

Гидрометеорология и экология. 2023. №72. С. 420—431.

Hydrometeorology and Ecology. 2023;(72): 420—431.

Научная статья

УДК 551.524.3

doi: 10.33933/2713-3001-2023-72-420-431

Особенности межгодовой изменчивости приповерхностной температуры воздуха Северного и Южного полушарий по данным архива HadCRUT5

Светлана Владимировна Морозова, Елена Александровна Полянская, Мария Александровна Алимпиева

Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Саратов, Россия, swetwl@yandex.ru

Аннотация. На основе статистического анализа рядов аномалий приземной температуры воздуха в Северном и Южном полушариях выделены временные интервалы, характеризующиеся однонаправленной тенденцией изменения температуры — естественные климатические периоды. Показано, что время их наступления в полушариях не всегда совпадает. Также различны скорости роста/падения температуры внутри идентичных естественных климатических периодов. Изменчивость температур статистически значимо различается при переходе от одного естественного климатического периода к другому в Южном полушарии. В Северном полушарии статистическая значимость в изменчивости температур обнаружилась при переходе от первой фазы глобального потепления к периоду относительного похолодания и от периода относительного похолодания ко второй фазе глобального потепления.

Ключевые слова: глобальное потепление, средние температуры полушария, природно-климатические периоды, изменчивость температуры, фазы глобального потепления.

Для цитирования: Морозова С. В., Полянская Е. А., Алимпиева М. А. Особенности межгодовой изменчивости приповерхностной температуры воздуха Северного и Южного полушарий по данным архива HadCRUT5 // Гидрометеорология и экология. 2023. №72. С. 420—431. doi: 10.33933/2713-3001-2023-72-420-431.

Original article

Peculiarities of interannual variability of near-surface air temperature in the Northern and Southern Hemispheres according to HadCRUT5 archive data

Svetlana V. Morozova, Elena A. Polyanskaya, Maria A. Alimpieva

Saratov State University, Saratov, Russia, swetwl@yandex.ru

Summary. The article presents a statistical analysis of the series of surface temperature anomalies in the Northern and Southern hemispheres. The correlation between the temperatures of the hemispheres is

high and amounts to 0.903 ± 0.005 . The rise in temperatures in the Northern Hemisphere is greater than in the Southern Hemisphere. Temperature variability is greater in the Northern Hemisphere. In the course of near-surface air temperature, long periods are distinguished during which temperature changes are uniform. Such periods are called natural climatic periods of the state of the earth's climate system. In both hemispheres, identical natural climatic periods are distinguished. These periods are called: 1) the period before the beginning of the first phase of global warming, 2) the first phase of global warming, 3) the period of relative cooling, 4) the second phase of global warming. In the time of onset of natural climatic periods in the North and South is different. The first phase of global warming started earlier in the Northern Hemisphere, the second phase of global warming started earlier in the Southern Hemisphere. Statistical characteristics were calculated for each phase and a trend analysis was carried out. Intraperiod temperature variability showed statistical significance during the transition from one natural climatic period to another in the Northern Hemisphere. In the Southern Hemisphere, temperature variability showed statistical significance only during the transition from the period of relative cooling to the second phase of global warming. In the Northern Hemisphere, temperatures rise during all natural climatic periods except for the period of relative cooling. In the Southern Hemisphere, temperatures drop before the first phase of global warming and during a period of relative cooling. In both hemispheres, the fastest increase in temperatures is observed in the second phase of global warming. During the period of relative cooling, the temperature dropped more strongly in the Northern Hemisphere. Temperature changes in the Northern Hemisphere turned out to be statistically significant during the transition from the first phase of global warming to the period of relative cooling and from the period of relative cooling to the second phase of global warming. In the Southern Hemisphere, the differences in the means turned out to be statistically significant during the transition from one natural climatic period to another.

Keywords: global warming, average hemispheric temperatures, climatic periods, temperature variability, statistical characteristics.

For citation: Morozova S. V., Polyanskaya E. A., Alimpieva M. A. Peculiarities of interannual variability of near-surface air temperature in the Northern and Southern Hemispheres according to HadCRUT5 archive data. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2023;(72): 420—431 (In Russ). doi: 10.33933/2713-3001-2023-72-420-431.

Введение

В оценочных докладах ИРСС [1, 2], а также во многих статьях и монографиях, например в [3—5], обсуждаются закономерности о межгодовой изменчивости температуры воздуха у земной поверхности в Северном и Южном полушариях. В монографии Г. В. Груза и Э. Я. Раньковой [4] анализируются наблюдаемые изменения климата и дается оценка их ожидаемых изменений на основе анализа приземной температуры воздуха на территории России. В монографии Б. Г. Шерстюкова [5] излагаются результаты анализа изменения современного климата на основе данных о температуре воздуха по глобальной сети метеорологических станций, а также предлагается статистическая модель климата для прогноза изменения температуры на ближайшие двадцать лет.

Известно, что изменения температуры представляют собой случайные колебания с трендовой составляющей. Для наблюдающихся периодов роста и падения температуры воздуха в научной литературе закрепились определенные названия — малый ледниковый период в Европе, первая и вторая фазы (волны) глобального потепления, между которыми имел место относительно небольшой период стабилизации температуры, проявившийся как относительно похолодание [1, 2, 5, 6]. Иногда этот промежуток называется паузой в глобальном потеплении [2]. С. В. Морозова предложила называть промежутки, выделяемые по временных

аномалиям средней полушарной температуры воздуха, естественными климатическими периодами (ЕКП) состояния земной климатической системы (ЗКС) [7—9]. Таким образом, ЕКП — это довольно продолжительные по времени интервалы, в которые температура воздуха характеризуется определенной (рост, падение, практически не меняющейся) тенденцией. Для Северного полушария дается физическое и статистическое обоснование выделения естественных климатических периодов состояния ЗКС и их границ [7—9]. Отметим, что впервые термин «естественный климатический период» (ЕКП) был введен в 1994 г. в работе [10] относительно климатических изменений, выделяемых по колебаниям уровня Каспийского моря.

В настоящем исследовании ставилась задача установить, выделяются ли аналогичные естественные климатические периоды в Южном полушарии по аналогии с Северным. В связи с этим целью настоящей работы стало сравнение статистических характеристик изменения приповерхностной температуры воздуха в Северном и Южном полушариях, оценка синхронности наступления естественных климатических периодов в обоих полушариях, а также оценка скорости роста/падения температуры внутри однотипных климатических интервалов.

Материалы и методы исследования

Необходимые для исследования ряды аномалий приповерхностной температуры воздуха Северного и Южного полушарий были взяты с сайта <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> [11]. Материалы этого сайта, поддерживаемые совместно отделом климатических исследований Университета Восточной Англии и Hadley-центром, являются общепризнанными наравне с массивами Национального климатического центра США (www.cru.uea.ac.uk) и Института космических исследований США (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp>). Безусловно, данные этих центров не являются идеальными. Например, Б. Г. Шерстюковым [12] показано, что для территории России модель HadCM3 занижает температуру января и июля, причем январские температуры занижаются на 3—8 °С и более.

Основные погрешности связаны с пространственной неоднородностью данных, ошибками наблюдений, сложностями получения информации из труднодоступных районов, недостаточной разработанностью методик компиляции наземных и спутниковых данных [13—16]. В этих работах содержатся сведения о методике обработки данных в процессе создания массивов, анализируются источники неоднородности, приводятся оценки погрешностей. Например, в публикации [16] описывается способ корректировки данных модели HadCM3 на основе дисперсий и указывается, что тенденции, проявляющиеся в ходе температуры, намного превышают неопределенность, имеющуюся в массивах данных. Авторы этих и подобных публикаций утверждают, что эти массивы вполне можно использовать для исследования изменений глобального климата.

Авторами настоящей статьи использовался массив данных HadCRUT5. Он представляет собой среднемесячные аномалии приповерхностной температуры по отношению к периоду 1961—1990 гг. на регулярной сетке 5° широты и

5° долготы. В публикации [17] описывается эта версия и указывается, что по сравнению с версией HadCRUT4 улучшено качество информации о температуре воздуха над океанической поверхностью и в Арктическом бассейне. На сайте (<https://crudata.uea.ac.uk/cru/data//temperature/>) отмечается, что в построении пространственной модели данных HadCRUT5 не используются подстроечные сетки, а применяется гауссовский процесс с простой ковариационной структурой. Считается, что такой способ более продуктивен в устранении неопределенностей /погрешностей в значениях температуры, особенно над водной поверхностью.

Для временных рядов температуры рассчитывались основные статистические характеристики — средние, дисперсии, средние квадратические отклонения. К исходным рядам применялся корреляционный анализ и тренд-анализ. Для оценки статистической значимости изменений использовались критерии Стьюдента и Фишера [18—20]. Уровень значимости выбран 0,05 ($\alpha = 0,05$). Исследование выполнено только для средних годовых температур воздуха. Временной промежуток составлял 1880—2022 гг. Авторами статьи использовался не весь имеющийся на сайте [11] временной ряд температур, а только с 1880 года. Это связано с тем, что степень охвата территории данными до 1880 года составляет менее половины, после 1880 года — уже превышает 70 %.

Результаты исследования

Анализ результатов исследования начнем с оценки тесноты линейной связи между рядами аномалий приповерхностной температуры воздуха Северного и Южного полушарий. Коэффициент корреляции между этими рядами составляет $0,903 \pm 0,005$, что подтверждает тесную связь между приземными температурами воздуха полушарий.

На рис. 1 представлено изменение годовых аномалий приповерхностной температуры воздуха Северного и Южного полушарий, их скользящие 11-летние средние и аппроксимация этих изменений линейным трендом.

Как видно из рис. 1, средние полушарные температуры растут, причем скорость их роста в Северном полушарии несколько выше, чем в Южном полушарии. Величины трендов равны $0,006$ °C/год в Северном полушарии и $0,005$ °C/год в Южном. В Северном полушарии ошибка модели $0,847$ °C, $R^2 = 0,740$; в Южном полушарии — $0,575$ °C, $R^2 = 0,806$. В ходе температуры воздуха выделяются довольно продолжительные периоды, в течение которых изменения температуры являются относительно однородными. Причем эти периоды проявляются почти синхронно в обоих полушариях. Синхронность изменений, вполне возможно, может быть связана с каким-то фактором (факторами), влияющим однонаправленно на температуру полушарий и, следовательно, глобальную температуру. Можно предположить, что этот фактор (факторы) имеет естественную природу. Заметим, что сведения о естественной природе колебаний температуры содержатся во многих публикациях, например, в [21—24].

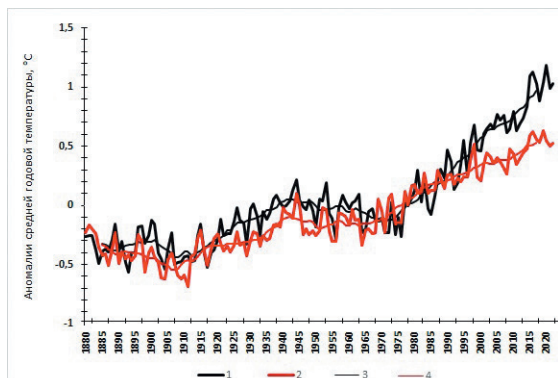


Рис. 1. Временной ход годовых аномалий приповерхностной температуры воздуха Северного (1) и Южного (2) полушарий, построенный по данным архива HadCRUT5 [11]. Жирными линиями показаны 11-летние скользящие средние для СП (3) и ЮП (4).

Fig. 1. Time course of surface air temperature anomalies in the Northern (1) and Southern (2) hemispheres, built according to the HadCRUT5 archive data [11]. Bold lines show 11-year moving averages for NH (3) and SH (4).

Как и следовало ожидать, изменчивость температур в Северном полушарии существенно выше, чем в Южном. Дисперсии температур равны соответственно $0,148\text{ }^{\circ}\text{C}^2$ и $0,095\text{ }^{\circ}\text{C}^2$. Сравнение дисперсий температур полушарий с помощью критерия Фишера показало статистическую значимость ($F_{\phi} > F_{\text{кр}}$) различий в изменчивости температур воздуха полушарий. Выявленные отличия объясняются, очевидно, свойствами подстилающей поверхности, а именно различием доли материков и океанов в них.

Отметим, что на рис. 1 можно проследить увеличивающиеся со временем различия значений приповерхностных температур воздуха в Северном и Южном полушариях. В начале исследуемого периода, примерно до середины нулевых годов XX века, разница между температурами полушарий была гораздо меньше, чем в конце рассматриваемого временного промежутка. Различие между температурами полушарий наиболее сильно возрастает с середины 90-х годов XX века. В данный период более высокая скорость роста температуры Северного полушария в определенной степени может быть связана с неоднородностью исходных данных, являющейся следствием расположения большинства метеостанций в промышленных районах с наибольшей плотностью искусственно вырабатываемой энергии. Тепловые купола над промышленными районами способствуют завышению приземных температур воздуха. Другим возможным фактором более высокой скорости роста температуры в Северном полушарии является процесс потепления Арктики [10, 25—27], оценки которого в связи с более полным освещением спутниковыми данными ее безлюдных территорий стали надежными [17].

В табл. 1 приведены оценки трендов средних годовых приземных температур воздуха Северного и Южного полушарий.

Таблица 1

Оценка линейных трендов для Северного и Южного полушарий с 1880—2022 гг.
Assessing the Significance of linear trends for the Northern and Southern Hemispheres
from 1880—2022

Полушарие	Коэффициенты модели		Коэффициент детерминации	Ошибка модели, °C
	a , °C/год	b , °C		
Северное	0,009	–0,560	0,860	0,847
Южное	0,007	0,900	0,806	0,575

Примечание: коэффициенты модели a и b в табл. 1 являются параметрами линейного уравнения $y = ax + b$.

Как видно из табл. 1, степень соответствия линейной модели реальному процессу в Северном полушарии составляет 86 %, в Южном — 81 %. Ошибка модели составляет 0,85 °C в Северном полушарии и 0,58 °C в Южном.

Авторами статьи выделены следующие естественные климатические периоды в ходе приповерхностной температуры воздуха Северного полушария:

- 1) период между окончанием ледникового периода в начале XIX века и началом развития первой волны глобального потепления — 1880—1903 гг.;
- 2) первая фаза глобального потепления — 1904—1945 гг.;
- 3) фаза относительного похолодания — 1946—1975 гг.;
- 4) вторая фаза глобального потепления — 1976—2022 гг.

Южного полушария:

- 1) период перед началом развития первой волны глобального потепления — 1880—1911 гг.;
- 2) первая фаза глобального потепления — 1912—1943 гг.;
- 3) фаза относительного похолодания — 1944—1964 гг.;
- 4) вторая фаза глобального потепления — 1965—2022 гг.

Укажем, что подобные периоды выделялись разными авторами и ранее. Например, В. Н. Малинин и С. М. Гордеева [28] выделили два идентичных интервала потепления для Северного и Южного полушарий: 1880—1940 гг. и с 1976 г., которые разделены периодом относительного похолодания (1941—1975 гг.), более выраженного в Северном полушарии. Г. В. Груза и Э. Я. Ранькова [4] выделили в глобальном потеплении три интервала — потепление 1910—1945 гг., слабое похолодание 1946—1975 гг. и наиболее интенсивное потепление после 1976 года. Б. Г. Шерстюков [5] также указывает, что глобальное потепление имеет две фазы: первая — с 1910 по 1945 гг., вторая — с середины 70-х годов XX века, что соответствует Заявлению ВМО о состоянии глобального климата (http://www.wmo.ch/web/wcp_prog/htm).

Авторы настоящей статьи в выделении ЕКП придерживались дат, приведенных в работах [4, 5], и «привязывания» к экстремумам во временном ходе параметра, выделяемых графически в соответствии с рекомендациями [29]. На рис. 2 и рис. 3 представлены изменения приповерхностных температур воздуха Северного и Южного полушарий для естественных климатических периодов состояния земной климатической системы. В Северном полушарии (рис. 2) температуры росли

в первую и вторую фазы глобального потепления, понижались в период относительного похолодания. Их слабый рост отмечался и перед развитием первой фазы глобального потепления. Отметим, что скорость роста температур во вторую фазу глобального потепления была почти в полтора раза больше, чем в первую.

В Южном полушарии (рис. 3) угловые коэффициенты трендов от одного ЕКП к другому меняют знак. Температуры понижались перед началом развития первой фазы глобального потепления и в период относительного похолодания, в первую и вторую фазы потепления температуры росли. Как и в Северном полушарии скорость роста температур во вторую фазу потепления также выше, чем в первую.

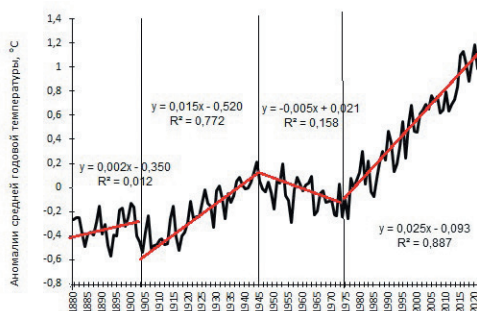


Рис. 2. Изменение средних годовых аномалий приземной температуры воздуха в Северном полушарии для естественных климатических периодов (по данным архива HadCRUT5 [11]).

Fig. 2. Change in the average annual anomalies of surface air temperature for the Northern Hemisphere, divided into natural climatic periods (according to the HadCRUT5 archive data [11]).

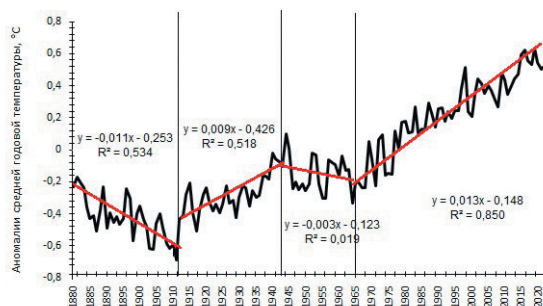


Рис. 3. Изменение средних годовых аномалий приземной температуры воздуха в Южном полушарии для естественных климатических периодов (по данным архива HadCRUT5 [11]).

Fig. 3. Change in the average annual anomalies of the surface air temperature for the Southern Hemisphere, divided into natural climatic periods of the state of the ECS (built according to the HadCRUT5 archive data [11]).

Самая высокая скорость роста температуры в обоих полушариях отмечается во вторую фазу глобального потепления. Укажем, что первая фаза глобального потепления начала развиваться в Северном полушарии раньше, чем в Южном. Вторая фаза глобального потепления, наоборот, примерно на десятилетие раньше начала развиваться в Южном полушарии.

В табл. 2 приведены статистические оценки изменения температуры воздуха полушарий для ЕКП состояния земной климатической системы.

Таблица 2

Статистические характеристики
приповерхностной температуры воздуха для отдельных ЕКП
Statistical characteristics of near-surface air temperature for individual NCP

Полушарие	Период, гг.	X_{cp} , °C	A , °C	σ , °C	As	Ex	Доверительные интервалы X_{cp} , °C
Северное	1880—1903	−0,33	0,98	0,12	−0,02	−1,15	[−0,39; −0,27]
	1904—1945	−0,20	0,69	0,19	−0,01	−1,15	[−0,28; −0,16]
	1946—1975	−0,06	0,94	0,12	−0,17	−0,49	[−0,11; −0,01]
	1976—2022	0,51	0,48	0,36	−0,03	−0,86	[0,40; 0,62]
Южное	1880—1911	−0,43	0,25	0,13	0,09	−0,58	[−0,47; −0,39]
	1912—1943	−0,28	0,37	0,11	0,41	−0,18	[−0,34; −0,22]
	1944—1964	0,13	0,43	0,12	0,04	−1,15	[−0,20; −0,10]
	1965—2022	0,23	0,49	0,24	−0,40	−0,55	[0,26; 0,37]

Примечание: A — амплитуда, σ — среднее квадратическое отклонение, As — коэффициент асимметрии, Ex — коэффициент эксцесса.

Как видно из табл. 2, наибольший размах колебаний температуры наблюдается в Северном полушарии. В Южном полушарии размах колебаний увеличивается от периода к периоду. В Северном полушарии такой закономерности не обнаруживается. Статистически значимые изменения средних от одного ЕКП к другому подтверждается доверительными интервалами.

Тестирование внутрипериодных дисперсий с помощью критерия Фишера показало статистическую значимость изменений в Северном полушарии при переходе от одного ЕКП к другому. Для Южного полушария получено, что статистически значимое расхождение между дисперсиями имеет место только при переходе от периода относительного похолодания (пауза) ко второй фазе глобального.

Заключение

В результате выполненного исследования можно сформулировать следующие выводы.

1. В Северном и Южном полушариях выделяются аналогичные естественные климатические периоды состояния земной климатической системы, но их проявления имеют свои особенности в каждом из полушарий.

2. Время наступления идентичных естественных климатических периодов в Северном и Южном полушариях не всегда совпадает. Первая фаза глобального

потепления в Северном полушарии начала развиваться раньше, чем в Южном. Вторая фаза потепления начала развиваться раньше в Южном полушарии, чем в Северном.

3. Наибольшая скорость роста температур и в Северном, и в Южном полушариях характерна для второй фазы глобального потепления.

4. В период относительного похолодания температура Северного полушария понижалась быстрее, чем в Южном.

5. Выявлены статистически значимые различия средних температур Северного и Южного полушарий при переходе от одного естественного климатического периода к другому.

Список литературы

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2022. 676 с.
2. IPCC 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 3056 p. doi: 10.1017/9781009325844.
3. Переведенцев Ю. П. Теория Климата. Казань: Казанский государственный университет, 2009. 504 с.
4. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. 194 с.
5. Шерстюков Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск: Изд-во ВНИИГМИ-МЦД, 2008. 246 с.
6. Морозова С. В. Вопросы изменения климата. Саратов: изд-во Саратовского университета, 2011. 98 с.
7. Морозова С. В. Роль планетарных объектов циркуляции в глобальных климатических процессах. Саратов: изд-во Саратовского университета, 2019. 132 с.
8. Морозова С. В., Полянская Е. А., Алимпиева М. А. Особенности проявления глобальных климатических тенденций на юго-востоке Русской равнины // Гидрометеорология и образование. 2021. № 4. С. 20—30.
9. Morozova S. V., Polyanskaya E. A., Kononova N. K. et al. Peculiarities of the global climate tendencies in the south-east Russian plains / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Volume 381. <https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/381/1>.
10. Малинин В. Н. Проблема прогноза уровня Каспийского моря. СПб.: РГГМИ, 1994. 160 с.
11. Ряды аномалий приповерхностной температуры воздуха [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> (дата обращения: 20.02.2023).
12. Шерстюков Б. Г. Оценка точности физико-математических моделей ECHAM4, HadCM3 и CGCM2 по данным на территории России // Труды ГУ ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 175. С. 3—19.
13. Hansen J, Ruedy R, Sato M, and Lo K. Global surface temperature change // Rev. Geophys., 2010. 48. RG4004. P. 1-29. doi:10.1029/2010RG000345.
14. Jones P. D., Lister D. H., Osborn T. J., Harpham C., et al. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010 // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2012. V. 117. Issue D5. doi: 10.1029/97RG02282.
15. Rahmstorf S., Foster G., Cahill N. Global temperature evolution: recent trends and some pitfalls // Environmental Research Letters. 2017. V. 12. No 5. P. 054001. doi 10.1088/1748-9326.
16. Brohan P., Kennedy J.J., I. Harris I. et al. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850 // Journal of Geophysical research. 2006. V. 111. D12106. doi:10.1029/2005JD006548.

17. Morice P., Colin P., John J. Kennedy, et al. An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 data set // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2021. V. 126. No 3. doi: 10.1029/2019JD032361.
18. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2007. 279 с.
19. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1972. 368 с.
20. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Издание 2, испр. и доп. СПб.: РГГМУ, 2020. 424 с.
21. Логинов В. Ф., Микуцки В. С., Бровка Ю. А. Изменение скорости современного потепления климата в различные месяцы года и их возможные причины // *Гидрометеорология и образование*. 2023. № 1. С. 6—42.
22. Малинин В. Н., Гордеева С. М., Наумов Л. М. Влагосодержание атмосферы как климатообразующий фактор // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2018. Т. 15. № 3. С. 243—351.
23. Шерстюков Б. Г. Колебательная система климата, резонансы, дальние связи, прогнозы. Обнинск.: Изд-во ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2021. 222 с.
24. Шерстюков Б. Г. Глобальное потепление и его возможные причины // *Гидрометеорология и экология*. 2023. № 70. С. 7—37. doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-7-37.
25. Иванов В. В. Современные изменения гидрометеорологических условий в Северном Ледовитом океане, связанные с сокращением морского ледяного покрова // *Гидрометеорология и экология*. 2021. № 64. С. 407—434. doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-407-434.
26. Алексеев Г. В. Потепление климата Арктики: расхождения между глобальными моделями климата и наблюдениями и возможные причины // *Гидрометеорология и экология*. 2023. № 71. С. 207—230. doi: 10.33933/2713-3001-2023-71-207-230.
27. Малинин В. Н., Вайновский П. А. К сравнению характеристик межгодовой изменчивости площади морского льда Северного и Южного полушарий // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2019. № 57. С. 77—90. doi: 10.33933/2074-2762-2019-57-77-90.
28. Малинин В. Н., Гордеева С. М. О современных изменениях глобальной температуры воздуха // *Общество. Среда. Развитие*. 2011. № 2. С. 215—221.

References

1. Tretiy otsenochnyy доклад ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. = Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Moscow: Rosgidromet, 2022: 676 p. (In Russ.).
2. IPCC 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, Cambridge, 2022: 3056 p. doi: 10.1017/9781009325844.
3. Perevedentsev Yu. P. *Teoriya Klimata = Climate Theory*. Kazan': Kazanskiy gosudarstvennyy universitet, 2009: 504 p. (In Russ.).
4. Gruza G. V., Ran'kova E. YA. *Nablyudayemyye i ozhidayemyye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozdukhа = Observed and expected climate changes in Russia: air temperature*. Obninsk: FGBU «VNIIGMI-MTSD», 2012: 194 p. (In Russ.).
5. Sherstyukov B. G. *Regional'nyye i sezonnyye zakonomernosti izmeneniy sovremennogo klimata = Regional and seasonal patterns of modern climate change*. Obninsk, Izd-vo VNIIGMI-MTSD, 2008: 246 p. (In Russ.).
6. Morozova S. V. *Voprosy izmeneniya klimata = Climate change issues*. Saratov: izd-vo Saratovskogo universiteta, 2011: 98 p. (In Russ.).
7. Morozova S. V. *Rol' planetarnykh ob'yektov tsirkulyatsii v global'nykh klimaticheskikh protsessakh = The role of planetary circulation objects in global climatic processes*. Saratov: izd-vo Saratovskogo universiteta, 2019: 132 p. (In Russ.).

8. Morozova S. V., Polyanskaya E. A., Alimpieva M. A. Features of the manifestation of global climatic trends in the southeast of the Russian Plain. *Gidrometeorologiya i obrazovaniye = Hydrometeorology and Education*. 2021;(4):(20—30). (In Russ.).
9. Morozova S. V., Polyanskaya E. A., Kononova N. K. et al. Peculiarities of the global climate tendencies in the south-east Russian plains / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Volume 381. <https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/381/1>.
10. Malinin V. N. *Problema prognoza urovnya Kaspiyskogo moray = The problem of forecasting the level of the Caspian Sea*. St. Petersburg: RGGMI, 1994: 160 p. (In Russ.).
11. Ryady anomalii pri poverkhnostnoy temperatury vozdukha. Available at: <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/temperature/> (accessed on: 20.02.2023).
12. Sherstyukov B. G. Otsenka tochnosti fiziko-matematicheskikh modeley ECHAM4, HadCM3 i CGCM2 po dannym na territorii Rossii // *Trudy GU VNIIGMI-MTSD = Proceedings of VNIIGMI-WDC*. 2010;(175):(3—19). (In Russ.).
13. Hansen J., Ruedy R., Sato M., and Lo K. *Global surface temperature change*. *Rev. Geophys.*, 2010. 48(RG4004). doi:10.1029/2010RG000345
14. Jones P. D., Lister D. H. Osborn T. J., Harpham C. et al. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2012. 117(D5). doi: 10.1029/97RG02282.
15. Rahmstorf S., Foster G., Cahill N. Global temperature evolution: recent trends and some pitfalls. *Environmental Research Letters*, 2017. 12(5): 054001. doi 10.1088/1748-9326.
16. Brohan P., Kennedy J. J., Harris I. et al. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new data set from 1850. *Journal of Geophysical research*, 2006. 111(D12106). doi:10.1029/2005JD006548
17. Morice P., Colin P., John J. Kennedy, et al. An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 data set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2021. 126, 3. doi: 10.1029/2019JD032361.
18. Sikan A. V. *Metody statisticheskoy obrabotki gidrometeorologicheskoy informatsii = Methods of statistical processing of hydrometeorological information*. St. Petersburg: RGGMU, 2007: 279 p. (In Russ.).
19. Gmurman V. Ye. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika = Probability Theory and Mathematical Statistics*. Moscow: Vysshaya shkola, 1972: 368 p. (In Russ.).
20. Malinin V. N. *Statisticheskiye metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii = Statistical Methods for Analyzing Hydrometeorological Information*. 2nd edition, revised and expanded. St. Petersburg: RGGMU, 2020: 424 p. (In Russ.).
21. Loginov V. F., Mikutsky V. S., Brovka Yu. A. Changes in the rate of modern climate warming in different months of the year and their possible causes. *Gidrometeorologiya i obrazovaniye = Hydrometeorology and education*. 2023; (1):(6—42). (In Russ.).
22. Malinin V. N., Gordeeva S. M., Naumov L. M. Moisture content of the atmosphere as a climate-forming factor. *Sovremennyye problemy dstantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmos = Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2018; 15(3):(243—351). (In Russ.).
23. Sherstyukov B. G. *Kolebatel'naya sistema klimata, rezonansy, dal'niye svyazi, prognozy = Vibrational climate system, resonances, long-distance communications, forecasts*. Obninsk: Izd-vo VNIIGMI-MTSD, 2021: 222 p. (In Russ.).
24. Sherstyukov B. G. Global warming and its possible causes. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2023; (70):(7—37). doi: 10.33933/2713-3001-2023-70-7-37. (In Russ.).
25. Ivanov V. V. Sovremennyye izmeneniya gidrometeorologicheskikh usloviy v Severnom Ledovitom okeane, svyazannykh s boleznyami morskogo ledyanogo pokrova. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2021; (64):(407—434). doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-407-434. (In Russ.).
26. Alekseev G. V. Climate warming in the Arctic: discrepancies between global climate emissions and observations and possible causes. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and ecology*. 2023; (71):(207—230). doi: 1033933/2713-3001-2023-71-207-230. (In Russ.).
27. Malinin V. N., Vainovsky P. A. On the comparison of the characteristics of the interannual variability of the area of sea ice in the Northern and Southern Hemispheres. *Uchenyye zapiski Rossiyskogo*

gos. gidrometeorolog. un-ta = Proceedings of the Russian state hydrometeorological university. 2019; (57):(77—90). doi: 10.33933/2074-2762-2019-57-77-90. (In Russ.).

28. Malinin V. N., Gordeeva S. M. About modern changes in global air temperature. *Obshchestvo. Sreda. Razvitiye = Society. Wednesday. Development.* 2011; (2):(215—221). (In Russ.).

Информация об авторах

Светлана Владимировна Морозова, кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии и климатологии, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского», swetwl@yandex.ru.

Елена Александровна Полянская, кандидат географических наук, профессор кафедры метеорологии и климатологии, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского», kafmeteo@mail.ru.

Мария Александровна Алимпиева, ассистент кафедры метеорологии и климатологии, ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского», alimpiewa@rambler.ru.

Information about authors

Swetlana V. Morozova, Cand. Sc. (Geogr.), associate professor of the meteorology and climatology, Saratov State University, Saratov, swetwl@yandex.ru.

Elena A. Polyanskaya, Cand. Sc. (Geogr.), professor of the meteorology and climatology, Saratov State University, Saratov, kafmeteo@mail.ru.

Maria A. Alimpieva, assistant of the meteorology and climatology, Saratov State University, Saratov, alimpiewa@rambler.ru.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 23.04.2023

Принята к печати после доработки 11.08.2023

The article was received on 23.04.2023

The article was accepted after revision on 11.08.2023