгородской области проанализированы температуры шести метеостанций. Так как основные расчетные параметры отопительного периода, в том числе наиболее холодные пятидневки, в последней редакции строительной климатологии рассчитаны за 1998–2018 гг., изначально анализировались архивы температур с достаточной глубиной сведений. На территории Белгородской области только 3 из 6 метеостанций имеют достаточную глубину архивных данных. Метеостанции, расположенные на территории или вблизи населенных пунктов Пролетарского (ж/д станция Готня), Валуйки и Богородицкого.

На первом этапе рассматривался вопрос статистического отличия среднедневных температур в приведенных выше населенных пунктах. Были посчитаны описательные статистики для каждой из метеостанций, проанализирована динамика изменения среднегодовых температур приведенных метеостанций. Далее сравнивались продолжительности отопительных периодов, температуры наиболее холодных дней, температуры наиболее холодных пятидневок, средние температуры отопительных периодов, а также градусо-сутки отопительных периодов. Затем обрабатывались наиболее холодные пятидневки, рассчитывалась обеспеченность по методике, приведенной в последней редакции строительной климатологии для каждой из метеостанции и в различных комбинациях.

Для анализа сведений применялись Python-библиотеки: Pandas (обработка данных), Matplotlib (визуализация) и SciPy (научные вычисления). Тренды выделялись с помощью 10-периодной скользящей средней для сглаживания краткосрочных колебаний.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнительный анализ температурных данных метеостанций Готня, Валуйки и Богородицкого включал расчет основных статистических показателей среднесуточных температур (табл. 1). При обработке температур не учитывались годы с большими пропусками данных. Таким образом, в выборке отсутствует информация в промежутке с 1941 по 1944 г. включительно.

Исходя из анализа средних значений можно сделать вывод, что в среднем наиболее «холодной»

**Табл. 1.** Статистические характеристики временного ряда среднесуточных температур по данным метеостанций Готня, Богородицкого и Валуйки с 1939 по 2023 г.

**Table 1.** Statistical characteristics of the time series of average daily temperatures according to the weather stations Gotnya, Bogoroditskoe and Valuyki from 1939 to 2023

| Статистические характеристики<br>Statistical characteristics                         | Готня<br>Gotnya | Валуйки<br>Valuyki | Богородицкое<br>Bogoroditskoe |
|--|-----------------|--------------------|-------------------------------|
| Объем выборки, ед.<br>Specimen size, units   | 26 662          | 26 662             | 26 662                        |
| Среднее значение, $^{\circ}\text{C}$<br>Average value, $^{\circ}\text{C}$            | 6,76            | 7,59               | 6,37                          |
| Стандартное отклонение, $^{\circ}\text{C}$<br>Standard deviation, $^{\circ}\text{C}$ | 10,86           | 11,02              | 11,05                         |
| Абсолютный минимум, $^{\circ}\text{C}$<br>Absolute minimum, $^{\circ}\text{C}$       | $-32,4$         | $-32,0$            | $-31,8$                       |
| Первый квартиль, $^{\circ}\text{C}$<br>First quartile, $^{\circ}\text{C}$            | $-1,1$          | $-0,4$             | $-1,5$                        |
| Второй квартиль, $^{\circ}\text{C}$<br>Second quartile, $^{\circ}\text{C}$           | 7,2             | 8,1                | 6,8                           |
| Третий квартиль, $^{\circ}\text{C}$<br>Third quartile, $^{\circ}\text{C}$            | 16,2            | 17,1               | 16,0                          |
| Абсолютный максимум, $^{\circ}\text{C}$<br>Absolute maximum, $^{\circ}\text{C}$      | 30,0            | 32,0               | 29,4                          |

метеостанцией Белгородской области является метеостанция Богородицкого, наиболее «теплой» — метеостанция Валук. Несмотря на то, что температура первого квартиля ниже у метеостанции Богородицкого, минимальное значение температур наблюдается у метеостанции Готни. Это говорит о том, что температуры наиболее холодных дней и наиболее холодных пятидневок могут наблюдаться и у метеостанции с более высокими квантильными показателями температур.

Ниже представлена временная динамика среднегодовых температур для метеостанций Готни, Богородицкого и Валук (рис. 1). График отражает минимальные, средние и максимальные температурные значения, а также 10-летние скользящие средние,

позволяющие выявить долгосрочные тенденции. Анализ информации свидетельствует об устойчивом росте температурных показателей на всех станциях, начиная с периода 1985–1990 г., что хорошо согласуется с глобальными данными по выбросам и потеплением планеты в целом. Судя по данным, метеостанцией с наиболее высокими среднегодовыми минимальными, средними и максимальными температурами является метеостанция Валук, а с самыми низкими — Богородицкого. Среднегодовые средние температуры Валук до 1985 г. колеблются в районе 7 °С и достигают 9 °С к 2020 г. Среднегодовые средние температуры Богородицкого до 1990 г. почти никогда не превышали 6 °С, но к 2020 г. достигают почти 8 °С. Таким обра-

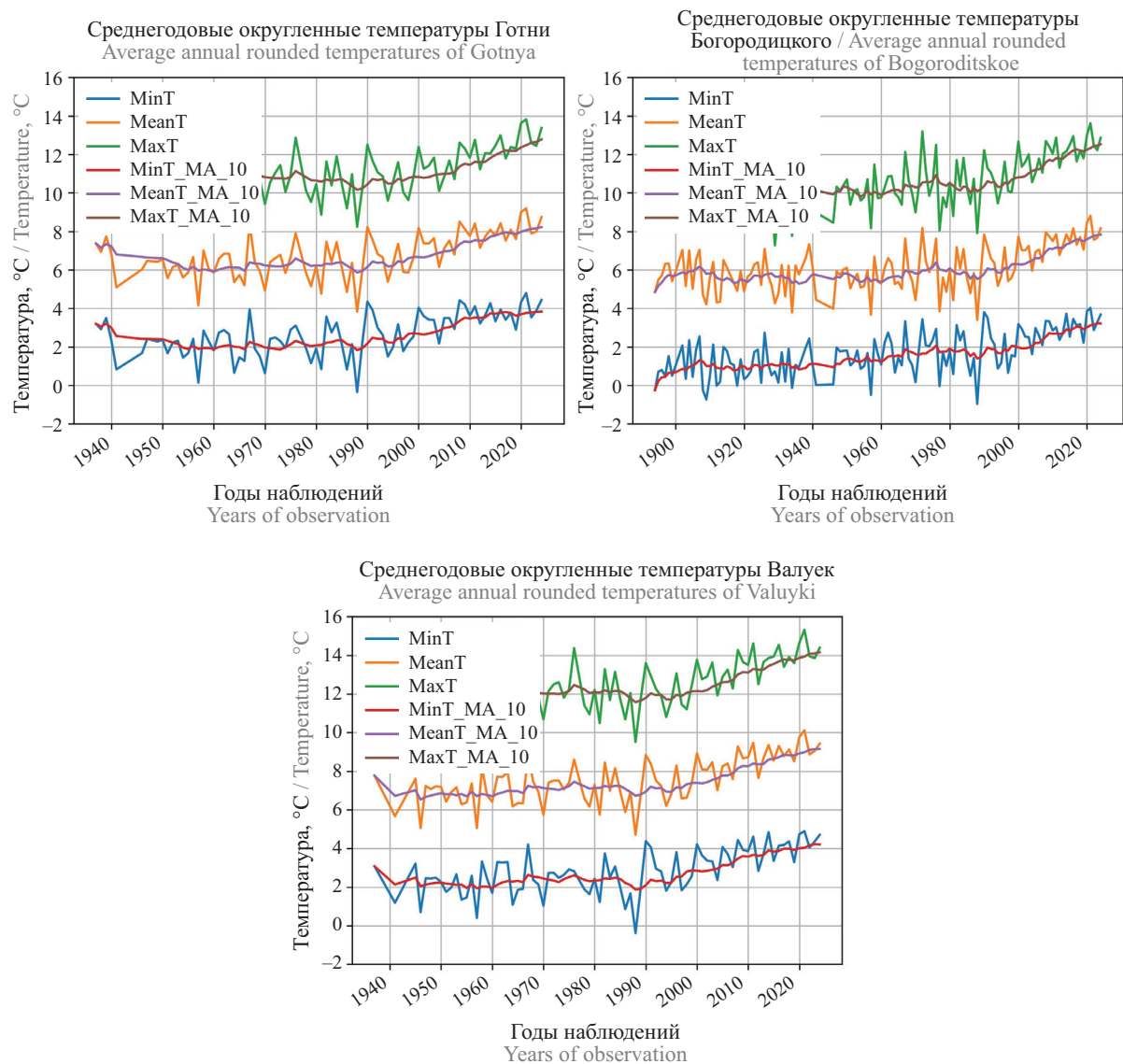


Рис. 1. Временная изменчивость среднегодовых температур Готни, Богородицкого и Валук: MinT, MaxT, MeanT — экстремальные и средние температурные показатели; MinT\_MA\_10, MaxT\_MA\_10, MeanT\_MA\_10 — сглаженные 10-летней скользящей средней минимальные, максимальные и средние значения

Fig. 1. Temporal variability of average annual temperatures in Gotnya, Bogoroditskoye and Valuyki: MinT, MaxT, MeanT — extreme and average temperature values; MinT\_MA\_10, MaxT\_MA\_10, MeanT\_MA\_10 — minimum, maximum and average values smoothed by a 10-year moving average

зом, разница средних среднегодовых температур для указанных периодов составляет около 1 °С.

В табл. 2 представлены описательные статистики распределения исторических среднегодовых температур метеостанции Готни, разделенные на два периода: до и после 1988 г. (включая аномальные понижения 1987–1988 гг.), а также разница между соответствующими статистиками. Анализ данных показывает устойчивую тенденцию к повышению температур в более позднем периоде, что подтверждается ростом всех ключевых показателей: минимальных, средних и максимальных значений.

В табл. 3 приведены описательные статистики распределения исторических среднегодовых темпе-

ратур метеостанции Богородицкого, разделенные на периоды до и после 1988 г. Анализ информации выявляет значительное повышение температурных показателей во всех категориях (минимальные, средние, максимальные), что подтверждает устойчивую тенденцию к потеплению.

В табл. 4 представлены описательные статистики распределения исторических среднегодовых температур метеостанции Валук, разделенные на периоды до и после 1988 г. Сведения отражают устойчивый рост температурных показателей, характерный для всех категорий (минимальные, средние, максимальные), что подтверждает климатический сдвиг в сторону потепления.

**Табл. 2.** Описательные статистики распределения данных исторических среднегодовых температур метеостанции Готни

**Table 2.** Descriptive statistics of the distribution of historical mean annual temperature data from the Gotnya weather station

| Статистические характеристики<br>Statistical characteristics | Значения до 1988 г.<br>Values before 1988 |      |       | Значения после 1988 г.<br>Values after 1988 |      |       | Разница в статистике<br>Difference in statistics |      |      |
|--|---|------|-------|---|------|-------|--|------|------|
|  | min                                       | mean | max   | min   | mean | max   | min  | mean | max  |
| Среднее значение, °С<br>Average value, °C                    | 2,07                                      | 6,20 | 10,63 | 3,38  | 7,47 | 11,71 | 1,30   | 1,27 | 1,08 |
| Стандартное отклонение, °С<br>Standard deviation, °C         | 0,91                                      | 0,93 | 1,03  | 0,83  | 0,93 | 1,08  | -0,08  | 0,00 | 0,05 |
| Абсолютный минимум, °С<br>Absolute minimum, °C               | -0,35                                     | 3,83 | 8,24  | 1,50  | 5,38 | 9,60  | 1,84   | 1,55 | 1,36 |
| Первый квартиль, °С<br>First quartile, °C                    | 1,58                                      | 5,79 | 10,13 | 2,92  | 6,82 | 10,86 | 1,34   | 1,03 | 0,73 |
| Второй квартиль, °С<br>Second quartile, °C                   | 2,22                                      | 6,25 | 10,54 | 3,50  | 7,59 | 11,81 | 1,28   | 1,33 | 1,27 |
| Третий квартиль, °С<br>Third quartile, °C                    | 2,70                                      | 6,72 | 11,29 | 3,97  | 8,10 | 12,45 | 1,27   | 1,37 | 1,16 |
| Абсолютный максимум, °С<br>Absolute maximum, °C              | 3,95                                      | 8,43 | 13,29 | 4,79  | 9,19 | 13,82 | 0,85   | 0,76 | 0,53 |

**Табл. 3.** Описательные статистики распределения данных исторических среднегодовых температур метеостанции Богородицкого

**Table 3.** Descriptive statistics of the distribution of historical average annual temperature data from the Bogoroditskoe weather station

| Статистические характеристики<br>Statistical characteristics | Статистические характеристики<br>Statistical characteristics |      |       | Значения до 1988 г.<br>Values before 1988 |      |       | Значения после 1988 г.<br>Values after 1988 |       |       |
|--|--|------|-------|---|------|-------|---|-------|-------|
|  | min  | mean | max   | min                                       | mean | max   | min   | mean  | max   |
| Среднее значение, °С<br>Average value, °C                    | 1,25   | 5,68 | 10,01 | 2,67                                      | 7,10 | 11,69 | 1,42  | 1,42  | 1,68  |
| Стандартное отклонение, °С<br>Standard deviation, °C         | 0,96   | 0,95 | 1,09  | 0,86                                      | 0,89 | 0,98  | -0,11                                       | -0,06 | -0,11 |
| Абсолютный минимум, °С<br>Absolute minimum, °C               | -0,96  | 3,40 | 7,28  | 0,65                                      | 5,17 | 9,46  | 1,61  | 1,77  | 2,18  |
| Первый квартиль, °С<br>First quartile, °C                    | 0,49   | 5,03 | 9,38  | 2,19                                      | 6,54 | 11,05 | 1,70  | 1,51  | 1,67  |
| Второй квартиль, °С<br>Second quartile, °C                   | 1,15   | 5,74 | 10,07 | 2,79                                      | 7,23 | 11,79 | 1,64  | 1,49  | 1,72  |
| Третий квартиль, °С<br>Third quartile, °C                    | 1,89   | 6,28 | 10,70 | 3,29                                      | 7,73 | 12,42 | 1,40  | 1,45  | 1,72  |
| Абсолютный максимум, °С<br>Absolute maximum, °C              | 3,43   | 8,18 | 13,19 | 4,03                                      | 8,81 | 13,62 | 0,59  | 0,63  | 0,43  |

Табл. 4. Описательные статистики распределения данных исторических среднегодовых температур метеостанции Валук  
 Table 4. Descriptive statistics of the distribution of historical average annual temperature data of the Valuiki weather station

| Статистические характеристики<br>Statistical characteristics | Статистические характеристики<br>Statistical characteristics |      |       | Статистические характеристики<br>Statistical characteristics |       |       | Значения до 1988 г.<br>Values before 1988 |      |      |
|--|--|------|-------|--|-------|-------|---|------|------|
|  | min  | mean | max   | min  | mean  | max   | min                                       | mean | max  |
| Среднее значение, °C<br>Average value, °C                    | 2,20   | 6,94 | 11,82 | 3,57   | 8,30  | 13,17 | 1,38                                      | 1,36 | 1,35 |
| Стандартное отклонение, °C<br>Standard deviation, °C         | 0,92   | 0,93 | 1,06  | 0,91   | 0,99  | 1,08  | -0,01                                     | 0,06 | 0,01 |
| Абсолютный минимум, °C<br>Absolute minimum, °C               | -0,39  | 4,70 | 8,77  | 1,81   | 6,20  | 10,81 | 2,20                                      | 1,49 | 2,04 |
| Первый квартиль, °C<br>First quartile, °C                    | 1,66   | 6,35 | 11,26 | 2,92   | 7,57  | 12,41 | 1,25                                      | 1,22 | 1,15 |
| Второй квартиль, °C<br>Second quartile, °C                   | 2,42   | 7,06 | 11,92 | 3,76   | 8,48  | 13,45 | 1,34                                      | 1,43 | 1,53 |
| Третий квартиль, °C<br>Third quartile, °C                    | 2,74   | 7,52 | 12,41 | 4,25   | 8,96  | 13,87 | 1,51                                      | 1,44 | 1,46 |
| Абсолютный максимум, °C<br>Absolute maximum, °C              | 4,20   | 8,86 | 14,36 | 4,90   | 10,12 | 15,32 | 0,70                                      | 1,26 | 0,96 |

**Общее заключение по данным метеостанций Готни, Богородицкого и Валук**

Анализ данных трех метеостанций, расположенных в одной области, демонстрирует согласованные климатические изменения, характерные для всего региона после 1988 г. Наблюдаемые тенденции отражают устойчивый сдвиг в сторону потепления, соответствующий глобальным климатическим трендам.

*Рост минимальных температур*

Наиболее выраженное повышение зафиксировано в минимальных температурах. Во всех трех локациях абсолютные минимумы выросли на 1,61–2,2 °C, а медианные значения — на 1,28–1,64 °C. Это указывает на сокращение экстремальных холодов и смягчение зимних и ночных температур.

*Повышение средних температур*

Среднегодовые температуры на всех метеостанциях выросли на 1,33–1,49 °C (медианные значения) и 1,27–1,42 °C (средние по выборке). Распределение средних значений сместилось вверх: в период до 1988 г. 75 % наблюдений не превышали 6,28–7,52 °C, тогда как после 1988 г. 25 % значений начинаются с 6,54–7,57 °C. Таким образом, подтверждается увеличение повторяемости теплых лет и сокращение более холодных периодов.

*Динамика максимальных температур*

Максимальные температуры демонстрируют меньшую изменчивость, но также растут. Медианные значения увеличились на 1,27–1,72 °C, а абсолютные максимумы — на 0,43–0,96 °C. Наименьший рост экстремальных максимумов (например, +0,53 °C в Готни) может быть связан с тем, что пиковые значения температур менее чувствительны к фоновому потеплению, чем минимумы.

*Стабилизация разброса температур*

Практически для всех станций характерно снижение стандартного отклонения минимальных температур (на 0,01–0,11), что свидетельствует о сокращении амплитуды экстремальных холодов. Для средних и максимальных температур разброс остался практически неизменным или незначительно увеличился, что согласуется с ростом их средних значений.

*Выводы*

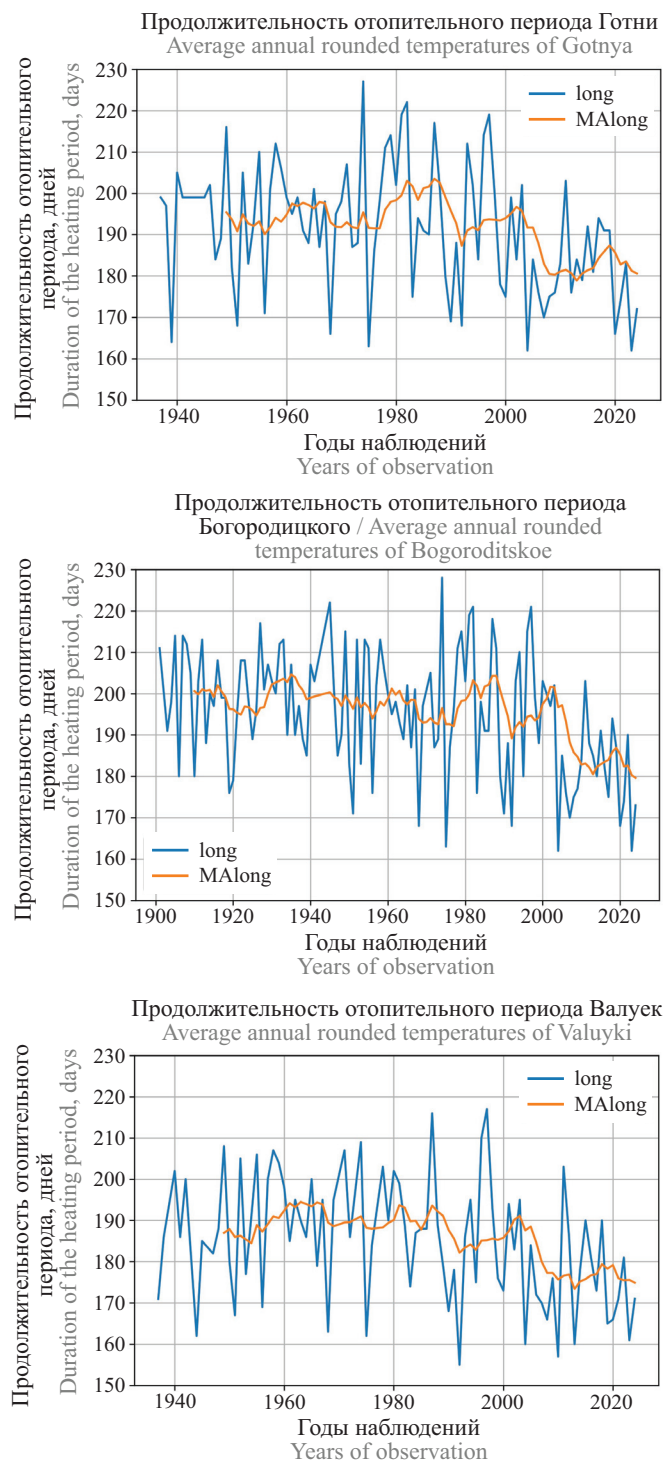
Данные метеостанций подтверждают, что исследуемый регион переживает климатическую трансформацию, аналогичную глобальным процессам. Наиболее значимые изменения связаны с сокращением экстремальных холодов и ростом минимальных температур. Средние и максимальные температуры также повышаются, но их динамика менее выражена. Эти тенденции указывают на смещение климатических норм в сторону более мягких зим и устойчиво теплого лета, что также может иметь серьезные последствия для экосистем, сельского хозяйства и инфраструктуры региона. Согласованность сведений трех станций подчеркивает масштабность изменений и необходимость дальнейшего мониторинга для адаптации к новым климатическим реалиям.

С использованием программного обеспечения<sup>5</sup> для трех метеостанций выполнен расчет ключевых характеристик отопительного сезона, которые

<sup>5</sup> Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682711 Российская Федерация. Программа для анализа параметров отопительного сезона по архиву климатических данных / Шеремет Е.О., Семенов А.С., Свиринов М.В.; заявитель Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова; заявл. № 2022682110 от 17.11.2022; опубл. 25.11.2022.

включали: дату начала и окончания отопительных периодов, продолжительность отопительных периодов, температуры наиболее холодных дней и наиболее холодных пятидневок отопительных периодов, средние температуры отопительных периодов, градусо-сутки отопительных периодов на всем протяжении наблюдений для трех метеостанций.

На рис. 2 показаны графики изменения продолжительности отопительных периодов для метеостанций Готни, Богородицкого и Валук, расположенных в Белгородской области. Все графики демонстрируют волнообразную динамику, характерную для естественной климатической изменчивости. Однако с 1980-х гг. наблюдается устойчивая



**Рис. 2.** Продолжительность отопительных периодов Готни, Богородицкого и Валук: long — фактическая продолжительность сезона по данным наблюдений; MAlong — сглаженные значения (10-летняя скользящая средняя)

**Fig. 2.** Duration of heating periods in Gotnya, Bogoroditskoe and Valuyki: long — actual season length according to observations; MAlong — smoothed values (10-year moving average)

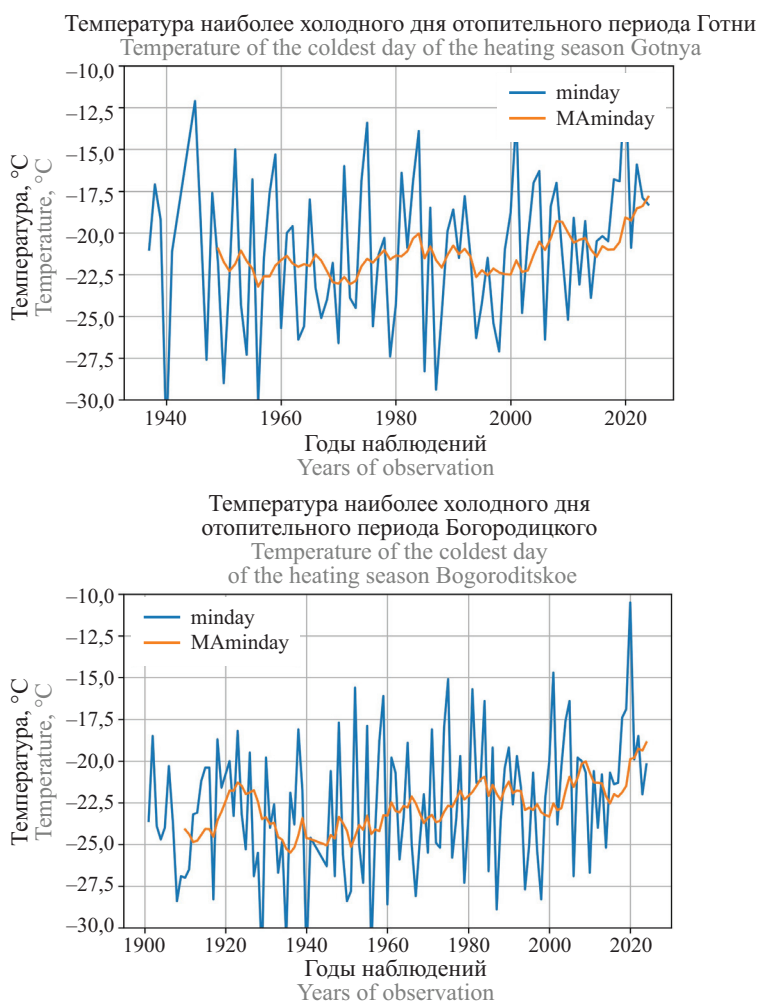
тенденция к сокращению как минимумов, так и максимумов продолжительности отопительного периода. Особенно выраженное снижение произошло с начала 2000 до 2010 г.: средние значения сократились со 195 до 180 дней для Готни, с 200 до 180 дней для Богородицкого и со 190 до 175 для Валуек. По данным на последние годы, средняя продолжительность отопительного периода стабилизировалась на уровне 180–185 дней, что на 10–15 дней меньше значений, характерных для середины XX в. Сокращение продолжительности отопительного периода согласуется с ранее выявленным ростом среднегодовых температур в регионе (табл. 2–4).

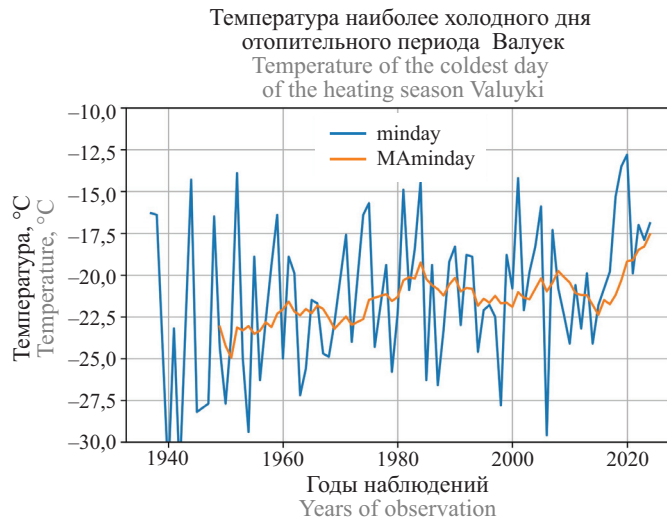
На рис. 3 показаны температурные характеристики самых холодных дней отопительного периода, которые демонстрируют неоднородную динамику на всех трех станциях наблюдения. В частности, данные метеостанции Готни отражают значительное увеличение амплитуды колебаний с 1970-х гг. В период 1950–1970-х гг. средние температуры наиболее холодных дней находились в диапазоне  $-23...-21$  °C. С 2005 по 2023 г. температуры достигли диапазона  $-21,5...-19$  °C. В 2019–2020 гг. зафиксирован рекорд: средняя температура наиболее холодного дня не опустилась ниже  $-10,5$  °C.

Динамика температур Богородицкого аналогична общерегиональной тенденции. До 1970-х гг. экстремальные минимумы достигали  $-30,0$  °C, а средние значения колебались в пределах  $25...-21$  °C. К 2000 гг. средние температуры холодных дней повысились до  $-23...-21$  °C. В 2010–2023 гг. максимальные значения поднимаются выше  $-20$  °C. Пиковые значения после 2010 г. демонстрируют сокращение амплитуды экстремальных холодов, что согласуется с ростом среднегодовых температур.

График метеостанции Валуек отражает значительное смягчение зимних температур. В 1950–1980 гг. температуры наиболее холодных дней варьировались в пределах  $-26...-22$  °C. К 2000 гг. диапазон сместился до  $-23...-19$  °C, а к 2020 — до  $-21...-17$  °C. Скользящая средняя (MAmindow) показывает снижение экстремальных минимумов на  $5-6$  °C за 70 лет наблюдений. В 2019–2020 гг. абсолютный минимум не превысил  $-15$  °C, что на  $8$  °C выше значений середины XX в.

Данные трех метеостанций подтверждают устойчивое потепление в Белгородской области, особенно выраженное в зимний период. Рост температур наиболее холодных дней на  $4-6$  °C за последние 50 лет коррелирует с сокращением продол-





**Рис. 3.** Температуры наиболее холодных дней в течение отопительных периодов Готни, Богородицкого и Валук: minday — минимальные суточные температуры; MAminday — сглаженные значения (10-летняя скользящая средняя)

**Fig. 3.** Temperatures of the coldest days during the heating periods of Gotnya, Bogoroditskoe and Valuyki: minday — minimum daily temperatures; MAminday — smoothed values (10-year moving average)

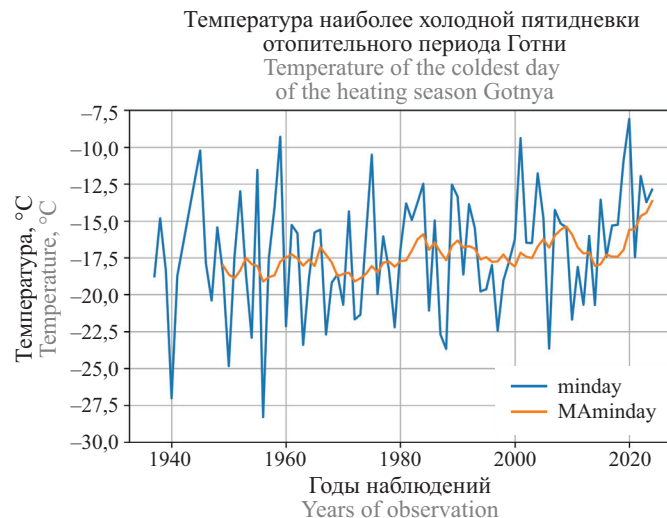
жительности отопительного периода и повышением среднегодовых значений.

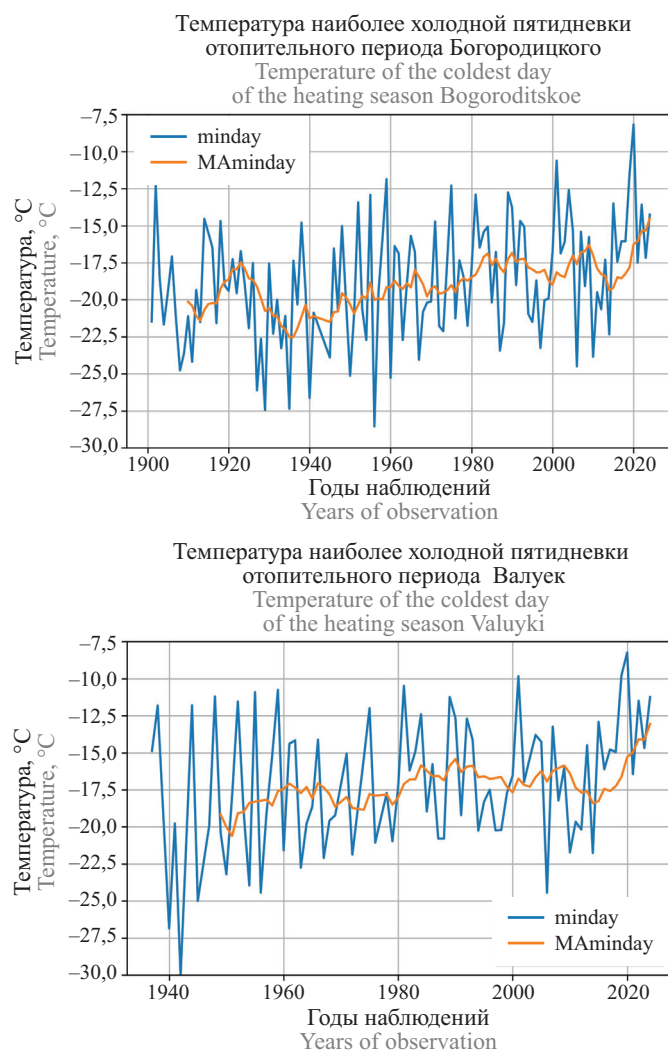
Рис. 4 отображает динамику температурных показателей наиболее холодных пятидневных периодов в течение отопительного сезона для метеостанций Готни, Богородицкое и Валуйки. Данные по станции Готни свидетельствуют о выраженной тенденции к уменьшению интенсивности экстремальных холодов. До 1980-х гг. температуры наиболее холодных пятидневок опускались до  $-25...-20$  °С, а средние значения находились в диапазоне  $-19...-17$  °С. С 1980-х по 2000-е гг. средние показатели повысились до  $-18...-16$  °С, а экстремальные минимумы стали реже достигать  $-20$  °С. В 2019–2020 гг. зафиксирован аномально теплый период: температура наиболее холодной пятидневки составила  $-8$  °С, что на  $10-12$  °С выше значений середины XX в.

Тренд показывает снижение экстремальных минимумов на  $4-6$  °С за последние 50 лет.

Динамика метеостанции Богородицкого схожа с общерегиональной. В 1960–1980 гг. средние температуры холодных пятидневок варьировались в пределах  $-20...-17$  °С с точечными значениями ниже  $-23$  °С. К 2000-м гг. скользящая средняя (MAminday) стабилизировалась на уровне  $-12$  °С. После 2010 г. экстремальные значения не превышают  $-18$  °С, что указывает на сокращение продолжительности сильных морозов.

По данным метеостанции Валук наблюдается значительное повышение температур. В 1950–1970 гг. минимальные значения достигали  $-24...-22$  °С, а средние пятидневки находились в зоне  $-18...-17$  °С. С 1980-х гг. средние показатели выросли до  $-17...-16$  °С, а к 2020-м гг. до  $-15$  °С. MAminday подтверждает





**Рис. 4.** Температуры наиболее холодных пятидневок в течение отопительных периодов Готни, Богородицкого и Валук: minfday — минимальные пятидневные температуры; MAminday — сглаженные значения (10-летняя скользящая средняя)

**Fig. 4.** Temperatures of the coldest five-day periods during the heating periods of Gotnya, Bogoroditskoe and Valuyki: minfday — minimum five-day temperatures; MAminday — smoothed values (10-year moving average)

тренд: снижение экстремальных холодов более чем на 5 °C за 70 лет наблюдений.

#### Общий вывод

Данные всех трех метеостанций подтверждают, что с 1980-х гг. температуры наиболее холодных пятидневок в Белгородской области не опускаются ниже -18 °C. Это согласуется с ранее выявленным сокращением продолжительности отопительного периода (рис. 2) и ростом среднегодовых температур (табл. 2–4). Аномально теплые периоды, такие как 2019–2020 гг., когда минимальные пятидневки достигали -8 °C, подчеркивают ускорение климатических изменений. Эти тенденции снижают нагрузку на энергосистемы, но требуют адаптации инфраструктуры к более мягким зимам и пересмотра нормативов в строительстве.

Анализ динамики изменения температуры отопительных периодов (рис. 5) позволяет выявить устой-

чивую тенденцию к потеплению климата во всех трех локациях. На всем временном интервале наблюдается плавный рост средних температур, наиболее выраженный в последние десятилетия. Для Готни, как и в целом по региону, повышение температуры к 2020 г. по сравнению с серединой XX в. составило около 2 °C. В Богородицком и Валуйках аналогичный тренд подтверждается с некоторыми локальными отклонениями, характерными для микроклимата этих районов.

Пиковые значения средних температур отопительного периода зафиксированы в 2019–2020 гг. Для Готни этот показатель достиг 2,73 °C. В Богородицком максимальные значения также приблизились к 3 °C, демонстрируя синхронность климатических изменений на исследуемой территории, а в Валуйках максимальные показатели превысили эти значения.

Таким образом, график подтверждает значительное потепление в регионе, характерное для всех

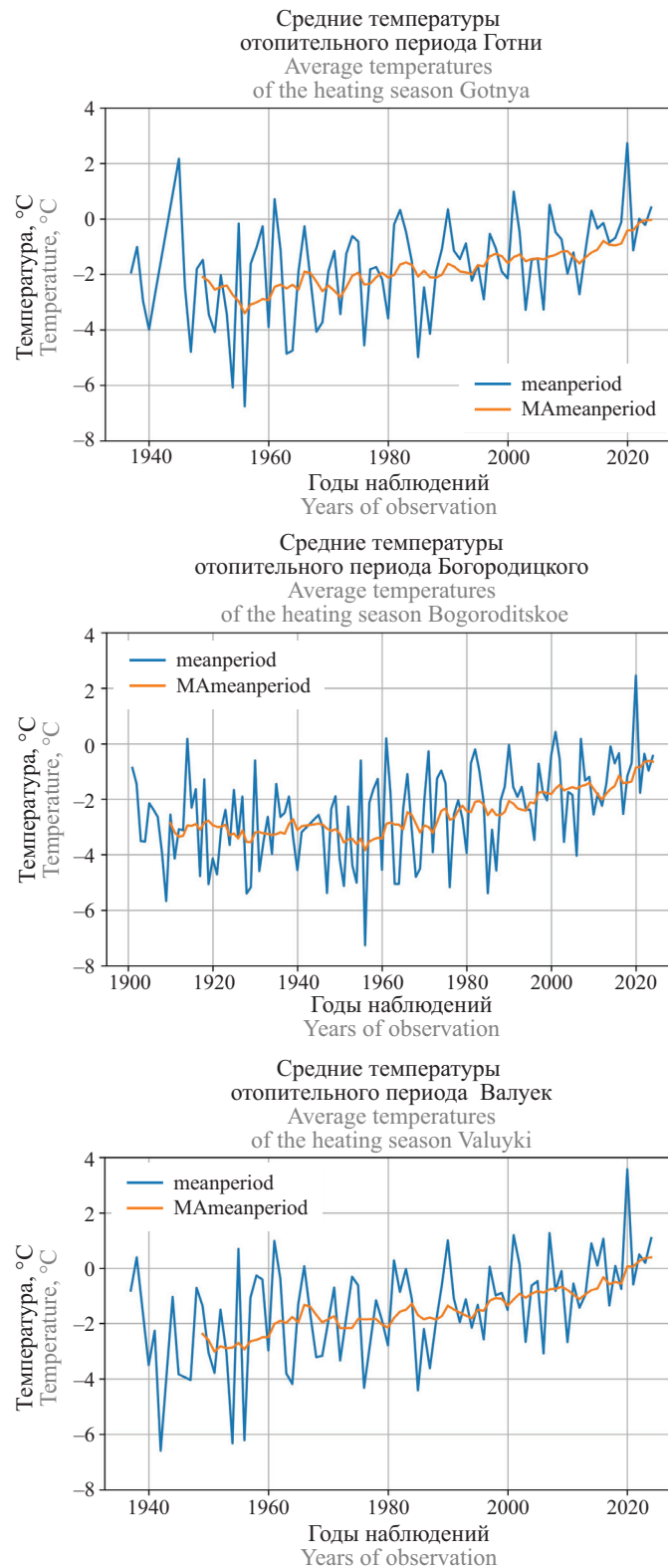


Рис. 5. Динамика средних температур отопительных периодов в Готне, Богородицком и Валуйках: meanperiod — по данным метеостанции; MAmeanperiod — smoothed значения (10-летняя скользящая средняя)

Fig. 5. Dynamics of average temperatures of heating periods in Gotnya, Bogoroditskoe and Valuyki: meanperiod — according to weather station data; MAmeanperiod — smoothed values (10-year moving average)

трех населенных пунктов, и подчеркивает важность долгосрочного мониторинга для прогнозирования энергетических и экологических последствий.

На рис. 6 отображена динамика градусо-суток отопительного периода (ГСОП) для трех населенных пунктов — Готни, Богородицкого и Валуйк. Анализ



Рис. 6. Градусо-сутки отопительных периодов в Готне, Богородицком и Валуйках: gsop — по данным метеостанции; MAgsop — сглаженные значения (10-летняя скользящая средняя)

Fig. 6. Degree-days of heating periods in Gotnya, Bogoroditskoe and Valuyki: gsop — according to weather station data; MAgsop — smoothed values (10-year moving average)

показывает устойчивую тенденцию к снижению ГСОП во всех трех локациях, что связано с повышением средних температур в регионе. В середине XX в.

(1950–1960 гг.) усредненные значения ГСОП для Готни находились в районе 4000, однако к 2010–2020 гг. этот показатель снизился до 3500–3400. Аналогичная

динамика наблюдается в Богородицком и Валуйках: начальные значения около 3900–4000 к 2020 г. уменьшились до 3100, что подтверждает общерегиональный тренд.

Снижение градусо-суток указывает на уменьшение энергетической потребности в отоплении, что имеет важное значение для планирования инфраструктуры и экологической политики. Тренд подтверждает связь между глобальным потеплением и трансформацией основных показателей отопительных сезонов в исследуемом регионе.

Таким образом, можно заключить, что на всех трех метеостанциях, обладающих достаточной глубиной архива данных в последние 30–35 лет, наблюдается значительное «потепление» климатических параметров, в частности холодного периода года.

На следующем этапе вычислялись температуры наиболее холодных пятидневок обеспеченностью 0,92 по методике, указанной в СП 131.13330.2020. В данном своде правил указано, что температура наиболее холодной пятидневки рассчитывается по обобщенному распределению экстремальных значений. Это распределение представляет собой обобщение распределений Гумбеля, Фреше и Вейбулла, которое используется для приближенного значения моделирования экстремумов конечных последовательностей случайных величин.

Так как в СП 131.13330.2020 отмечено, что климатические параметры холодного периода года были рассчитаны за период 1998–2018 гг., аналогичные годы были отобраны для расчета наиболее холодной пятидневки заданной обеспеченности.

Для расчета использовалась библиотека для научных исследований SciPy. С помощью подмодуля stats и функции genextreme, которая является реализацией

функции обобщенного распределения экстремальных значений на языке Python, высчитывались температуры наиболее холодных пятидневок для каждой из метеостанций. Оценка параметров производилась с помощью метода максимального правдоподобия. Для реализации функции максимального правдоподобия использовался алгоритм Бройдена – Флетчера – Гольдфарба – Шанно, относящийся к одному из квазиньютоновских методов. Температуры наиболее холодных пятидневок представлены в табл. 5.

Как видно из табл. 5, ни по одной из исследуемых станций не получена расчетная температура наиболее холодной пятидневки, указанной в последней редакции строительной климатологии. Тогда из трех метеостанций были отобраны минимальные температуры по каждому году, и по полученной выборке повторен расчет наиболее холодной пятидневки. Полученное значение составило  $-22,59$  °С, максимально приближенное к наиболее холодной пятидневке метеостанции в Богородицком, но также не достигает расчетных  $-24$  °С.

Следующий этап включал расчет наиболее холодных пятидневок для метеостанций с меньшей глубиной архива наблюдаемых данных. Обработаны сведения метеостанций Старого Оскола, Нового Оскола и Белгорода. Метеостанция Старого Оскола располагает данными с 2010 г., а метеостанции Нового Оскола и Белгорода с 2005 г. Посчитаны температуры обеспеченностей наиболее холодных пятидневок по каждой из станций, минимальные температуры по каждому году из 3 базовых метеостанций, а также из всех 6 метеостанций, включая базовые. Результаты расчетов приведены в табл. 6.

На основании табл. 6 можно сделать вывод, что температура наиболее холодной пятидневки

**Табл. 5.** Базовые метеостанции с рассчитанной температурой наиболее холодных пятидневок обеспеченностью 0,92  
**Table 5.** Basic weather stations with calculated temperatures of the coldest five-day periods with a provision of 0.92

| Метеостанция<br>Weather station | Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченность 0,92, °С<br>Temperature of the coldest five-day period is 0.92, °C |
|---------------------------------|--|
| Готня<br>Gotnya                 | -21,27   |
| Богородицкое<br>Bogoroditskoe   | -22,58   |
| Валуйки<br>Valuyki              | -21,87   |

**Табл. 6.** Метеостанции с рассчитанной температурой наиболее холодных пятидневок обеспеченностью 0,92  
**Table 6.** Weather stations with calculated temperatures of the coldest five-day periods with a provision of 0.92

| Метеостанция<br>Weather station | Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченность 0,92, °С<br>Temperature of the coldest five-day period is 0.92, °C |
|---------------------------------|--|
| Готня<br>Gotnya                 | -21,27   |
| Богородицкое<br>Bogoroditskoe   | -22,58   |

| Метеостанция<br>Weather station  | Температура наиболее холодной пятидневки<br>обеспеченность 0,92, °С<br>Temperature of the coldest five-day period is 0.92, °C |
|--|---|
| Валуйки<br>Valuyki   | -21,87  |
| Наиболее холодные пятидневки по данным<br>трех метеостанций<br>The coldest five-day periods according to three weather<br>stations | -22,59  |
| Старый Оскол<br>Stary Oskol  | -22,06  |
| Новый Оскол<br>Novy Oskol  | -24,07  |
| Белгород<br>Belgorod   | -22,95  |
| Наиболее холодные пятидневки по данным<br>6 метеостанций<br>The coldest five-day periods according to 6 weather stations           | -22,77  |

достигает расчетных  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  только по неполным за 20 лет данным метеостанции Нового Оскола, которая не отражает объективно рассчитанных метеорологических параметров в других населенных пунктах Белгородской области. Отличие в значениях на территории Белгородской области от других метеостанций составляет до  $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В попытке оправдать столько низкое расчетное значение для региона было сделано предположение, что стоит еще раз пересчитать значения наиболее холодных пятидневок метеостанций с неполными данными, дополнив их недостающие значения по годам значениями из близлежащих метеостанций с полным архивом данных. Таким образом, недостающая информация метеостанции Белгорода дополнялась сведениями метеостанции Готни. А данные метеостанций Старого Оскола и Нового Оскола дополнились сведениями метеостанции Богородицкого (табл. 7).

Как видно из табл. 7, полученные сведения также не достигают расчетного значения по данным последней редакции строительной климатологии.

Стоит отметить, что практическое применение каждого из видов распределений довольно сильно

отличается в зависимости от сферы применения. Распределение Гумбеля позволяет анализировать максимумы и минимумы с экспоненциальными хвостами в сфере гидрологии и климатологии. Распределение Фреше используется для анализа распределений максимумов, чаще с тяжелыми, степенными хвостами в сфере финансов. Распределение Вейбулла применяется для анализа минимумов или максимумов с хвостами, ограниченными снизу, и чаще используется с целью оценки надежности в сфере инженерии. Для задач исследования наиболее холодных пятидневок исходя из опыта использования больше подходит распределение Гумбеля.

В рамках исследования экстремальных минимумов температур был применен метод бутстрэп-анализа для оценки параметров обобщенного распределения экстремальных значений и соответствующих доверительных интервалов.

Бутстрэп — непараметрический статистический метод, основанный на множественной повторной выборке с замещением из исходных данных. Этот метод дает возможность оценивать распределение выборочных статистик в условиях ограниченного объ-

Табл. 7. Метеостанции с неполным массивом данных с рассчитанной температурой наиболее холодных пятидневок обеспеченностью 0,92

Table 7. Weather stations with an incomplete data array with calculated temperatures of the coldest five-day periods with a provision of 0.92

| Метеостанция<br>Weather station   | Температура наиболее холодной пятидневки<br>обеспеченностью 0,92, °С<br>Temperature of the coldest five-day period is 0.92, °C |
|---|--|
| Белгород (дополненный данными Готни)<br>Belgorod (supplemented with Gotney's data)                    | -21,45   |
| Старый Оскол (дополненный данными Богородицкого)<br>Stary Oskol (supplemented by Bogoroditsky's data) | -22,11   |
| Новый Оскол (дополненный данными Богородицкого)<br>Novy Oskol (supplemented by Bogoroditsky's data)   | -22,34   |

ема данных, без предположений о форме исходного распределения. Метод может быть особенно эффективным для анализа устойчивости оценок в задачах с высокой стохастичностью, таких как, например, моделирование экстремальных значений.

Алгоритм реализации состоял из следующих этапов. Методом бутстрэп-анализа генерировалось 1000 выборок объемом  $n = 21$  каждая путем случайного отбора наблюдений из преобразованных исходных данных с возвращением, что позволяет имитировать многократное повторение эксперимента в идентичных условиях. Для каждой бутстрэп-выборки производилась инверсия сведений для адаптации распределения минимумов к стандартной

модели обобщенного распределения экстремальных значений, ориентированной на максимумы, с последующей оценкой параметров обобщенного распределения экстремальных значений методом максимального правдоподобия путем минимизации отрицательной логарифмической функции правдоподобия. На следующем этапе для каждой полученной модели рассчитывался заданный квантиль. На завершающем этапе для каждого параметра распределения и расчетного квантиля был вычислен 95 % доверительный интервал (табл. 8).

Следует отметить, что параметры и температура квантиля обеспеченностью 0,92, полученные в результате вычисления методом обобщенного

**Табл. 8.** Оценка параметров распределения экстремальных значений с рассчитанным квантилем и доверительные интервалы для метеостанций Белгородской области

**Table 8.** Estimation of the distribution parameters of extreme values with the calculated quantile and confidence intervals for meteorological stations of the Belgorod region

| Параметры распределения<br>Distribution parameters  | Значение 95%-ного доверительного интервала<br>95 % Confidence Interval Value | Параметры, рассчитанные с помощью обобщенного распределения экстремальных значений по каждой метеостанции<br>Parameters calculated using the generalized distribution of extreme values for each weather station |
|---|--|--|
| <i>Белгород (дополненный данными Готни)</i><br><i>Belgorod (supplemented with Gotney's data)</i>                    |  |  |
| Параметр формы<br>Shape parameter   | [-1,154, 0,292]  | -0,263   |
| Параметр локации<br>Location parameter  | [-19,737, -14,231]   | -15,521  |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter  | [1,488, 4,766]   | 3,250  |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92  | [-23,611, -19,052]   | -21,45 °C  |
| <i>Старый Оскол (дополненный данными Богородицкого)</i><br><i>Stary Oskol (supplemented by Bogoroditsky's data)</i> |  |  |
| Параметр формы<br>Shape parameter   | [-2,145, 0,069]  | -0,273   |
| Параметр локации<br>Location parameter  | [-23,286, -14,946]   | -16,321  |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter  | [1,926, 4,267]   | 3,2113   |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92  | [-24,493, -19,821]   | -22,11 °C  |
| <i>Новый Оскол (дополненный данными Богородицкого)</i><br><i>Novy Oskol (supplemented by Bogoroditsky's data)</i>   |  |  |
| Параметр формы<br>Shape parameter   | [-1,255, 0,333]  | -0,260   |
| Параметр локации<br>Location parameter  | [-19,889, -14,845]   | -16,263  |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter  | [1,596, 5,564]   | 3,322  |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92  | [-23,941, -20,025]   | -22,34 °C  |
| <i>Новый Оскол</i><br><i>Novy Oskol</i>   |  |  |
| Параметр формы<br>Shape parameter   | [-1,328, 8,255]  | -0,087   |

Продолжение табл. 8 / Continuation of the Table 8

| Параметры распределения<br>Distribution parameters | Значение 95%-ного<br>доверительного интервала<br>95 % Confidence Interval Value | Параметры, рассчитанные с помощью обобщенного<br>распределения экстремальных значений по каждой<br>метеостанции<br>Parameters calculated using the generalized distribution<br>of extreme values for each weather station |
|--|---|---|
| <i>Новый Оскол</i><br>Novy Oskol                   |   |   |
| Параметр локации<br>Location parameter             | [-21,150, -15,037]  | -16,963   |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter               | [0,294, 5,732]  | 2,9614  |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92                     | [-1,20215231e + 07,<br>-1,96008719e + 01]                                       | -23,58 °C   |
| <i>Старый Оскол</i><br>Stary Oskol                 |   |   |
| Параметр формы<br>Shape parameter                  | [-1,416, 6,475]   | -0,638  |
| Параметр локации<br>Location parameter             | [-20,708, -13,565]  | -17,828   |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter               | [3,03127564e - 14,<br>4,86439888e + 00]   | 3,214   |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92                     | [-2,81533242e + 06,<br>-1,35650000e + 01]                                       | -21,83 °C   |
| <i>Валуйки</i><br>Valuyki                          |   |   |
| Параметр формы<br>Shape parameter                  | [-1,148, 0,475]   | -0,201  |
| Параметр локации<br>Location parameter             | [-18,114, -14,144]  | -15,485   |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter               | [1,579, 4,552]  | 3,232   |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92                     | [-24,218, -19,467]  | -21,81 °C   |
| <i>Белгород</i><br>Belgorod                        |   |   |
| Параметр формы<br>Shape parameter                  | [-1,262, 0,580]   | -0,260  |
| Параметр локации<br>Location parameter             | [-19,732, -14,834]  | -16,263   |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter               | [1,5287, 5,294]   | 3,322   |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92                     | [-24,150, -19,766]  | -22,34 °C   |
| <i>Готня</i><br>Gotnya                             |   |   |
| Параметр формы<br>Shape parameter                  | [-1,135, 0,311]   | -0,266  |
| Параметр локации<br>Location parameter             | [-17,408, -14,129]  | -15,477   |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter               | [1,388, 4,912]  | 3,208   |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92                     | [-23,340, -18,827]  | -21,31 °C   |
| <i>Богородицкое</i><br>Bogoroditskoe               |   |   |
| Параметр формы<br>Shape parameter                  | [-1,237, 0,334]   | -0,246  |

Окончание табл. 8 / End of the Table 8

| Параметры распределения<br>Distribution parameters  | Значение 95%-ного<br>доверительного интервала<br>95 % Confidence Interval Value | Параметры, рассчитанные с помощью обобщенного<br>распределения экстремальных значений по каждой<br>метеостанции<br>Parameters calculated using the generalized distribution<br>of extreme values for each weather station |
|---|---|---|
| <i>Богородицкое<br/>Bogoroditskoe</i>   |   |   |
| Параметр локации<br>Location parameter  | [-20,182, -14,749]  | -16,338   |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter  | [1,507, 5,036]  | 3,325   |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92  | [-24,485, -20,121]  | -22,52 °C   |
| <i>Наиболее холодные пятидневки 3 метеостанций<br/>The coldest five-day periods of 3 weather stations</i> |   |   |
| Параметр формы<br>Shape parameter   | [-1,961, 0,443]   | -0,241  |
| Параметр локации<br>Location parameter  | [-23,102, -15,136]  | -16,476   |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter  | [1,606, 4,641]  | 3,240   |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92  | [-24,495, -20,128]  | -22,53 °C   |
| <i>Наиболее холодные пятидневки 6 метеостанций<br/>The coldest five-day periods 6 weather stations</i>    |   |   |
| Параметр формы<br>Shape parameter   | [-1,943, 0,198]   | -0,271  |
| Параметр локации<br>Location parameter  | [-22,670, -15,309]  | -16,689   |
| Параметр масштаба<br>Scale parameter  | [1,743, 4,976]  | 3,330   |
| Квантиль 0,92<br>Quantile 0.92  | [-24,492, -20,260]  | -22,71 °C   |

распределения экстремальных значений, находятся внутри доверительных интервалов соответствующих значений. Также стоит обратить внимание на то, что доверительные интервалы параметра формы обобщенного экстремального распределения включают ноль для всех метеостанций. Это указывает на то, что гипотеза о принадлежности данных к распределению Гумбеля не может отвергаться статистически, что позволяет в дальнейшем рассматривать распределение Гумбеля как частный случай обобщенного распределения экстремальных значений, который может быть более подходящим для анализа экстремальных значений, по крайней мере, для исследуемых метеостанций, что подтверждает обоснованность применения данного распределения в некоторых западных нормах. Для Нового Оскола и Старого Оскола параметр формы демонстрирует широкие доверительные интервалы, которые могут возникать вследствие малого объема данных, также из-за этого возникает неустойчивость оценок метода максимального правдоподобия в расчете оценок для параметра формы, что отражается на расчете доверительного интерва-

ла для квантиля, который показывает значительный диапазон возможных значений. Все это в совокупности говорит о том, что данные метеостанции Нового Оскола не могут быть расчетными для определения температуры наиболее холодной пятидневки региона заданной обеспеченности. Таким образом, на основании информации метеостанций, а также по полученным экспериментальным сведениям расчетная температура для холодного периода  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  является заниженной для Белгородского региона.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Обработаны массивы температурных данных всех метеостанций Белгородской области на всем интервале исторических наблюдений. Выявлено, что температурные изменения на территории Белгородской области соответствуют глобальным трендам планетарного потепления. Рассчитаны ключевые параметры отопительных периодов на всех метеостанциях региона, проанализированы такие параметры, как продолжительность отопительных периодов, температура наиболее холодных дней отопительных периодов, температура наиболее хо-

лодных пятидневков отопительных периодов, средние температуры отопительных периодов, градусо-сутки отопительных периодов. На основании полученной информации сделан вывод, что в последние 30–35 лет наблюдается значительное «потепление» климатических параметров, в том числе холодной половины года.

На базе методики, указанной в последней редакции строительной климатологии, с использованием инструментов на языке программирования Python вычислены температуры наиболее холодных пятидневок обеспеченностью 0,92. Полученные данные показали, что указанная в СП расчетная температура региона, равная  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , является необоснованно заниженной. Приведены экспериментально рассчитанные температуры наиболее холодных пятидневок для каждой метеостанции, а также сведения по группировке самых низких температур для 3 метеостанций с наибольшей глубиной наблюдений и всех 6 метеостанций на территории региона. С помощью бутстрэпа вычислялись 95%-ные доверительные интервалы для параметров обобщенного распределения экстремальных значений и заданного квантиля. Один из главных выводов при расчете доверительных интервалов — включение в доверительный интервал нуля при расчете параметра формы, которое непосредственно влияет на выбор распределения, что может говорить о потенциальном использовании распределения Гумбеля, как о более подходящем распределении при расчете обеспеченности, что подтверждается использованием данного распределения для вычисления расчетных температур отопительного периода в западных нормах. Другим недостатком обобщенного распределения экстремальных значений могут считаться достаточно большие интервалы параметров локации и масштаба, что говорит о том, что на небольших выборках (порядка 20 значений или меньше) это распределение может давать неустойчивые оценки.

Согласно проведенным исследованиям, единая расчетная температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 для всего региона составляет  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$  (на основе анализа данных шести

метеостанций). Однако авторы считают более обоснованным дифференцированный подход с учетом пространственной неоднородности температурного режима. На основании анализа многолетних наблюдений предлагается: для метеостанций Готни, Белгорода и Валук установить расчетную температуру  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; для метеостанции Богородицкое и северо-восточных территорий области сохранить значение  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Данное понижение температуры может сказаться на реконструкции зданий, для которых невозможно утепление стен снаружи. Снижение сопротивления в зависимости от географии применения в пределах региона может достигать около 2–5 %, что сможет упростить соответствие нормам существующих зданий. Расчетные теплотери также могут снизиться на 2–5 %, что приведет к уменьшению требуемой мощности отопительных систем и соответственно сэкономит ресурсы при проектировании новых зданий. Кроме того, региональная адаптация внутри области сможет повысить точность расчетов.

Однако стоит учесть, что уменьшение требований к ограждающим конструкциям может привести к более высоким эксплуатационным расходам в долгосрочной перспективе. Помимо этого, в расчете зданий необходимо учитывать инерционность ограждающих конструкций. Легкие конструкции с низкой инерционностью более чувствительны к кратковременным похолоданиям.

Целью настоящего исследования являлась не корректировка нормативных значений расчетной температуры наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 в меньшую сторону, а выявление несовершенства существующей методологии, возможной ошибки в имеющихся расчетных значениях для Белгородской области, а также предложение и мотивация к разработке методологической основы для повышения точности оценки квантилей распределения экстремально низких температур, что в дальнейшем создаст основу для перехода от усредненных климатических норм к персонализированным решениям в строительстве, что особенно актуально в условиях растущих требований к энергоэффективности и устойчивости инфраструктуры.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hansen J.E., Sato M., Simons L., Nazarenko L.S., Sangha I., Kharecha P. et al. Global warming in the pipeline // Oxford Open Climate Change. 2023. Vol. 3. Issue 1. DOI: 10.1093/oxfclm/kgad008
2. Cho H.H., Strezov V., Evans T.J. A review on global warming potential, challenges and opportunities of renewable hydrogen production technologies // Sustainable Materials and Technologies. 2023. Vol. 35. P. e00567. DOI: 10.1016/j.susmat.2023.e00567
3. Scafetta N. Impacts and risks of “realistic” global warming projections for the 21st century // Geoscience Frontiers. 2024. Vol. 15. Issue 2. P. 101774. DOI: 10.1016/j.gsf.2023.101774
4. Patel V.K., Kuttippurath J. Increase in tropospheric water vapor amplifies global warming and climate change // Ocean-Land-Atmosphere Research. 2023. Vol. 2. DOI: 10.34133/olar.0015
5. Bai H., Xiao D., Liu D.L., Tao F., Liu F., Tang J. Impacts of future climate change and management practices to yield, eco-efficiency and global warming potential for rice–wheat rotation system // Journal of the Science of Food and Agriculture. 2025. Vol. 105. Issue 11. Pp. 6138–6150. DOI: 10.1002/jsfa.14322
6. Wu S., Chao Q., Gao J., Liu L., Feng A., Deng H. et al. Identification of regional pattern of climate change risk in China under different global warming targets //

Journal of Geographical Sciences. 2023. Vol. 33. Issue 3. Pp. 429–448. DOI: 10.1007/s11442-023-2090-1

7. *Diffenbaugh N.S., Barnes E.A.* Data-driven predictions of the time remaining until critical global warming thresholds are reached // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2023. Vol. 120. Issue 6. DOI: 10.1073/pnas.2207183120

8. *You Q., Jiang Z., Yue X., Guo W., Liu Y., Cao J. et al.* Recent frontiers of climate changes in East Asia at global warming of 1.5 °C and 2 °C // Npj Climate and Atmospheric Science. 2022. Vol. 5. Issue 1. DOI: 10.1038/s41612-022-00303-0

9. *Song F., Zhang G.J., Ramanathan V., Leung L.R.* Trends in surface equivalent potential temperature: A more comprehensive metric for global warming and weather extremes // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2022. Vol. 119. Issue 6. DOI: 10.1073/pnas.2117832119

10. *Samset B.H., Lund M.T., Fuglestedt J.S., Wilcox L.J.* 2023 temperatures reflect steady global warming and internal sea surface temperature variability // Communications Earth & Environment. 2024. Vol. 5. Issue 1. DOI: 10.1038/s43247-024-01637-8

11. *Safullin R.N., Afanasyev A.S., Reznichenko V.V.* The Concept of Development of Monitoring Systems and Management of Intelligent Technical Complexes // Journal of Mining Institute. 2019. Vol. 237. Pp. 322–330. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.322. EDN QSSESC.

12. *Луней А.Г.* О диагностике состояния систем отопления потребителей тепловой энергии // СОК. 2004. № 8. С. 48–52.

13. *Elistratova Y., Seminenko A., Elistratov D., Sheps R., Umerenkov A.* Reliability of Methods of Calculation of Heating Systems for Digital Model // Lecture Notes in Civil Engineering. 2024. Pp. 31–39. DOI: 10.1007/978-3-031-36723-6\_4

14. *Трухний А.Д., Зройчиков Н.А., Ломакин Б.В., Седов И.В.* Информационно-диагностическая система контроля подогревателей сетевой воды турбоустановки Т-250/300-240 // Теплоэнергетика. 1998. № 1. С. 30–34. EDN WNFXXD.

15. *Tol H.I., Desmedt J., Salenbien R.* A novel demand-responsive control strategy for district heating systems, featuring return temperature reduction // Energy and Built Environment. 2021. Vol. 2. Issue 1. Pp. 105–125. DOI: 10.1016/j.enbenv.2020.05.001

16. *Khlebnikova E.I., Sall' I. A., Shkol'nik I.M.* Regional climate changes as the factors of impact on the objects of construction and infrastructure // Russian Meteorology and Hydrology. 2012. Vol. 37. Issue 11–12. Pp. 735–745. DOI: 10.3103/S1068373912110076. EDN RGGFPF.

17. *Li Y., Wang W., Wang Y., Xin Y., He T., Zhao G.* A Review of Studies Involving the Effects of Climate Change on the Energy Consumption for Building Heating and Cooling // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020. Vol. 18. Issue 1. P. 40. DOI: 10.3390/ijerph18010040

18. *Shi Y., Wang G., Gao X., Xu Y.* Effects of climate and potential policy changes on heating degree days in current heating areas of China // Scientific Reports. 2018. Vol. 8. Issue 1. DOI: 10.1038/s41598-018-28411-z

19. *Andrade C., Mourato S., Ramos J.* Heating and cooling degree-days climate change projections for Portugal // Atmosphere. 2021. Vol. 12. Issue 6. P. 715. DOI: 10.3390/atmos12060715

20. *Chidiac S.E., Yao L., Liu P.* Climate change effects on heating and cooling demands of buildings in Canada // CivilEng. 2022. Vol. 3. Issue 2. Pp. 277–295. DOI: 10.3390/civileng3020017

21. *Janković A., Podračanin Z., Djurdjevic V.* Future climate change impacts on residential heating and cooling degree days in Serbia // Időjárás. 2019. Vol. 123. Issue 3. Pp. 351–370. DOI: 10.28974/idojaras.2019.3.6

22. *Самарин О.Д.* Выбор расчетной температуры наружного воздуха в холодный период года с обоснованной обеспеченностью // Жилищное строительство. 2022. № 3. С. 36–39. DOI: 10.31659/0044-4472-2022-3-36-39. EDN HESWFT.

23. *Малявина Е.Г., Ландырев С.С.* Роль сопротивления теплопередаче окна в формировании результирующей температуры на границе обслуживаемой зоны помещения // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. № 7. С. 1161–1172. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.7.1161-1172. EDN OLMXXQ.

24. *Мильков Д.А., Юферев Ю.В., Тютюнников А.И., Гориков А.С.* Изменение климата и его влияние на инженерно-энергетический комплекс (на примере Санкт-Петербурга) // Теплоэнергетика. 2023. № 3. С. 87–96. DOI: 10.56304/S0040363623030049. EDN CTNQTJ.

25. *Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г., Микушина О.В.* Изменение параметров отопительного периода на европейской территории России в результате глобального потепления // Известия РАН. Энергетика. 2002. № 2. С. 10–27.

26. *Клименко В.В., Клименко А.В., Андрейченко Т.Н.* Энергия, природа и климат. М. : Изд-во МЭИ, 1997. 214 с.

27. *Klimenko V.V., Mikushina O.V., Larin D.A.* Temperature changes in Taimyr region in the context of global climate change // Geokol., Inzh. Geol., Gidrogeol., Geokriol. 2001. No. 3. Pp. 195–203.

28. *Klimenko V.V., Dovgalyuk V.V., Mikushina O.V.* Forecast of climate change in the Moscow region under the influence of anthropogenic and natural factors // Vestnik MEI. 2001. Vol. 2. Pp. 36–45.

29. *Шеремет Е.О., Старченко С.Ф.* Исследование изменения основных расчетных параметров отопительного периода по архиву температур // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2024. № 6. С. 19–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-19-31. EDN TSGHCS.

Поступила в редакцию 14 мая 2025 г.

Принята в доработанном виде 6 октября 2025 г.

Одобрена для публикации 8 октября 2025 г.

**ОБ АВТОРАХ:** Евгений Олегович Шеремет — кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова);** 308012, г. Белгород, ул. Костюкова д. 46; SPIN-код: 8433-6883, РИНЦ ID: 798155, Scopus: 57201772791, ResearcherID: NAZ-5556-2025, ORCID: 0000-0002-5716-8758; 66910@mail.ru;

Валерий Анатольевич Уваров — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова);** 308012, г. Белгород, ул. Костюкова д. 46; SPIN-код: 3790-5739, РИНЦ ID: 456690, Scopus: 7006666298, ORCID: 0000-0003-3614-8536; v\_a\_uvarov@mail.ru;

Николай Юрьевич Никулин — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова);** 308012, г. Белгород, ул. Костюкова д. 46; SPIN-код: 5453-9273, РИНЦ ID: 1144898, ResearcherID: AAF-9961-2022, ORCID: 0000-0003-3433-3957; Nick\_973gt@mail.ru;

Алена Анатольевна Шеремет — кандидат технических наук, доцент кафедры архитектурных конструкций; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова);** 308012, г. Белгород, ул. Костюкова д. 46; SPIN-код: 3911-5720, РИНЦ ID: 1074377, ORCID: 0000-0002-5115-4785; aleenisokay@ya.ru;

Никита Юрьевич Саввин — кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова);** 308012, г. Белгород, ул. Костюкова д. 46; SPIN-код: 9439-3555, РИНЦ ID: 1108836, Scopus: 57219992792, ResearcherID: AAR-3129-2021, ORCID: 0000-0001-6379-6825; n-savvin@mail.ru.

Вклад авторов:

Шеремет Е.О. — научное руководство, обзор современного состояния вопроса, концепция исследования, разработка программы исследований и ее реализация, написание исходного текста, итоговые выводы.

Уваров В.А. — научное руководство, концепция исследования, итоговые выводы.

Никулин Н.Ю. — обзор современного состояния вопроса, итоговые выводы.

Шеремет А.А. — обзор современного состояния вопроса, концепция исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.

Саввин Н.Ю. — обзор современного состояния, доработка текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## REFERENCES

1. Hansen J.E., Sato M., Simons L., Nazarenko L.S., Sangha I., Kharecha P. et al. Global warming in the pipeline. *Oxford Open Climate Change*. 2023; 3(1). DOI: 10.1093/oxfclm/kgad008
2. Cho H.H., Strezov V., Evans T.J. A review on global warming potential, challenges and opportunities of renewable hydrogen production technologies. *Sustainable Materials and Technologies*. 2023; 35:e00567. DOI: 10.1016/j.susmat.2023.e00567
3. Scafetta N. Impacts and risks of “realistic” global warming projections for the 21st century. *Geoscience Frontiers*. 2024; 15(2):101774. DOI: 10.1016/j.gsf.2023.101774
4. Patel V.K., Kuttippurath J. Increase in tropospheric water vapor amplifies global warming and climate change. *Ocean-Land-Atmosphere Research*. 2023; 2. DOI: 10.34133/olar.0015
5. Bai H., Xiao D., Liu D.L., Tao F., Liu F., Tang J. Impacts of future climate change and management practices to yield, eco-efficiency and global warming potential for rice–wheat rotation system. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2025; 105(11):6138-6150. DOI: 10.1002/jsfa.14322
6. Wu S., Chao Q., Gao J., Liu L., Feng A., Deng H. et al. Identification of regional pattern of climate change risk in China under different global warming targets. *Journal of Geographical Sciences*. 2023; 33(3):429-448. DOI: 10.1007/s11442-023-2090-1
7. Diffenbaugh N.S., Barnes E.A. Data-driven predictions of the time remaining until critical global warming thresholds are reached. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2023; 120(6). DOI: 10.1073/pnas.2207183120
8. You Q., Jiang Z., Yue X., Guo W., Liu Y., Cao J. et al. Recent frontiers of climate changes in East Asia at global warming of 1.5 °C and 2 °C. *Npj Climate and Atmospheric Science*. 2022; 5(1). DOI: 10.1038/s41612-022-00303-0

9. Song F., Zhang G.J., Ramanathan V., Leung L.R. Trends in surface equivalent potential temperature: A more comprehensive metric for global warming and weather extremes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2022; 119(6). DOI: 10.1073/pnas.2117832119
10. Samset B.H., Lund M.T., Fuglestedt J.S., Wilcox L.J. 2023 temperatures reflect steady global warming and internal sea surface temperature variability. *Communications Earth & Environment*. 2024; 5(1). DOI: 10.1038/s43247-024-01637-8
11. Safiullin R.N., Afanasyev A.S., Reznichenko V.V. The Concept of Development of Monitoring Systems and Management of Intelligent Technical Complexes. *Journal of Mining Institute*. 2019; 237:322-330. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.322. EDN QSSESC.
12. Lupey A.G. On diagnostics of the state of heating systems for consumers of thermal energy. *COK*. 2004; 8:48-52. (rus.).
13. Elistratova Y., Seminenko A., Elistratov D., Sheps R., Umerenkov A. Reliability of Methods of Calculation of Heating Systems for Digital Model. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2024; 31-39. DOI: 10.1007/978-3-031-36723-6\_4
14. Trukhnii A.D., Zroichikov N.A., Lomakin B.V., Sedov I.V. An information-diagnostics system for monitoring the hot water heat exchangers of a T-250/300-240 turbine installation. *Thermal Engineering*. 1998; 1:30-34. EDN WNFXXD. (rus.).
15. Tol H.Ī., Desmedt J., Salenbien R. A novel demand-responsive control strategy for district heating systems, featuring return temperature reduction. *Energy and Built Environment*. 2021; 2(1):105-125. DOI: 10.1016/j.enbenv.2020.05.001
16. Khlebnikova E.I., Sall' I. A., Shkol'nik I.M. Regional climate changes as the factors of impact on the objects of construction and infrastructure. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2012; 37(11-12):735-745. DOI: 10.3103/S1068373912110076. EDN RGGFPF.
17. Li Y., Wang W., Wang Y., Xin Y., He T., Zhao G. A Review of Studies Involving the Effects of Climate Change on the Energy Consumption for Building Heating and Cooling. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 18(1):40. DOI: 10.3390/ijerph18010040
18. Shi Y., Wang G., Gao X., Xu Y. Effects of climate and potential policy changes on heating degree days in current heating areas of China. *Scientific Reports*. 2018; 8(1). DOI: 10.1038/s41598-018-28411-z
19. Andrade C., Mourato S., Ramos J. Heating and cooling degree-days climate change projections for Portugal. *Atmosphere*. 2021; 12(6):715. DOI: 10.3390/atmos12060715
20. Chidiac S.E., Yao L., Liu P. Climate change effects on heating and cooling demands of buildings in Canada. *CivilEng*. 2022; 3(2):277-295. DOI: 10.3390/civileng3020017
21. Janković A., Podraččanin Z., Djurdjevic V. *Future climate change impacts on residential heating and cooling degree days in Serbia. Időjárás*. 2019; 123(3):351-370. DOI: 10.28974/idojaras.2019.3.6
22. Samarin O.D. Selection of the design outdoor air temperature in the cold period of the year with reasonable security. *Housing Construction*. 2022; 3:36-39. DOI: 10.31659/0044-4472-2022-3-36-39. EDN HESWFT. (rus.).
23. Malyavina E.G., Landyrev S.S. The role of heat transfer resistance of a window in formation of resulting temperature at the boundary of habitable space in a room. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2024; 19(7):1161-1172. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.7.1161-1172. EDN OLMXXQ. (rus.).
24. Mil'kov D.A., Yuferev Yu.V., Tyutyunnikov A.I., Gorshkov A.S. Climate change and its influence on the energy engineering complex (taking St. Petersburg as an example). *Teploenergetika*. 2023; 3:87-96. DOI: 10.56304/S0040363623030049. EDN CTNQTJ. (rus.).
25. Klimenko V.V., Klimenko A.V., Tereshin A.G., Mikushina O.V. Changes in the parameters of the heating period in the European territory of Russia as a result of global warming. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*. 2002; 2:10-27. (rus.).
26. Klimenko V.V., Klimenko A.V., Andreichenko T.N. *Energy, nature and climate*. Moscow, MPEI Publishing House, 1997; 217. (rus.).
27. Klimenko V.V., Mikushina O.V., Larin D.A. Temperature changes in Taimyr region in the context of global climate change. *Geoekol., Inzh. Geol., Gidrogeol., Geokriol*. 2001; 3:195-203.
28. Klimenko V.V., Dovgalyuk V.V., Mikushina O.V. Forecast of climate change in the Moscow region under the influence of anthropogenic and natural factors. *Vestnik MEI*. 2001; 2:36-45.
29. Sheremet E., Starchenko S. Investigation of changes in the main design parameters of the heating period according to the temperature archive. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2024; 6:19-31. DOI: 10.34031/2071-7318-2024-9-6-19-31. EDN TSGHCS. (rus.).

Received May 14, 2025.

Adopted in revised form on October 6, 2025.

Approved for publication on October 8, 2025.

**BIONOTES:** **Evgeniy O. Sheremet** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; SPIN-code: 8433-6883, ID RSCI: 798155, Scopus: 57201772791, ResearcherID: NAZ-5556-2025, ORCID: 0000-0002-5716-8758; 66910@mail.ru;

**Valeriy A. Uvarov** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; SPIN-code: 3790-5739, ID RSCI: 456690, Scopus: 7006666298, ORCID: 0000-0003-3614-8536; v\_a\_uvarov@mail.ru;

**Nikolaj Yu. Nikulin** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; SPIN-code: 5453-9273, ID RSCI: 1144898, ResearcherID: AAF-9961-2022, ORCID: 0000-0003-3433-3957; Nick\_973gt@mail.ru;

**Alena A. Sheremet** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Architectural Structures; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; SPIN-code: 3911-5720, ID RSCI: 1074377, ORCID: 0000-0002-5115-4785; aleenisokay@ya.ru;

**Nikita Yu. Savvin** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (BSTU named after V.G. Shukhov)**; 46 Kostyukova st., Belgorod, 308012, Russian Federation; SPIN-code: 9439-3555, ID RSCI: 1108836, Scopus: 57219992792, ResearcherID: AAR-3129-2021, ORCID: 0000-0001-6379-6825; n-savvin@mail.ru.

*Authors' contribution:*

*Evgeniy O. Sheremet — scientific management, review of the current state of the issue, research concept, development of a research program and its implementation, writing the original text, final conclusions.*

*Valeriy A. Uvarov — scientific supervision, research concept, final conclusions.*

*Nikolaj Yu. Nikulin — review of the current state of the issue, participation in the development of the research program and implementation, text revision, final conclusions.*

*Alena A. Sheremet — review of the current state of the issue, research concept, writing the original text, final conclusions.*

*Nikita Yu. Savvin — review of the current state, revision of the text, final conclusions.*

*The authors declare no conflict of interest.*