

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

CLIMATIC RESOURCES

КЛИМАТЫЧНЫЯ РЭСУРСЫ

ISSN 1810-9810 (Print)

УДК 551.583(476)

Ю. А. Бровка*Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь,
e-mail: brovka.yuliya@mail.ru***ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ
ВНУТРИСЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА
В БЕЛАРУСИ**

Аннотация. Проведен анализ динамики среднеквадратического отклонения (СКО) среднесуточной температуры воздуха на территории Беларуси в каждый из сезонов года с 1955 по 2022 г. Методом спектрально-сингулярного анализа выявлена четко выраженная цикличность в многолетних колебаниях СКО среднесуточной температуры зимой и весной (8,25 и 8,5 года соответственно). Установлен восходящий тренд изменчивости летней температуры, особенно с 1990-х гг., и нисходящий тренд изменчивости весенней температуры за весь рассматриваемый период. Рассмотрены значения и особенности пространственного изменения СКО среднесуточных температур в различные сезоны, рассчитанного по данным метеостанций для периода потепления климата (1991–2022 гг.) и предшествующего периода (1961–1990 гг.). В условиях потепления климата на территории Беларуси отмечено уменьшение внутрисезонной изменчивости среднесуточной температуры зимой и весной и ее увеличение – летом и осенью. В Беларуси в исследуемые 30-летние периоды СКО среднесуточных температур увеличивается в субмеридиональном направлении – к северо-востоку (зима), а также к востоку (весна, осень). В летний сезон выявлена пространственная неоднородность изменчивости среднесуточной температуры.

Ключевые слова: изменение климата, среднесуточная температура, внутрисезонная изменчивость, среднеквадратическое отклонение (СКО)

Yu. A. Brovka*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
e-mail: brovka.yuliya@mail.ru***SPATIAL AND TEMPORAL FEATURES OF INTRASEASONAL VARIABILITY OF MEAN DAILY AIR TEMPERATURE
IN BELARUS**

Abstract. The dynamics of the standard deviation (SD) of the mean daily air temperature in the territory of Belarus in each season of the year from 1955 to 2022, had been analysed. The method of Singular Spectrum Analysis revealed a well-defined cyclicity in the multi-year variations of the standard deviation of the mean daily temperature in winter and spring (8,25 and 8,5 years). An upward trend in summer temperature variability, especially since the 1990s, and a downward trend in spring temperature variability over the entire period under consideration have also been identified. The values and features of spatial variation of the standard deviation of mean daily temperatures in different seasons, calculated from data of meteorological stations for the period of climate warming (1991–2022) and the preceding period (1961–1990), had been considered. In a warming on the territory of Belarus, the intraseasonal variability of the average daily temperature in winter and spring has decreased and has increased in summer and autumn. In the 30-year periods used in the study, the standard deviation of mean daily temperatures increases in the submeridional direction – towards the north-east (winter), as well as towards the east of Belarus (spring, autumn). In the summer season, spatial heterogeneity in the variability of mean daily temperature was revealed.

Keywords: climate change, daily mean temperature, intraseasonal variability, standard deviation (SD)

Ю. А. Броўка*Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, Мінск, Беларусь,
e-mail: brovka.yuliya@mail.ru***ПРАСТОРАВА-ЧАСАВЫЯ АСАБЛІВАСЦІ ЎНУТРЫСЕЗОННАЙ ЗМЕНЛІВАСЦІ
СЯРЭДНЯСУТАЧНАЙ ТЭМПЕРАТУРЫ ПАВЕТРА ў БЕЛАРУСІ**

Анатацыя. Праведзены аналіз дынамікі сярэднеквадратчнага адхілення (СКА) сярэднясутачнай тэмпературы паветра на тэрыторыі Беларусі ў кожны з сезонаў года з 1955 па 2022 г. Метадам спектральна-сінгулярнага аналізу выяўлена цыклічнасць у шматгадовых ваганнях СКА сярэднясутачнай тэмпературы, якая выразна назіраецца зімой і вясной (8,25 і 8,5 года адпаведна). Вызначаны ўзыходзячы трэнд зменлівасці летняй тэмпературы, асабліва

з 1990-х гг., і сыходны трэнд зменлівасці вясновай тэмпературы за ўвесь разглядаемы перыяд. Разгледжаны значэнні і асаблівасці прасторавага змянення сярэднеквадратычнага адхілення сярэднясутачных тэмператур у розныя сезоны, разлічанага па даных метэастанцый для перыяду пацяплення клімату (1991–2022 гг.) і папярэдняга перыяду (1961–1990 гг.). Ва ўмовах пацяплення клімату на тэрыторыі Беларусі адзначаны памяншэнне ўнутрысезоннай зменлівасці сярэднясутачнай тэмпературы зімой і вясной і яе павелічэнне – летам і восенню. У Беларусі ў разглядаемы 30-гадовы перыяды СКА сярэднясутачных тэмператур павялічваецца ў субмерыдыянальным напрамку – на паўночны ўсход (зіма), а таксама на ўсход (вясна, восень). У летні сезон выяўлена прасторавая неаднастайнасць зменлівасці сярэднясутачнай тэмпературы.

Ключавыя словы: змяненне клімату, сярэднясутачная тэмпература, унутрысезонная зменлівасць, сярэднеквадратычнае адхіленне (СКА)

Введение. На фоне отмечающегося роста глобальной температуры изменение (потепление) климата проявляется и на региональном уровне. Для территории Беларуси проведены исследования многолетних изменений температуры воздуха в годовом, сезонном, месячном масштабах, в том числе в период современного потепления климата [1–4]. С 1989–1990 гг. наблюдалось значительное увеличение зимних температур в Беларуси. Установлено, что большая часть самых теплых зим (средняя температура $+1,5...-2,0$ °C) и только 2 самые холодные зимы ($-10,4...-7,4$ °C) приходятся на период потепления климата [3]. В текущем столетии более выражено потепление в летний период: увеличилась частота волн тепла и повторяемость атмосферных засух [1, 5, 6]. С 1990-х гг. отмечается увеличение скорости роста температур летом и уменьшение зимой [1], выявлено смещение потепления на вторую половину лета – осень в последние два десятилетия [1, 7].

В связи с изменениями климата актуальным и недостаточно изученным для территории Беларуси остается вопрос оценки изменчивости температуры воздуха на протяжении каждого из сезонов с использованием данных суточного разрешения. Цель исследования – анализ динамики внутрисезонной изменчивости среднесуточной температуры воздуха в Беларуси за 1955–2022 гг. для изучения возможностей долгосрочного прогноза; выявление пространственно-временных особенностей изменчивости среднесуточной температуры в различные сезоны в период потепления климата (1991–2022 гг.) по сравнению с 1961–1990 гг.

Внутрисезонная изменчивость температуры для разных регионов с использованием различных методических подходов рассматривалась многими учеными [8–14]. Чаще всего в литературных источниках колебания температуры воздуха (среднемесечной, среднесуточной) оцениваются методом расчета температурных аномалий, их разницы между двумя последовательными интервалами времени, методами расчета скорости изменения температуры (коэффициент линейного тренда) и среднеквадратического отклонения, с помощью преобразования Фурье и других математических методов. G. Naumann, W. M. Vargas [8] исследована внутрисезонная изменчивость суточных максимальных и минимальных температур на юго-востоке Южной Америки с середины 1970-х до начала 2000-х гг. Прогноз по региональным климатическим моделям внутрисезонной изменчивости летней температуры в Европе на последние 30 лет текущего столетия представлен в работе E. M. Fischer, C. Schär [9]. Внутрисезонная изменчивость летней температуры воздуха в средних широтах Евразии и возможность ее прогнозирования с использованием динамических моделей отражена J. Cui, S. Yang, T. Li [10]. Рассмотрен внутрисезонный режим изменчивости приземной температуры воздуха бореальной зимой (ноябрь – март) с конца 1970-х гг. в североамериканском секторе и его влияние на возникновение погодно-климатических экстремумов в регионе [11].

Основные тенденции ряда показателей (стандартное отклонение, диапазон между 90-м и 10-м квантилем среднесуточной температуры и др.) внутрисезонной изменчивости температуры на территории Европы с 1960-х гг. представлены в работах [12, 13]. Наиболее значительное снижение внутрисезонной изменчивости температуры по разным показателям отмечено зимой в Восточной и Северной Европе. Менее выраженное увеличение изменчивости среднесуточной температуры отмечается летом по отдельным показателям.

Выполнен детальный анализ среднеквадратических отклонений среднесуточной температуры воздуха в разных временных диапазонах для всех сезонов на территории России в современный период (2000–2018 гг.) по сравнению с базовым (1970–1999 гг.) [14]. Начиная с 2000-х гг. в большинстве регионов России установлено уменьшение изменчивости среднесуточной температуры (как правило, на 10–20 %) во все сезоны на фоне повышения средней температуры. В отдельных районах наблюдается противоположная тенденция.

Исходя из приведенных выше результатов [12–14] научный интерес представляют исследования внутрисезонной изменчивости среднесуточной температуры на территории Беларуси.

Материалы и методика исследований. В качестве исходных использованы данные наблюдений о среднесуточной температуре воздуха на 45 метеостанциях Беларуси за 1955–2022 гг. и 1977–2022 гг. При анализе пространственной изменчивости температуры в 1961–1990 гг. применялись более длинные (с 1955 г.) ряды данных 23 метеостанций: Барановичи, Бобруйск, Борисов, Брест, Василевичи, Верхнедвинск, Витебск, Волковыск, Гомель, Горки, Гродно, Житковичи, Жлобин, Лида, Марьяна Горка, Минск, Могилёв, Новогрудок, Пинск, Полоцк, Пружаны, Славгород, Шарковщина.

В работе рассмотрен один из показателей изменчивости метеорологической величины – среднеквадратическое отклонение (СКО) среднесуточной температуры воздуха в течение конкретного сезона. Многолетние колебания СКО среднесуточной температуры воздуха в каждый из сезонов в Беларуси рассмотрены за весь доступный временной ряд (1955–2022 гг.). Для исследования территориально-временных различий внутрисезонной изменчивости температуры воздуха выбран период потепления климата 1991–2022 гг., а также предшествующий ему более прохладный период 1961–1990 гг.

Для анализа динамики внутрисезонного СКО температуры (выявление тренда, периодический компонент) используется спектрально-сингулярный анализ (SSA-анализ) [15, 16], позволяющий разложить временной ряд на составляющие (главные компоненты). При длине временного ряда 68 лет выбрана длина скользящего окна 20 лет. Рассмотрены тренд (1-я главная компонента) и циклические колебания разной периодичности (суммированные 2-я и 3-я главные компоненты).

При расчете значений СКО температуры в каждый из сезонов для двух периодов с помощью SSA-анализа из многолетних рядов среднесуточных температур на метеостанциях удалены тренды. Полученные ряды отклонений среднесуточной температуры использовались для вычисления СКО температуры в пределах сезона на 23 метеостанциях за периоды 1991–2022 гг. и 1961–1990 гг.

Для оценки статистической значимости различий СКО двух выборок использован F -критерий Фишера [17, 18]. Рассчитывалось отношение дисперсий двух выборок, которое сравнивалось с критическим значением F . При исследовании выбран уровень значимости (вероятности ошибки) 0,05. Таким образом, подтверждается или опровергается гипотеза о равенстве дисперсий двух выборок. Для анализа пространственного распределения показателя изменчивости среднесуточных температур в разные периоды (1991–2022 гг. и 1961–1990 гг.) выполнена интерполяция рассчитанных для метеостанций данных СКО температуры в пределах каждого сезона с использованием ArcGis.

Результаты и их обсуждение. *Особенности многолетнего изменения внутрисезонных СКО температуры воздуха.* По результатам SSA-анализа установлено, что зимой и весной в динамике СКО среднесуточных температур проявляется примерно 8-летняя цикличность (соответственно 8,25 и 8,5 года), описанная 2+3-й компонентами (рис. 1, а, б). Прогноз этого колебания на 2023–2027 гг. свидетельствует об уменьшении изменчивости среднесуточной температуры зимой и весной до 2024 г. и ее последующем росте, причем значительно большая амплитуда колебания отмечена для весенней температуры. Кроме того, для весны характерен нисходящий тренд СКО температуры, который сохранится в ближайшие 5 лет. Многолетнее изменение СКО по тренду составляет от $\sim 7,5$ до $6,0$ °C. Диапазон варьирования фактических значений СКО среднесуточных температур зимой и весной более чем в 90 % лет составляет $3,5$ – 7 °C и 4 – 9 °C соответственно.

Летом отмечен восходящий тренд СКО среднесуточных температур за весь исследуемый период (рис. 1, в), наибольшее увеличение изменчивости показателя по тренду характерно для периода потепления (примерно на $0,3$ °C по сравнению с $0,1$ °C в 1955–1990 гг.). Цикличности в изменчивости среднесуточных температур летом выявлено не было. Максимальные значения СКО летних температур ($3,7$ – $3,9$ °C) для территории Беларуси также наблюдались в этот период: 1994, 2001, 2010, 2014 гг.

Для изменчивости температуры осенью выявлено колебание с периодом 4,53 года (рис. 1, г), амплитуда которого увеличивается до наибольших значений в 1980–1990-е гг., а в последующие десятилетия уменьшается и становится незначительной. В 90 % лет СКО осенних температур находятся в диапазоне $4,0$ – $7,5$ °C.

Полученная с помощью SSA-анализа 1-я главная компонента (тренд) определяет 5,3 % (весна) и 8,2 % (лето) общей дисперсии временного ряда, тогда как доля 2+3-й главных компонент (циклические колебания) в разные сезоны составляет 18 % (весна), 19 % (зима), 22 % (осень).

SSA-анализ рядов температуры воздуха зимой, как и ее СКО, для территории Беларуси показал наличие колебаний периодичностью $\sim 8,25$ года (2+3-я главные компоненты). Причем в выявленных циклах максимумы температуры зимой соответствуют минимумам ее СКО (рис. 2) почти на всем протяжении исследуемого периода, некоторое смещение отмечается в последнее десятилетие, т. е. в более холодные зимы больше изменчивость среднесуточных температур и наоборот. Между примерно 8-летними циклами температуры воздуха зимой и изменчивости среднесуточных температур в этот сезон выявлена статистически значимая корреляционная связь ($P \leq 0,01$) с коэффициентом парной корреляции $r = -0,82$.

Выявленная значимая корреляционная связь ($P \leq 0,01$) циклических североатлантических колебаний (САК) и средней температуры зимы в Беларуси [19] отмечается и в данном исследовании ($r = 0,96$). Установлена также значимая корреляция циклов САК и изменчивости зимних среднесуточных температур ($r = -0,72$). Положительные фазы примерно 8-летних колебаний САК на протяжении всего ряда, за исключением последнего 10-летия, соответствовали отрицательным фазам колебания СКО среднесуточных температур (рис. 2).

Пространственно-временные изменения внутрисезонных СКО температуры воздуха в период потепления климата по сравнению с предшествующим периодом. Особенности пространственного распределения СКО температуры в каждый из сезонов за период потепления (1991–2022 гг.) и более прохладный период (1961–1990 гг.) представлены на рис. 3.

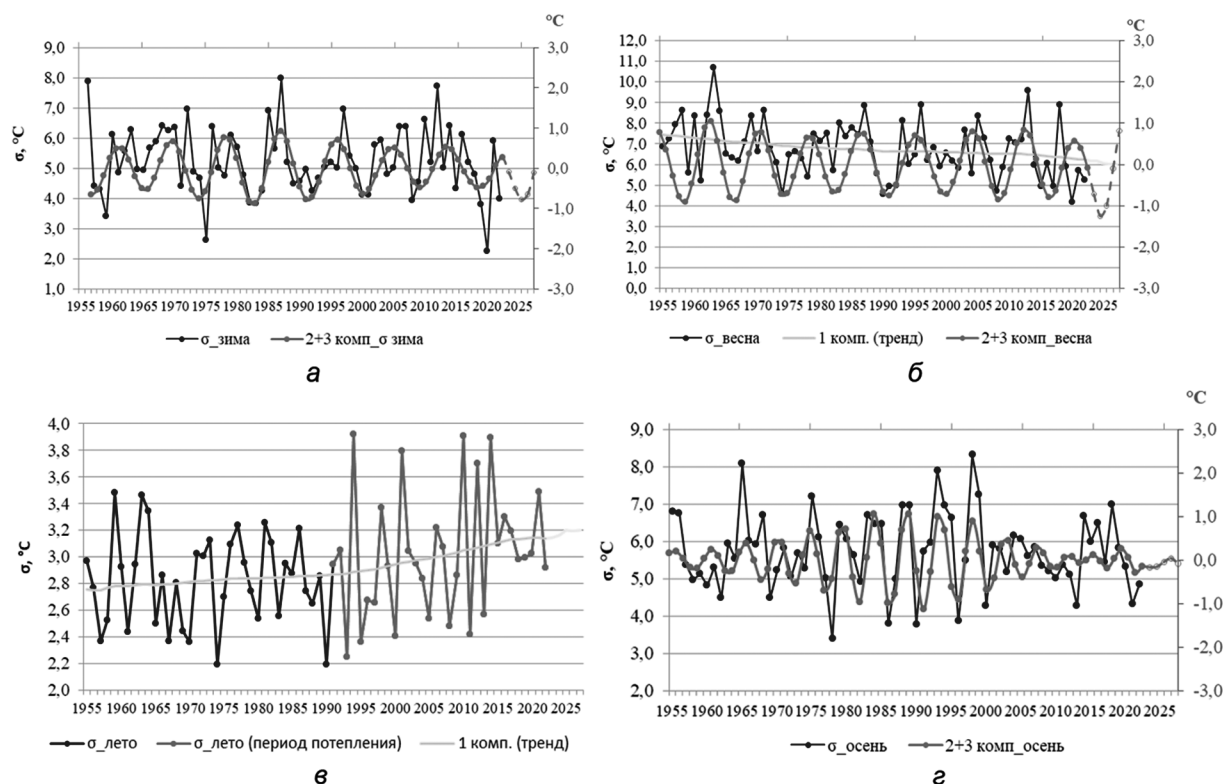


Рис. 1. Колебания СКО (σ) температуры воздуха в разные сезоны с 1955 по 2022 г.; выявленные с использованием SSA-анализа цикличность (2+3-я компоненты) внутрисезонной изменчивости температур (8,25 года зимой, 8,5 года весной, 4,53 года осенью) и тренд (1-я компонента) летом и весной

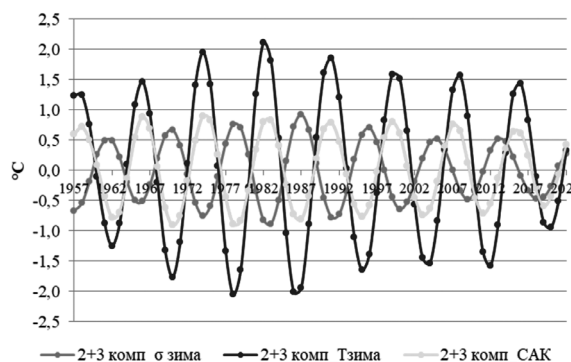


Рис. 2. Циклические колебания (2+3-я компоненты SSA-анализа) среднесуточной температуры воздуха зимой (8,25 года) и ее СКО (8,25 года), а также индекса САК (8,3 года)

Зимой отмечается увеличение изменчивости среднесуточных температур с юго-запада и запада к северу и северо-востоку Беларуси в оба рассматриваемых периода (рис. 3, а). Причем в 1991–2022 гг. величина СКО зимних температур уменьшается на всей территории и составляет 5,25–6,3 °C, тогда как в 1961–1990 гг. она изменяется от 5,7 до 6,75 °C. Так, изменчивость, которая отмечалась в первый подпериод в юго-западной половине страны, в условиях потепления характерна преимущественно для северо-восточной половины.

Для весны характерно почти меридиональное расположение изолиний и увеличение СКО среднесуточных температур с запада на восток, а также уменьшение изменчивости температуры в период потепления на всей территории Беларуси (рис. 3, б). В 1961–1990 гг. отмечены значения СКО весенней температуры в пределах ~6,75–7,8 °C, в 1991–2022 гг. – 6,3–7,2 °C. На большей части территории наблюдается изменчивость среднесуточных температур в первый период более 7,2 °C (выше, чем во второй), во второй период – 6,75 °C и менее (ниже, чем в первый).

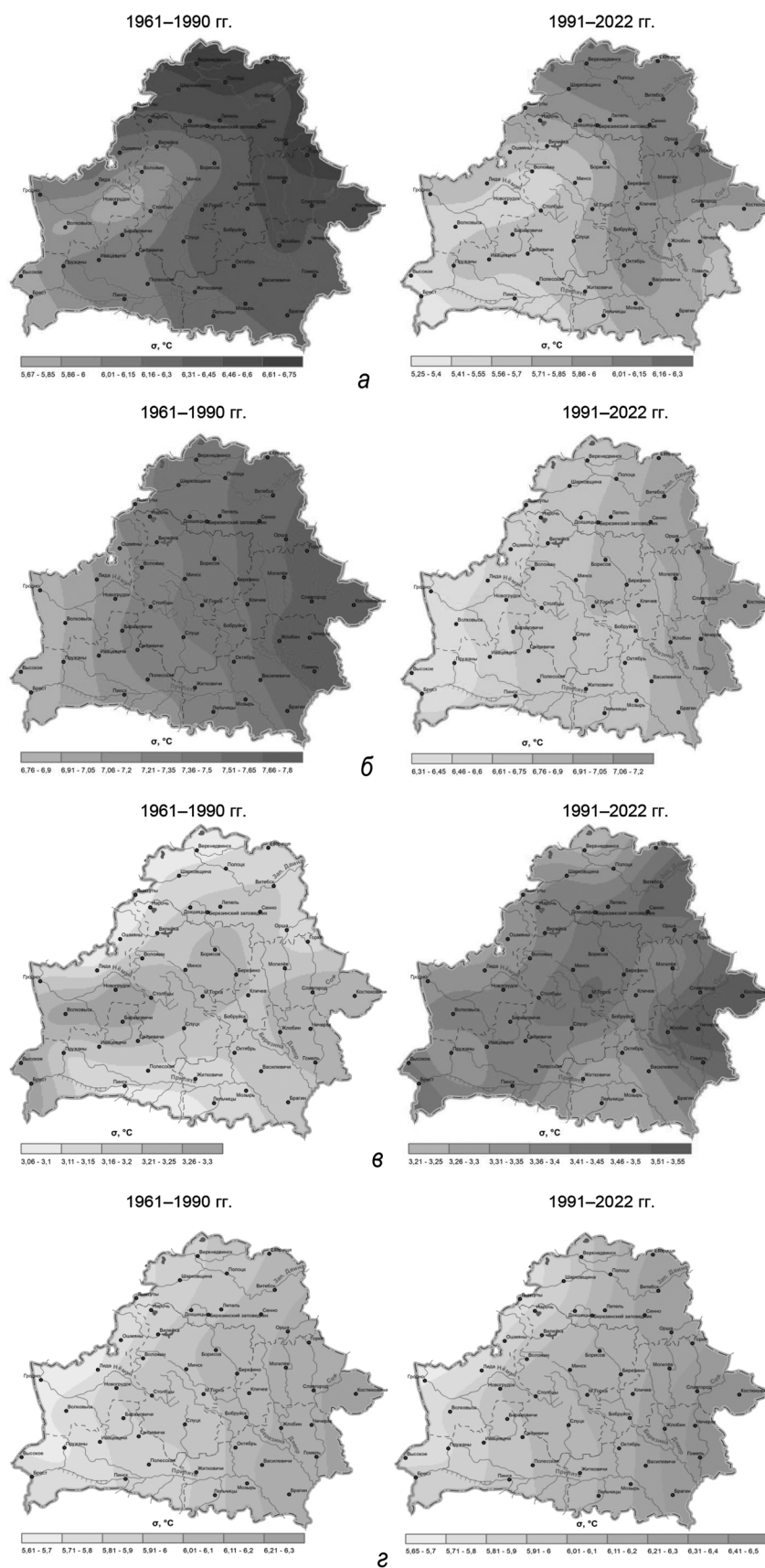


Рис. 3. Пространственные особенности внутрисезонной изменчивости температуры воздуха в Беларуси в условиях потепления климата (1991–2022 гг.) и предшествующий 30-летний период (1961–1990 гг.)

В период потепления наблюдается увеличение изменчивости температуры на территории Беларуси, наибольшие рост и значения СКО характерны для восточной, северо-восточной и центральной частей страны (рис. 3, в). Отмечается территориальная неоднородность распределения СКО летней температуры, которое составило 3,06–3,3 °С за 1961–1990 гг. и 3,2–3,55 °С в последующий период. В условиях потепления изменчивость температуры почти на всей территории, за исключением локальных участков на севере и юге, выше 3,3 °С.

Для осени характерно почти меридиональное расположение изолиний и увеличение СКО среднесуточных температур с запада на восток (рис. 3, г). В период 1991–2022 гг. отмечается почти на всей территории Беларуси увеличение изменчивости среднесуточных температур, более выраженное в восточной половине страны. В 1961–1990 гг. значения СКО изменяются от 5,6 до 6,3 °С, в последующий период такая изменчивость температуры отмечена на большей части территории, а на востоке и юго-востоке она увеличивается до 6,5 °С.

Пространственные различия значений СКО внутрисезонных температур в рассматриваемые периоды не превышают 1,0–1,1 °С зимой и весной, 0,25–0,35 °С летом и 0,7–0,85 °С осенью. Для метеостанций в зимний и весенний сезоны отмечены наиболее значительные различия СКО среднесуточных температур между анализируемыми периодами: для большинства метеостанций зимой – 0,40–0,60 °С, весной – 0,60–0,76 °С.

Для уровня значимости $\alpha = 0,05$ между рассматриваемыми периодами выявлены статистически значимые различия СКО температуры воздуха зимой, весной и летом (за исключением метеостанции Новогрудок, где различия значимы при $\alpha = 0,1$). Осенью СКО среднесуточной температуры для двух анализируемых периодов незначимо отличаются, только на единичных метеостанциях на северо-востоке и востоке Беларуси выявлены статистически значимые различия СКО при $\alpha = 0,05$ и 0,1.

Увеличение в период потепления (1991–2022 гг.) изменчивости среднесуточной температуры летом и снижение зимой подтверждается проведенными ранее исследованиями [1]. Так, в 2000–2019 гг., по сравнению с 1980–1999 гг., значительно увеличилась повторяемость волн тепла летом, их продолжительность и интенсивность. В 1991–2019 гг., по сравнению с 1961–1990 гг., увеличилось количество дней с оттепелями зимой, уменьшилось количество морозных дней в холодный период.

Распределение изолиний СКО внутрисезонной температуры может быть связано с особенностями атмосферной циркуляции на территории Беларуси: поступлением холодного арктического воздуха в северные и северо-восточные районы зимой, весной, распространение летом стационарного антициклона в восточной половине Беларуси, поступление теплых воздушных масс с запада в разные сезоны и т. д. Данный вопрос требует более детального исследования.

Заключение. Проведенный спектрально-сингулярный анализ динамики внутрисезонной изменчивости среднесуточной температуры воздуха в Беларуси за 1955–2022 гг. позволил выявить четко выраженную цикличность в многолетних колебаниях среднеквадратического отклонения среднесуточной температуры зимой (8,25 года) и весной (8,5 года). Наличие цикличности дает возможность долгосрочного прогноза характера изменчивости температур в указанные сезоны. Прогноз на 2023–2027 гг. свидетельствует об уменьшении изменчивости среднесуточной температуры зимой и весной до 2024 г. и ее последующем росте. Для весны также характерен нисходящий тренд СКО температуры, который сохранится в ближайшие 5 лет.

SSA-анализ рядов температуры воздуха зимой, как и ее СКО, для территории Беларуси показал наличие колебаний периодичностью ~8,25 года. Причем в выявленных циклах максимумы температуры зимой соответствуют минимумам ее СКО почти на всем протяжении исследуемого периода и наоборот. Между примерно 8-летними циклами температуры воздуха зимой и изменчивости среднесуточных температур в этот сезон выявлена статистически значимая корреляционная связь ($r = -0,82$).

Установлен восходящий тренд изменчивости среднесуточных температур летом, причем наибольшее увеличение показателя отмечено с 1990 г. (примерно на 0,3 °С). Для изменчивости температуры осенью выявлено колебание с периодом 4,53 года, наиболее выраженное в 1980–1990-е гг. и затухающее в последующие десятилетия.

Выявлены особенности пространственного изменения СКО среднесуточных температур в различные сезоны для периода потепления климата (1991–2022 гг.), по сравнению с предшествующим более прохладным периодом (1961–1990 гг.). В рассмотренные периоды изменчивость среднесуточных температур зимой увеличивается к северу и северо-востоку, весной и осенью – к востоку страны. Летом отмечается пространственная неоднородность значений СКО среднесуточных температур. В условиях потепления климата на всей территории Беларуси выявлено статистически значимое уменьшение изменчивости зимних и весенних температур и увеличение изменчивости летних температур по сравнению с периодом 1961–1990 гг. Отмечено также увеличение СКО среднесуточных температур осенью почти на всей территории, но оно статистически незначимо.

Список использованных источников

1. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. – Мн. : Энциклопедикс, 2020. – 264 с.

2. Лысенко, С. А. Квазипериодические компоненты температуры воздуха в Беларуси, механизмы формирования и учет в климатических проекциях на основе глобальных численных моделей CMIP6 / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 3–6.
3. Логинов, В. Ф. Причины формирования холодных и теплых зим в Европейском секторе и на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка // Гидрометеорология и образование. – 2022. – № 2. – С. 10–22.
4. Логинов, В. Ф. Анализ изменения частоты и интенсивности волн жары в Беларуси за период 1955–2021 гг. / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков // Гидрометеорология и образование. – 2022. – № 4. – С. 10–21.
5. Бровка, Ю. А. Циркуляционные условия формирования и пространственно-временное распределение атмосферных засух на территории Беларуси в период современного потепления климата / Ю. А. Бровка // Природные ресурсы. – 2024. – № 2. – С. 5–15.
6. Данилович, И. С. Повторяемость засух на территории Беларуси в связи с атмосферной циркуляцией в Атлантико-Европейском секторе / И. С. Данилович, Ю. А. Гледко, И. В. Тарасевич // Метеорология и гидрология. – 2023. – № 9. – С. 61–71.
7. Логинов, В. Ф. Сезонные особенности изменения климата Беларуси / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка // Природопользование. – 2014. – Вып. 25. – С. 16–22.
8. Naumann, G. A Study of Intraseasonal Temperature Variability in Southeastern South America / G. Naumann, W. M. Vargas // Journal of Climate. – 2012. – Vol. 25. – P. 5892–5903.
9. Fischer, E. M. Future changes in daily summer temperature variability: driving processes and role for temperature extremes / E. M. Fischer, C. Schär // Climate Dynamics. – 2009. – Vol. 33. – P. 917–935.
10. Cui, J. Intraseasonal Variability of Summertime Surface Air Temperature over mid-high-Latitude Eurasia and its prediction skill in S2S models / J. Cui, S. Yang, T. Li // Journal of Meteorological Research. – 2021. – Vol. 35. – P. 815–830.
11. The Leading Intraseasonal Variability Mode of Wintertime Surface Air Temperature over the North American Sector / W. Guan, X. Jiang, X. Ren [et al.] // Journal of Climate. – 2020. – Vol. 33. – P. 9287–9306.
12. Krauskopf, T. Trends in intraseasonal temperature variability in Europe, 1961–2018 / T. Krauskopf, R. Huth // International Journal of Climatology. – 2022. – Vol. 42. – P. 7298–7320.
13. Krauskopf, T. Trends in intraseasonal temperature variability in Europe: Comparison of station data with gridded data and reanalyses / T. Krauskopf, R. Huth // International Journal of Climatology. – 2024. – Vol. 44. – P. 3054–3074.
14. Бабина, Е. Д. Изменения интенсивности колебаний суточной температуры воздуха в диапазонах внутримесячной изменчивости на территории России в 1970–2018 гг. / Е. Д. Бабина, В. А. Семенова // Известия РАН. Серия географическая. – 2022. – Т. 86, № 4. – С. 528–546.
15. Голяндина, Н. Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов : учеб. пособие / Н. Э. Голяндина. – СПб., 2004. – 76 с.
16. Multivariate and 2D Extensions of Singular Spectrum Analysis with the Rssa Package / N. Golyandina, A. Korobeynikov, A. Shlemov, K. Usevich // Journal of Statistical Software. – 2015. – Vol. 67, № 2. – P. 1–78.
17. Статистические методы в природопользовании : учеб. пособие / В. Е. Валуев, А. А. Волчек, П. С. Пойта, П. В. Шведовский. – Брест : Брест. политехн. ин-т, 1999. – 252 с.
18. Лакин, Г. Ф. Биометрия : учеб. пособие для биол. спец. вузов – 4-е изд., перераб. и доп. / Г. Ф. Лакин. – М. : Высш. шк., 1990. – 352 с.
19. Лысенко, С. А. Пространственно-временная когерентность квазипериодических компонент метеорологических полей как основа долгосрочных прогнозов погоды / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2023. – Т. 67, № 6. – С. 499–507.

Поступила 06.02.2025