



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 2. С. 87–92  
*Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 2, pp. 87–92  
<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-2-87-92>, EDN: HHCZEB

Научная статья  
УДК 551.581+551.509.3



## Оценка статистической значимости изменений температуры воздуха Северного полушария статистическими методами

С. В. Морозова<sup>✉</sup>, Ек. С. Диянова, Ел. С. Диянова, В. Д. Никишова, Ю. Ю. Котова, Е. Ю. Попкова

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Морозова Светлана Владимировна, кандидат географических наук, доцент, [swetwl@yandex.ru](mailto:swetwl@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5216-976X>

Диянова Екатерина Сергеевна, магистр 1-го года обучения, [lzdianova@gmail.com](mailto:lzdianova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4713-8587>

Диянова Елизавета Сергеевна, магистр 1-го года обучения, [lzdianova@gmail.com](mailto:lzdianova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2376-7418>

Никишова Валерия Дмитриевна, магистр 1-го года обучения, [Nikishova.V@yandex.ru](mailto:Nikishova.V@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5851-6603>

Котова Юлия Юрьевна, магистр 1-го года обучения, [nesterovaj2000@gmail.ru](mailto:nesterovaj2000@gmail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2190-3025>

Попкова Екатерина Юрьевна, магистр 1-го года обучения, [kropkova27@gmail.ru](mailto:kropkova27@gmail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8314-9673>

**Аннотация.** Приводится анализ изменений приповерхностной температуры воздуха Северного полушария. Для выявления годов, в которых происходило нарушение однородности ряда, применялся метод ступенчатого тренда с использованием статистики Колмогорова. Показано, что выявленные однородные климатические интервалы в основном соответствуют естественным климатическим периодам состояния земной климатической системы. Оценка значимости изменений температуры на однородных климатических участках проводилась методом доверительных интервалов с применением критерия Стьюдента. На основе подтвержденной статистической значимости делается вывод о климатической важности изменений приземной температуры воздуха Северного полушария.

**Ключевые слова:** климатические изменения, статистические оценки, изменения приземной температуры воздуха Северного полушария

**Для цитирования:** Морозова С. В., Диянова Ек. С., Диянова Ел. С., Никишова В. Д., Котова Ю. Ю., Попкова Е. Ю. Оценка статистической значимости изменений температуры воздуха Северного полушария статистическими методами // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2023. Т. 23, вып. 2. С. 87–92. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-2-87-92>, EDN: HHCZEB

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Evaluating the statistical significance of air temperature changes in the Northern hemisphere by statistical methods

S. V. Morozova<sup>✉</sup>, Ek. S. Diyanova, El. S. Diyanova, V. D. Nikishova, Yu. Yu. Kotova, E. Yu. Popkova

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Svetlana V. Morozova, [swetwl@yandex.ru](mailto:swetwl@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5216-976X>

Ekaterina S. Diyanova, [lzdianova@gmail.com](mailto:lzdianova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4713-8587>

Elisaveta S. Diyanova, [lzdianova@gmail.com](mailto:lzdianova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-2376-7418>

Valeria D. Nikishova, [Nikishova.V@yandex.ru](mailto:Nikishova.V@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5851-6603>

Yulia Yu. Kotova, [nesterovaj2000@gmail.ru](mailto:nesterovaj2000@gmail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2190-3025>

Ekaterina Yu. Popkova, [kropkova27@gmail.ru](mailto:kropkova27@gmail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8314-9673>

**Abstract.** The analysis of changes in the near-surface air temperature of the Northern Hemisphere is given. To identify years in which there was a violation of the series homogeneity, the stepwise trend method was applied using Kolmogorov statistics. It is shown that the identified homogeneous climatic intervals basically correspond to the natural climatic periods of the state of the Earth's climate system. The assessment of the significance of temperature changes in homogeneous climatic areas was carried out by the method of confidence intervals using Student's t-test. Based on the confirmed statistical significance, the conclusion is made about the climatic significance of changes in the surface air temperature of the Northern Hemisphere.

**Keywords:** climate change, statistical estimates, surface air temperature changes in the Northern Hemisphere

**For citation:** Morozova S. V., Diyanova Ek. S., Diyanova El. S., Nikishova V. D., Kotova Yu. Yu., Popkova E. Yu. Evaluating the statistical significance of air temperature changes in the Northern hemisphere by statistical methods. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2023, vol. 23, iss. 2, pp. 87–92 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2023-23-2-87-92>, EDN: HHCZEB

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC0-BY 4.0)

**Ведение**

Современные изменения приповерхностной температуры воздуха в целом по земному шару и в каждом из полушарий показывает ее прогрессивный рост. Графики изменения приповерхностной температуры воздуха регулярно публикуются в Оценочных докладах ИРСС, в Оценочных докладах Росгидромета [1–4]. Прогрессивный рост приземной температуры воздуха фиксируется с конца XIX века, однако на фоне ее роста имеются интервалы, в которых среднеглобальная температура земного шара и полушарий либо не изменяется, либо даже обнаруживает тенденцию к понижению. Наиболее известные из них – период стабилизации в 50–60-х гг. XX века, приостановка потепления в нулевых годах XXI века. В научной литературе для них закрепились определенные названия – малый ледниковый период в Европе, первая волна глобального потепления, период стабилизации, вторая волна глобального потепления [1, 5, 6].

Интересно выявить границы климатических интервалов, в которых температура воздуха показывает однонаправленную тенденцию изменения, и оценить статистическую и климатическую значимость изменений приповерхностной температуры воздуха Северного полушария.

Считаем, что исследования климатических изменений целесообразнее проводить не по стандартным климатическим промежуткам (десяти-, тридцатилетиям и т. п.), а с привязкой к циклическим климатическим изменениям. Безусловно, циклическость изменений температуры обуслована с действием природных факторов. На интервалах времени масштабов нескольких десятилетий главным фактором климатической изменчивости является общая циркуляция атмосферы. Надежные пространственные данные о режиме общей циркуляции атмосферы имеются с 1949 г., поэтому целью настоящей статьи стала оценка значимости изменений приповерхностной температуры воздуха Северного полушария с 1949 по 2021 г. различными статистическими методами.

**Исходные данные. Методика исследования**

Исходными материалами для выполнения исследования послужили данные об аномалиях приповерхностных средних месячных и годовых температур воздуха Северного полушария [7]. Выбранный для исследования временной интервал (с 1949 по 2021 г.) охватывает два естественных климатических периода состояния земной климатической системы (ЗКС) – период стабилизации и вторую волну глобального потепления. Термин «естественный климатический период» был введен С. В. Морозовой [8–11].

Исследования проводились для средних годовых значений температуры и температур центральных месяцев основных и переходных сезонов года – января, апреля, июля и октября. Для достижения поставленной цели к исходным временным рядам применялись разные статистические методы: тренд-анализ (линейный и ступенчатый), скользящее осреднение, а также рассчитывались некоторые статистические показатели – стандартные статистические моменты (среднее значение, дисперсия, среднеквадратическое отклонение) [12–14]. Объективность статистических расчетов и климатических обоснований проверялась с помощью статистики Колмогорова, критериев Стьюдента и Фишера. [15–16].

**Результаты и их обсуждение**

С помощью линейного тренда оценена скорость роста температуры воздуха Северного полушария в период с 1949 по 2021 г., охватывающий два естественных климатических периода состояния ЗКС – период стабилизации и вторую волну глобального потепления. Статистические характеристики изменения температуры за этот интервал приведены в табл. 1.

Согласно данным, приведенным в табл. 1, самые большие средние аномалии температуры воздуха Северного полушария оказались в январе, что подтверждается самой большой скоростью ее роста в этом месяце ( $\alpha = 0,0355$ ). Самый слабый рост и, соответственно, самые малые аномалии температуры воздуха характерны для лета. Средние аномалии температуры в переходные

Таблица 1

**Статистические характеристики изменения средней приповерхностной температуры воздуха Северного полушария с 1949 по 2021 г.**

Месяц	Статистические характеристики			Год нарушения однородности
	$\bar{X}$	$\alpha$	$\sigma^2$	
Январь	0,59	0,0355	0,054	1978
Апрель	0,33	0,0193	0,171	1988
Июль	0,28	0,0166	0,119	1986
Октябрь	0,32	0,0202	0,152	1976
Среднее многолетнее	0,31	0,0018	0,140	1978



сезоны года оказались примерно одинаковыми. Следует отметить интересный факт: скорость роста температуры на исследуемом временном промежутке в октябре оказалась выше, чем в апреле (0,0202 и 0,0193 соответственно).

Кроме того, дисперсия оказывается самой большой в переходные сезоны года, а самой малой – зимой (январь). Данный факт сам по себе интересен тем, что наибольшая изменчивость погодно-климатического режима, а следовательно, и температур, характерны для зимы. Полученный авторами результат, выходящий за «климатические правила», объясняется, по видимому, тем, что анализ проводился для средней глобальной температуры всего Северного полушария, включая и Арктический регион, и тропическую зону. Сформулированное «климатическое правило» о наибольшей изменчивости температурного режима зимой характерно только для умеренных широт.

Поскольку выбранный временной интервал включает в себя два естественных климатических периода состояния земной климатической системы, то важным представляется вопрос об объективном выделении границы между этими периодами. Как указывалось ранее, данная задача решалась статистическими приемами – методом ступенчатого тренда и методом доверительных интервалов.

С применением методики ступенчатого тренда и статистики Колмогорова в каждом временном ряду выявлялись годы нарушения однородности ряда. Для годовых значений это 1964 и 1978 гг.; для января – 1978 и 1995 гг.; для апреля – 1955 и 1988 гг.; для июля – 1964, 1977, 1985, 1988, 1997, 2002 и 2015 гг.; и для октября – 1954, 1962, 1964, 1967, 1971, 1973, 1976, 1978, 1983, 1986 и 1989 гг. Укажем, что из всех этих лет выбирался только один, в котором наблюдалось самое большое колебание уровня ряда. Именно этот год и помещался в табл. 1 как год нарушения статистической однородности. Укажем, что, согласно методике, год нарушения однородности считается годом начала нового стационарного участка [12, 13].

Известно, что статистические методы в применении к природным процессам имеют определенную долю условности. Интересно оценить визуально корректность статистического выделения года нарушения однородности ряда. Для этого рассмотрим графики изменения аномалий приповерхностной температуры воздуха Северного полушария.

Ход аномалии годовой температуры Северного полушария представлен на рис. 1. Видно, что изгиб в ходе температурной кривой приходится на начало 70-х годов XX века. Статистически выявленным годом нарушения однородности стал 1978 год (см. табл. 1) Таким образом, статистически выделенный год нарушения однородности отличается от визуальной оценки.

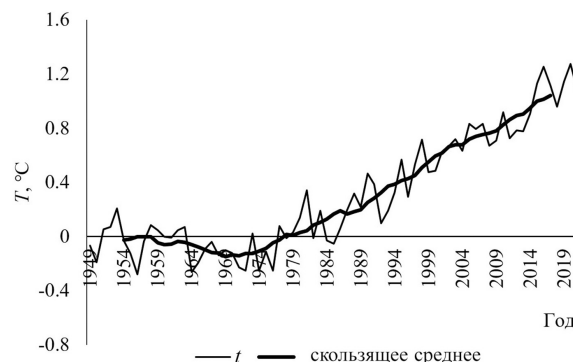
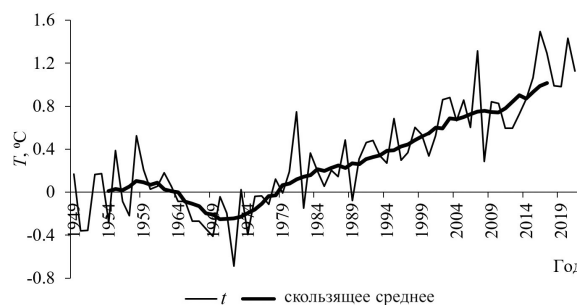
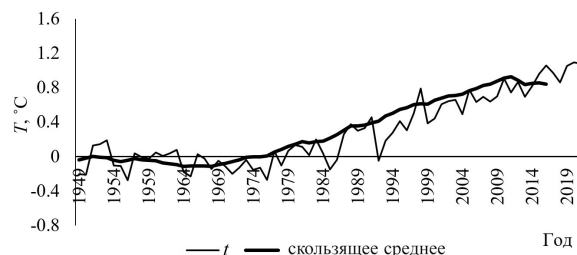


Рис. 1. Ход аномалии годовой температуры ( $t$ ) Северного полушария, °С, по: [7]. Жирной линией показано 11-летнее скользящее среднее

Аналогично оценим корректность статистического выделения года нарушения однородности для временных рядов анализируемых месяцев. Анализ графиков температур января и июля также показал несоответствие выявляемого графически и статистически года нарушения однородности. Согласно визуальной оценке (рис. 2, а, б), изгиб в ходе кривой аномалии температуры приходится в обоих этих месяцах на конец 60-х гг. XX века. По методике ступенчатого тренда годы нарушения однородности тоже оказались существенно сдвинуты. Так, для января сдвиг составил примерно одно десятилетие, а для июля – около двух десятилетий.



а



б

Рис. 2. Ход аномалии средней месячной температуры ( $t$ ) Северного полушария, °С, по: [7]. Жирной линией показано 11-летнее скользящее среднее (а – январь, б – июль)

Отметим, что июльский «сдвиг» наиболее сильно расходится с результатами визуального анализа. Поэтому в качестве года нарушения однородности в июле выбран 1977 г., показавший



второй по значимости перепад температур от одного стационарного участка к другому. Считаем, что выбор именно этого года годом нарушения однородности ряда лучше отражает естественную климатическую изменчивость.

Анализ графиков аномалий средних месячных температур в центральные месяцы переходных сезонов года (рис. 3, а, б) показал довольно большое расхождение статистической и визуальной оценки в апреле (около двух десятилетий) и довольно хорошее согласование в октябре. В октябре статистическим годом нарушения однородности стал 1976 г., графически изгиб кривой приходится на начало 70-х гг. XX века.

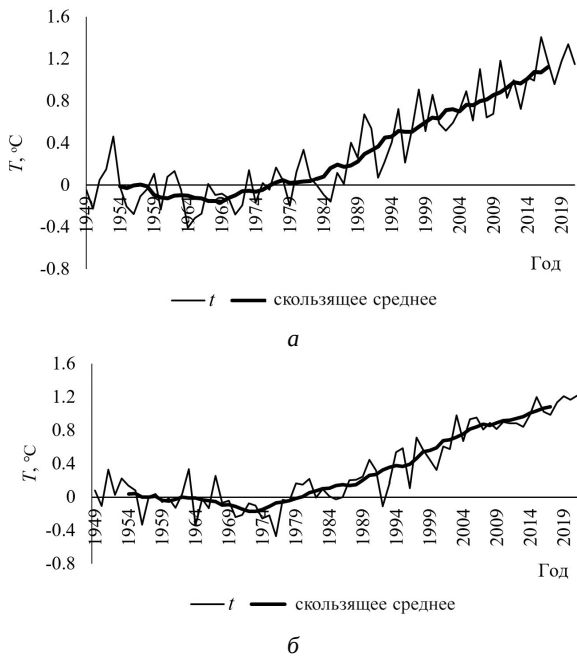


Рис. 3. Ход аномалии средней месячной температуры ( $t$ ) Северного полушария, °С, по: [7]. Жирной линией показано 11-летнее скользящее среднее (а – апрель, б – октябрь)

Поскольку для апреля все выявленные статистически годы нарушения однородности (1955 г., 1988 г.) плохо согласуются с визуальными оценками, то в дальнейшем для апреля за начало нового стационарного участка принят 1988 г.

Согласно помещенным в табл. 1 данным, рассчитаны статистические характеристики на стационарных участках, соответствующих периоду стабилизации и второй волне глобального потепления (табл. 2).

Как видно из табл. 2, средние значения аномалий приповерхностной температуры воздуха Северного полушария от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления повышаются. В период стабилизации средние приповерхностные аномалии температуры в целом снижались ( $\alpha_{\text{год}} = -0,004$ ), однако такая устойчивая тенденция прослеживается не во все месяцы. Снижение температур в период стабилизации устойчиво проявляется в осенне-зимний сезон ( $\alpha_{\text{январь}} = -0,007$ ,  $\alpha_{\text{октябрь}} = -0,003$ ). В июле не обнаружено ни роста, ни повышения температуры. В апреле в период стабилизации средние глобальные температуры очень слабо, но росли ( $\alpha_{\text{апрель}} = 0,002$ ).

Во вторую волну глобального потепления отмечен рост средней полушарной температуры воздуха и во все сезоны, и в целом за год. Наиболее сильный рост отмечается в январе ( $\alpha_{\text{январь}} = 0,028$ ). Интересно, что во все остальные месяцы (апрель, июль, октябрь) температуры растут примерно с одинаковой скоростью.

Наибольшая дисперсия в период стабилизации (см. табл. 2) имеет место в январе, а наименьшая – летом, что соответствует сезонным климатическим особенностям. Кроме того, во вторую волну глобального потепления наибольшая изменчивость температуры наблюдается в октябре, а наименьшая – в январе. Такое выявленное несоответствие изменчивости глобальных температур во вторую волну глобального потепления основным климатическим правилам, возможно, связано с довольно активными климатическими процессами в земной климатической системе.

Анализ значимости изменения температуры в исследуемые климатические периоды и оценка изменчивости температур внутри периодов представлен в табл. 3.

Доверительные интервалы показали статистическую значимость изменения температуры от одного периода к другому в январе, апреле,

Таблица 2

**Статистические характеристики изменения температуры в период стабилизации и во вторую волну глобального потепления**

Месяц	I период			II период		
	$\bar{X}$	$\alpha$	$\sigma^2$	$\bar{X}$	$\alpha$	$\sigma^2$
Январь	-0,07	-0,007	0,042	0,61	0,028	0,041
Апрель	-0,04	0,002	0,019	0,74	0,020	0,078
Июль	-0,04	0,000	0,012	0,63	0,025	0,052
Октябрь	0,04	-0,003	0,015	0,39	0,026	0,176
Среднее многолетнее	-0,07	-0,004	0,010	0,56	0,020	0,096



Таблица 3

**Оценка статистической значимости температуры воздуха в период стабилизации и вторую волну глобального потепления**

Месяц	Доверительные интервалы		Уровень значимости, %	Критерий Фишера	
	I	II		F	F <sub>кр.</sub>
Январь	[-0,29; 0,15]	[0,25; 0,97]	95	1,06	2,3
Апрель	[-0,28; 0,19]	[0,50; 1,21]	95	3,9	1,94
Июль	[-0,23; 0,15]	[0,24; 1,02]	95	4,4	1,8
Октябрь	[-0,12; 0,20]	[-0,14; 0,90]	90	11,7	3,48
Среднее многолетнее	[-0,21; 0,07]	[0,15; 0,96]	90	8,5	1,7

июле на 95%-ном уровне. В октябре и в целом за год отсутствие перекрытия интервалов от одного климатического периода к другому обнаружено только на 90%-ном уровне значимости.

Оценка изменчивости температуры в два климатических периода, согласно критерию Фишера, показала значимость изменений во все исследуемые месяцы, кроме января, и в целом за год. Изменчивость температур в более теплый период оказалась выше, чем в более холодный, что также не характерно для земной климатической системы. Выявленный рост изменчивости согласуется с возрастающей повторяемостью аномальных явлений погоды на фоне второй волны глобального потепления [1, 2].

### Выводы

В результате проведенного анализа по выявлению статистической значимости изменения приповерхностной температуры воздуха Северного полушария было получено.

1. Метод ступенчатого тренда в применении к рядам аномалий приповерхностной температуры воздуха Северного полушария не продемонстрировал достаточную надежность, не всегда годы нарушения однородности совпадали с визуальным графическим отображением климатической изменчивости. Следовательно, в статистическом анализе рядов температуры метод ступенчатого тренда не обнаруживает нужной чувствительности.

2. Применение метода доверительных интервалов с использованием критерия Стьюдента показало значимость изменений температуры воздуха от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления при 95%-ном уровне в январе, апреле и июле. Статистическая, а следовательно, и климатическая значимость изменений приповерхностной температуры воздуха Северного полушария от одного естественного климатического периода к другому для температур января и средних годовых значений обнаруживается только при 90%-ном уровне значимости.

3. Изменчивость температур в период стабилизации соответствует сезонным изменениям – наиболее сильная изменчивость наблюдается

зимой, наиболее слабая – летом. Во вторую волну глобального потепления, наоборот, изменчивость летних температур оказалась больше, чем зимних. Такое несоответствие «климатическим» правилам во вторую волну глобального потепления может указывать на развитие нехарактерных процессов в земной климатической системе, стремящихся сохранить климатическое равновесие и стабильность в ЗКС.

4. Возрастающая изменчивость температурного режима от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления, подтвержденная критерием Фишера, позволяет сделать вывод о развивающейся нестабильности в земной климатической системе.

### Библиографический список

1. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. Москва : Группа море, 2014. 60 с.
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под редакцией В. М. Катцова ; Росгидромет. Санкт-Петербург : Научное издание, 2022. 676 с.
3. IPCC–Intergovernmental Panel on Climate Change / editors : R. K. Pachauri, L. A. Meyer. New York : Cambridge University Press, 2014. 1535 p.
4. 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 / editors 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. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022. 3056 p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
5. *Переведенцев Ю. П.* Теория климата. Казань : Издательство Казанского университета, 2009. 504 с. EDN: KUITEN
6. *Шерстюков Б. Г.* Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Обнинск : ВНИГМИ-МЦД, 2008. 246 с. EDN: QKIDLB
7. Global temperature datasets // Climatic Research Unit. URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/#> (дата обращения: 10.10.2022).



8. Морозова С. В. Роль планетарных объектов циркуляции в глобальных климатических процессах. Саратов : Издательство Саратовского университета, 2019. 132 с. EDN: YGUSDA
9. Morozova S. V., Polyanskaya E. A., Molchanova N. P., Solodovnikov A. P. Peculiarities of the global climate tendencies in the south-east Russian plains // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 381. P. 18–24.
10. Морозова С. В., Полянская Е. А., Алимпиева М. А. Исследование синоптических процессов на юго-востоке Русской равнины в различные климатические периоды // Гидрометеорология и образование. 2021. № 2. С. 47–55.
11. Морозова С. В. Исследование влияния общей циркуляции атмосферы на глобальный климат // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 14, № 1. С. 25–27. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2014-14-1-25-27>
12. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Москва : Высшая школа, 1972. 368 с.
13. Кобьшева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. Москва : Гидромеоиздат, 1978. 292 с.
14. Mohorji A. M., Şen Z., Almazroui M. Trend Analyses Revision and Global Monthly Temperature Innovative Multi-Duration Analysis // Springer. 2017. Earth Syst Environ. Vol. 1, article number 9. P. 25–34. <https://doi.org/10.1007/s41748-017-0014-x>
15. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Санкт-Петербург : РГГМУ, 2007. 407 с. EDN: QKIFPF
16. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Москва : РГГМУ, 2007. 279 с. EDN: QKGTBH

Поступила в редакцию 01.03.2023; одобрена после рецензирования 10.03.2023; принята к публикации 13.03.2023  
The article was submitted 01.03.2023; approved after reviewing 10.03.2023; accepted for publication 13.03.2023