

УДК 551.583

DOI: 10.47928/1726-9946-2020-20-3-69-78

Анализ изменений приземной температуры в предгорной зоне Юга России на примере Кисловодска

Ташилова А.А.

Представлено академиком АМАН Каловым Х.М.

Введение. Проблема изучения глобального и регионального изменения климата является одной из приоритетных, стоящих перед экологическими и экономическими аспектами устойчивого развития общества [1]. Исследование региональных изменений климата является важнейшей составляющей понимания современного глобального изменения климата, поскольку региональные изменения климата могут значительно отличаться от глобального. В силу физико-географических особенностей территории, особенностей структуры экономики особенно острой данная проблема становится для рассматриваемого региона (юга европейской территории России). Юг России является одним из важнейших производителей сельскохозяйственной продукции в РФ (равнинная, предгорная зоны), туристическим кластером (предгорная, горная зоны), обладает значительным рекреационным потенциалом. Кроме этого, горные территории играют большую роль в формировании водных ресурсов на юге России [2-4].

В работе приводятся результаты анализа изменений температурного режима воздуха в приземном слое атмосферы в предгорной климатической зоне, которой примерно соответствует высотный ландшафт: от 500 до 1000 м н.у.м. Для больших интервалов времени использование фактографического анализа накопленных знаний и попытки интерпретации правдоподобных эмпирических фактов для объяснения сложных многофакторных процессов правомерны.

Результаты анализа изменений режима температуры в предгорной зоне юга России (Кисловодск). Остановимся на результатах анализа временных рядов режима температуры, полученных методом математической статистики. Для проведения статистического анализа временных рядов метеопараметров (сезонов и года) использовались программы STATISTICA 6.0 и SPSS 21.0 [5-7]. Пакет SPSS является универсальной статистической системой программ, необходимых для анализа данных и предназначенной для реализации полной последовательности шагов анализа данных: от просмотра данных, создания таблиц и вычисления описательных статистик до сложного статистического анализа. С помощью пакета SPSS были рассчитаны следующие характеристики временных рядов (статистики) и тесты: среднее значение (стандартная ошибка), дисперсия, стандартное отклонение, доверительные интервалы среднего значения (для 95%-ного доверительного интервала), минимум, максимум, размах, коэффициент асимметрии (стандартная ошибка), коэффициент эксцесса (стандартная ошибка), квартильный анализ для определения экстремальных значений, тест Колмогорова–Смирнова, критерий Стьюдента (t -тест), критерий Фишера (F -тест), статистические характеристики частотного анализа (гистограммы) [8-10]. Одномерные временные ряды исследовались на наличие экстремумов с помощью квартильного анализа [11].

Проведем сравнительный анализ характеристик временных рядов метеопараметров, определяющих температурный режим воздуха (средние, абсолютные максимумы, абсолютные минимумы) по данным м/станции Кисловодск в базовый (1961-1990 гг.) и современный (1991-2018 гг.) периоды. Рассмотрим также тенденции изменений метеопараметров на отрезке времени 1961-2018 гг., статистическую значимость этих изменений и трендоустойчивость рядов метеопараметров.

Результаты анализа изменений *сезонных и годовых* метеопараметров по данным м/станции Кисловодск (предгорная зона юга России) в таблицах 1-4 сведены в четыре блока:

- I. Осредненные значения средних, максимальных, минимальных температур за весь период и подпериоды: базовый (1961-1990 гг.) и современный (1991-2018 гг.). Оценка статистического равенства в подпериоды по критерию Стьюдента на 5%-ном уровне (таблица 1).
- II. Характеристики формы распределения, нормальность распределения по критерию Колмогорова – Смирнова на 5 %-ном уровне (таблица 2).
- III. Количество экстремумов средних, максимальных, минимальных температур за весь период исследования выше/ ниже порогового значения (таблица 3).
- IV. Регрессионные характеристики (скорость изменения температуры, вклад тренда в объясненную дисперсия) и оценка качества регрессионной модели (F -критерий). Фрактальные характеристики трендов, их устойчивость (показатель Херста H) (таблица 4).

Для проведения анализа были использованы инструментальные данные м/станции Кисловодск (предгорная зона юга ЕТР, 819 м н.у.м.). Из таблицы 1 видно, что за исследованный период 1961-2018 гг. среднегодовая температура (стандартное отклонение σ) в г. Кисловодск составила $t(\sigma) = 8,3(1,1)^\circ\text{C}$, и она сравнима со средней осенней температурой $t(\sigma) = 8,8(1,3)^\circ\text{C}$. Средняя летняя температура достаточно высокая и равна $t(\sigma) = 18,0(1,6)^\circ\text{C}$, средняя зимняя отрицательная и составила $t(\sigma) = -1,6(1,6)^\circ\text{C}$.

Все осредненные за период 1991-2018 гг. значения температуры превышают значения климатических норм (1961-1990 гг.). Результаты t -теста на 5%-ном уровне, проведенном для сравнения осредненных значений температур в базовый и современный периоды показали, что имеется статистически значимое различие между климатической нормой N и значением некоторых температур (средних, максимальных и минимальных (табл.1).

В летний сезон статистически значимо выше климатических норм ($Sig. = 0,00$:- $0,03$) *средние* температуры ($17,3^\circ\text{C}/18,8^\circ\text{C}$), *максимальные* ($31,1^\circ\text{C}/32,4^\circ\text{C}$) и *минимальные* ($5,2^\circ\text{C}/6,4^\circ\text{C}$) температуры. В осенний сезон и в году в целом также статистически значимо выше по сравнению с климатической нормой *средние* (осенние: $8,5^\circ\text{C}/9,2^\circ\text{C}$ и годовые: $7,8^\circ\text{C}/8,7^\circ\text{C}$) и *максимальные* (осенние: $27,2^\circ\text{C}/29,6^\circ\text{C}$ и годовые: $31,2^\circ\text{C}/32,8^\circ\text{C}$) температуры.

Весной статистически значимо в современный период (1991-2018 гг.) превышают нормы *средние* ($7,5^\circ\text{C}$ (норма)/ $8,2^\circ\text{C}$) и *минимальные* (-11°C (норма)/ -9°C) температуры.

Таблица 1

Осредненные значения средних, максимальных, минимальных температур

пп	Статистики, 1961-2018 гг.	Режим температуры	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
1	2	3	4	5	6	7	8
I.	Среднее, \bar{x} 1961-2018 гг. (ст. откл. σ), °C	а) средняя	-1,6(1,6)	7,8(1,4)	18,0(1,6)	8,8(1,3)	8,3(1,1)
		б) абс. макс.	16,9(2,5)	26,4(2,3)	31,7(2,3)	28,4(2,8)	32,0(2,2)
		в) абс. мин.	-18,5(3,3)	-10,1(3,5)	5,8(2,7)	-8,7(3,6)	-18,5(3,4)
	Норма N, °C 1961-1990 гг./ \bar{x} 1991-2018 гг.	а) средняя	-1,8/-1,5	7,5/8,2	17,3/18,8	8,5/9,2	7,8/8,7
		б) абс. макс.	16,4/17,5	26/26,9	31,1/32,4	27,2/29,6	31,2/32,8
		в) абс. мин.	-17,9/-19	-11/-9	5,2/6,4	-8,8/-8,7	-17,9/-19,0
	* <i>t</i> -тест, $p=0,05$ при $Sig. \leq 0,05$ N и \bar{X} (1991- 2018 гг.) не равны	а) средняя	0,3	0,03	0,00	0,02	0,00
		б) абс. макс.	0,03	0,08	0,01	0,00	0,00
		в) абс. мин.	0,09	0,00	0,01	0,9	0,05

Ячейки со статистически значимой на 5%-м уровне разницей средних двух периодов выделены цветом:

желтый – средние (1991-2018 гг.) \geq нормы N (1961-1990 гг.);

голубой – средние (1991-2018 гг.) $<$ нормы N (1961-1990 гг.).

Из таблицы 2 видно, что значения коэффициентов асимметрии As и эксцесса E временных рядов средних, максимальных и минимальных температур всех сезонов небольшие ($E < 1$, $As < 1$), что указывает на нормальное распределения этих величин. Исключение составил ряд *минимальных летних* температур, у которого коэффициент асимметрии отрицательный ($As = -2,8$) и большое значение коэффициента эксцесса ($E = 9,61$). Высокий положительный эксцесс и левосторонняя асимметрия характеризуют островершинное распределение с большим количеством метеопараметров, сосредоточенных вблизи среднего значения, а также с большим количеством элементов, шанс отклонения от среднего значения которых на три стандартных отклонения ($\pm 3\sigma$) составляет вероятность $p = 0,13\%$.

Тест Колмогорова-Смирнова подтвердил нормальное распределения сезонных и годовых температур с высоким уровнем значимости ($Sig.=0,36$:- 0,97), за исключением *минимальных летних* температур ($Sig.=0,08$).

Таблица 2

Характеристики формы распределения средних, максимальных, минимальных температур

nn	Статистики, 1961-2018 гг.	Режим температуры	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
II.	Размах R , °C	а) средняя	8,0	5,7	6,4	7,1	4,8
		б) абс. макс.	11,6	9,9	10,2	12,7	9,5
		в) абс. мин.	15,2	13,6	18,9	13,8	18,0
	Асимметрия (ошибка $\delta=0,314$), A_s	а) средняя	0,07	0,7	0,8	0,2	0,7
		б) абс. макс.	0,24	0,55	-0,6	0,39	0,02
		в) абс. мин.	-0,62	-0,39	-2,8	-0,32	-0,4
	Эксцесс (ошибка $\delta=0,618$), E	а) средняя	-0,05	-0,3	-0,1	0,5	0,04
		б) абс. макс.	-0,5	0,0	-0,56	-0,14	-0,62
		в) абс. мин.	0,35	-0,70	9,61	-0,92	0,76
	Тест КС ($p=0.05$), при $Sig.> 0,05$ норм. распр.	а) средняя	0,96	0,36	0,16	0,78	0,53
		б) абс. макс.	0,97	0,57	0,98	0,96	0,92
		в) абс. мин.	0,76	0,47	0,08	0,65	0,82

В таблице 3 приведены результаты квантильного анализа для выявления аномальных элементов (выбросов, экстремумов) средних, максимальных, минимальных температур выше/ ниже порогового значения. Пороговое значения определялось как полуторное (выбросы) или тройное (экстремумы) превышение разницы между 75% и 25% квантилями в ранжированном ряде. Для получения экстремальных значений необходимо преобразовать исходный ряд $x_1, x_2, \dots, x_i, x_n$ в ранжированный ряд вида $x_1 > x_2 > \dots x_i > x_n$.

Обозначим индексом p – общее число данных, расположенных в порядке возрастания: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_b, x_p$. Обозначим медиану (50% квантиль) x_{50} , значения 25% и 75% квантилей как x_{25} и x_{75} , выбросы $S_{1.5}$ и экстремумы $S_{3.0}$.

Затем рассчитываются значения

$$\Delta_{1.5} = 1,5x \text{ от } |x_{75} - x_{25}|, \quad (1)$$

$$\Delta_{3.0} = 3,0x \text{ от } |x_{75} - x_{25}|. \quad (2)$$

Для каждого значения выбросов и экстремумов рассчитывают пороговые значения:

$$S^* = \begin{cases} S_{1.5}, & \text{если } x_i > (x_{75} + \Delta_{1.5}) \\ S_{3.0}, & \text{если } x_i > (x_{75} + \Delta_{3.0}) \end{cases} \quad (3)$$

и

$$S_* = \begin{cases} S_{1.5}, & \text{если } x_i < (x_{25} + \Delta_{1.5}) \\ S_{3.0}, & \text{если } x_i < (x_{25} + \Delta_{3.0}). \end{cases} \quad (4)$$

Для краткости экстремальные значения температуры, превышающие верхний порог, назовем «горячими» экстремумами (S^*), а значения ниже нижнего порога – «холодными» экстремумами (S_*).

Максимальное количество аномальных элементов, превышающих пороговое значение, было выявлено во временном ряду средней температуры воздуха в летние сезоны, что является причиной значимого различия между средней летней температурой и ее климатической нормой (ряд содержит 4 экстремума, превышающих 20°C). Максимальное значение *средней летней* температуры наблюдалось в 2010 году, превышение климатической нормы составило $\delta T = +3,5^\circ\text{C}$. В зимний, весенний и осенний сезоны имелось по одному выбросу, превышающему пороговое значение $t \geq 3,0^\circ\text{C}$, $10,0^\circ\text{C}$ и $12,6^\circ\text{C}$ соответственно. В осенний период – один выброс со значением ниже порогового $t \leq 5,0^\circ\text{C}$.

Таблица 3

Характеристики формы распределения средних, максимальных, минимальных температур

nn	Статистики, 1961-2018 гг.	Режим температуры	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
III.	Кол-во экстремумов, n	а) средняя	$1 \geq 3,0^\circ\text{C}$	$1 \geq 10^\circ\text{C}$	$4 \geq 20^\circ\text{C}$	$1 \leq 5^\circ\text{C}$ $1 \geq 12,6^\circ\text{C}$	$5 \geq 10,5^\circ\text{C}$
		б) абс. макс.	$1 \geq 24^\circ\text{C}$	$1 \leq 22^\circ\text{C}$ $4 \geq 30^\circ\text{C}$	0	$1 \geq 36^\circ\text{C}$	0
		в) абс. мин.	$2 \leq -26^\circ\text{C}$	0	$3 \leq 1,6^\circ\text{C}$ $1 \geq 11,2^\circ\text{C}$	0	$2 \leq -6^\circ\text{C}$ $1 \geq -10^\circ\text{C}$

Из таблицы 4 видно, что статистически значимый рост средней температуры воздуха имел место в весенний ($0,29^\circ\text{C}/10$ лет, $D=12,23\%$, $Sig.=0,01$), летний ($0,56^\circ\text{C}/10$ лет, $D=34,9\%$, $Sig.=0,00$), осенний ($0,25^\circ\text{C}/10$ лет, $D=10,0\%$, $Sig.=0,02$) сезоны и в году в целом ($0,31^\circ\text{C}/10$ лет, $D=12,2\%$, $Sig.=0,00$).

Летом также значимо повышались максимальные ($0,43^\circ\text{C}/10$ лет, $D=9,8\%$, $Sig.=0,00$) и минимальные ($0,45^\circ\text{C}/10$ лет, $D=7,8\%$, $Sig.=0,03$) температуры. Значительный рост максимальных температур ($0,61^\circ\text{C}/10$ лет, $D=13,5\%$, $Sig.=0,00$) наблюдался в осенние сезоны. Скорость роста абсолютных минимумов весенних температур ($0,56^\circ\text{C}/10$ лет, $D=7,2\%$, $Sig.=0,04$), так же как и в других климатических зонах, была наибольшей по сравнению с остальными сезонами.

Таблица 4

Регрессионные характеристики, оценка качества регрессионной модели и фрактальные характеристики трендов

nn	Статистики, 1961-2018 гг.	Режим температуры	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
IV. 9	Угловой коэф-т линейного тренда, $a, ^\circ C/10$ лет	а) средняя	0,14	0,29	0,56	0,25	0,31
		б) абс. макс.	0,45	0,26	0,43	0,61	0,46
		в) абс. мин.	-0,35	0,56	0,45	0,004	-0,25
10	Коэффициент детерминации, D (%)	а) средняя	2,0	12,23	34,9	10,0	22,6
		б) абс. макс.	9,0	3,7	9,8	13,5	12,2
		в) абс. мин.	3,3	7,2	7,8	0,00	5,1
11	Знач. F - теста, при $Sig.<0,05^{**}$ стат. Знач. a, D	а) средняя	0,29	0,01	0,00	0,02	0,00
		б) абс. макс.	0,02	0,15	0,02	0,00	0,01
		в) абс. мин.	0,17	0,04	0,03	0,99	0,09
12	Показатель Херста, H	а) средняя	0,72	0,63	0,78	0,75	0,81
		б) абс. макс.	0,76	0,63	0,61	0,74	0,63
		в) абс. мин.	0,52	0,62	0,58	0,64	0,57

** Жирным шрифтом выделены коэффициенты трендов статистически значимые на 5%-м уровне.

Одновременно происходит рост абсолютных минимумов температур в летние сезоны (скорость роста составил $0,45^\circ C/10$ лет), при этом их значения, как уже отмечалось, выше и имеют большие коэффициенты асимметрии и эксцесса $As = -2,8$ и $E = 9,61$, из чего следует, что имеется большое количество элементов, значения которых ниже среднего (так называемые «холодные» экстремумы), см. рисунки 1 и 2.

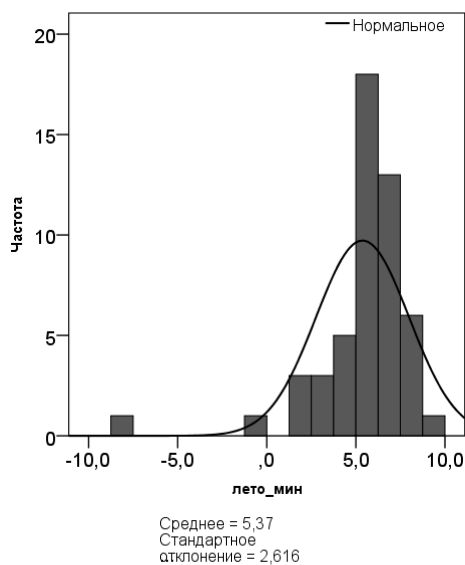


Рисунок 1 – Гистограмма абсолютных минимумов летних температур, г. Кисловодск.

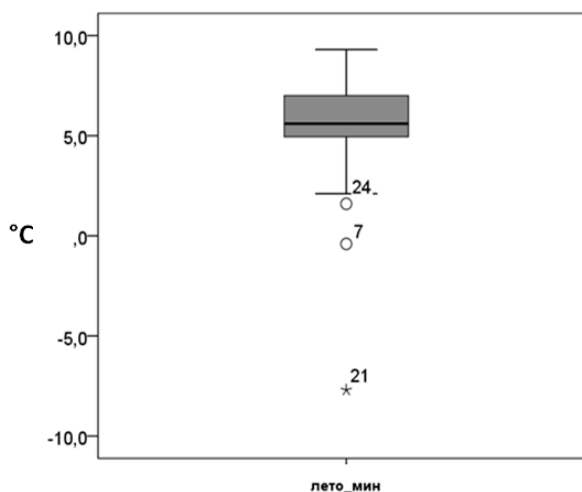


Рисунок 2 – Диаграмма размаха с экстремумами абсолютных минимумов летних температур (nn 7- 1967г., nn 21 – 1981г., nn 24 – 1984 г.), г. Кисловодск.

За весь исследуемый период 1961-2018 гг. было выявлено 3 выброса с температурами ниже порогового $t < 1,6^{\circ}\text{C}$, что указывает на то, что временной ряд летних минимумов температур обладает левосторонней асимметрией и высокой вершиной распределения.

Оценка трендоустойчивости (персистентности) климатических изменений проводилась с помощью метода нормированного размаха (R/S -анализ) [12]:

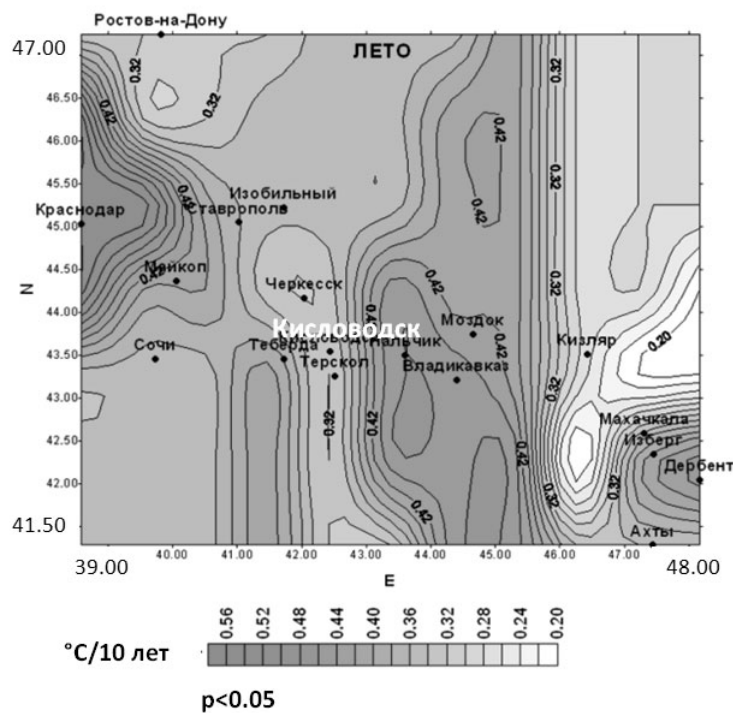
$$H = \frac{\lg(R_n/S_n)}{\lg(aT)}, \quad (5)$$

где R_n – размах или разность между максимальным и минимальным уровнями накопленного отклонения X_n , S_n – эмпирическое стандартное отклонение, T – период наблюдений; a – заданная константа ($a = 0,5$).

Уравнение (5) показывает, что на разных отрезках времени нормированный размах (отношение диапазона к стандартному отклонению) имеет степенную зависимость от продолжительности времени. В этом случае показатель Херста вычисляется по формуле (5) с использованием полного временного ряда.

Показатель Херста используется в качестве меры долговременной памяти временных рядов. Это связано с автокорреляциями временных рядов и скоростью, с которой они уменьшаются по мере увеличения лага между парами значений [13]. По результатам фрактального анализа (согласно градации показателя Херста при $0,5 < H < 1$ ряд определяется как трендоустойчивый) получено, что наиболее устойчивые тренды временного ряда *средних* температур имели место в *летний* ($H = 0,78$), *осенний* ($H = 0,75$) сезоны и *в году в целом* ($H = 0,81$); наиболее устойчивые тренды *максимальных* температур в *зимний* ($H = 0,76$) и *осенний* сезоны ($H = 0,74$). Поведение трендов *минимальных* температур меняется от стохастического (*зима*, $H = 0,52$) до персистентного (*осень*, $H = 0,64$).

По данным таблицы 4 на рисунке 3 представлена карта полей распределения скоростей средних летних температур (угловой коэффициент регрессионной модели, a ($^{\circ}\text{C}/10$ лет) с учетом статистически значимого коэффициента детерминации D линейного тренда по результатам F -теста). На шкале отмечены изолинии, являющиеся границами статистически значимых на 5%-ном уровне ($D > 6,5\%$ при $p < 0,05$) скоростей изменения температур. Поля распределений скоростей летних температур были построены с помощью программы визуализации метеорологических данных из файлов в формате GRD программы Surfer 8.0 [14]. При их построении использовались интерполяция Криге (Kriging) и метод ближайших соседей (nearestneighbors).



Тренд температуры статистически значим при $p < 0,05$;
 статистически незначим при $p > 0,05$.

Рисунок 3 – Распределение скоростей средних летних температур на юге России, 1961-2018 гг.

Из рисунка 3 видно, что за 58-летний период исследования в летний сезон во всех климатических зонах, в том числе предгорной (Кисловодск), наблюдался статистически значимый рост средней температуры, сохраняющий свою положительную направленность в будущем.

Заключение. По данным данного и предыдущих исследований [15, 16] во всех климатических зонах юга России, за исключением высокогорной (Терскол), наблюдалось статистически значимое увеличение средних годовых температур, в том числе, в предгорной (Кисловодск) на $0,31^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$ ($D=22,9\%$); во всех климатических зонах в динамике сезонных средних температур наблюдалась общая закономерность – рост температуры в летний сезон с наибольшим вкладом объясненной дисперсии в тренд, в том числе, в предгорной зоне (Кисловодск) на $0,56^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$ ($D=34,9\%$);

Тенденции изменения сезонных абсолютных максимумов и абсолютных минимумов температур воздуха имеют некоторые особенности. Абсолютные максимумы температур статистически значимо росли в летние сезоны на $0,43^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$ (9,8%) и еще более убедительно – в осенние сезоны на $0,61^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$ (13,5%). Абсолютные минимумы температур статистически значимо увеличивались в летние сезоны на $0,45$ (7,8%) и весенние сезоны на $0,56^{\circ}\text{C}/10\text{лет}$ (10,3%).

Рост средних летних температур выделяется не только своими высокими значениями во всех климатических зонах, но максимально высокими коэффициентами Херста, характеризующими устойчивость полученных трендов. Показатель Херста в летние сезоны был наибольший для средних температур и составил ($H = 0,82$), из чего следует ожидать устойчивое повышение средних летних температур в будущем. За ними следуют средние

осенние температуры ($H = 0,75$) и абсолютные максимумы зимних зимние ($H = 0,76$). Согласно градации показателя Херста наблюдающаяся тенденция роста температур приземного воздуха является персистентной и будет продолжаться в будущем, по крайней мере, в ближайшие несколько десятков лет (на период, определенный с помощью метода нормированного размаха).

ЛИТЕРАТУРА

1. Устойчивое развитие горных территорий Кавказа: коллективная монография. Том II / Научные редакторы: И.А. Керимов, А.Н. Гуня, В.А. Широкова. М.: ИИЕТ РАН, 2019. 689 с.
2. *Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V., Kalov Kh.M., Fedchenko L.M., Kalov R.Kh., Khavtsukov A. Kh.* Climate of the Caucasus region of the last 60 years: precipitation and temperature trends and anomalies // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST), vol. 1. International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2019), pp. 107–112.
3. *Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А.* Изменения характеристик снежного покрова на юге России как отклик глобального потепления // Сборник трудов ГГО. 2019, Санкт-Петербург. Вып. 592. С. 141–158.
4. *Bekkiyev M.Yu., Kalov R.Kh., Kalov Kh.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Shugunov L.Zh., Shugunov T.L.* Influence of temperature changes in the lower atmosphere on dynamics of glaciers and height of the snow line on Elbrus // Advances in Engineering Research, International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2018), vol. 177, pp. 493–498.
5. *Бююль А., Цефель П.* SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. СПб.: ДиаСофтЮП, 2002. 608 с.
6. *Наследов А.Д.* SPSS 19: профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2011. 400 с.
7. *Плеханов А.В.* Математико-статистические методы обработки информации с применением программы SPSS: Практикум. СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. 96 с.
8. *Айвазян С.А., Мхитарян В.С.* Прикладная статистика: классификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989.
9. *Боровиков В.* Statistica: Искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
10. *Исаев А.А.* Статистика в метеорологии и климатологии. Москва: Издательство МГУ, 1988. 248 с.
11. *Wilks D.S.* Statistical Methods to the Atmospheric Sciences. 3rded. London: AcademicPress, 2011. 676 p.
12. *Hurst H.E., Black R.P., Simaika Y.M.* Long-term storage: An experimental study. L.: Constable, 1965.
13. *Федер Е.* Фракталы. Москва, 1991. 261 с.
14. *Силкин К.Ю.* Геоинформационная система Golden Software Surfer 8. Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008. 66 с.
15. *Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В., Таубекова З.А.* Анализ изменчивости температуры на горной территории Северного Кавказа за 1961-2013 гг. // Метеорология и гидрология. 2016. № 9. С. 16–26.

16. *Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V.* Climate change in the south of European Russia in 1961-2015 and analysis of anomalies in 2010 and 2015 // *Climate Change*, 2017, vol. 3. № 10, pp. 753–763.

ABSTRACT

Based on the series of surface air temperature (average, absolute maxima, absolute minima) for 1961-2018, obtained from instrumental data from the Kislovodsk station, an analysis of changes in seasonal and annual temperatures is carried out. We obtained averaged values in the base (1961-1990, normal) and modern (1991-2018) periods, the results of the t-test for determining the statistical equality/inequality of temperatures for two sub-periods, as well as characteristics of the distribution shape (asymmetry, kurtosis), the rate of temperature change with the criterion of statistical significance (F -test), the value of the Hurst exponent H for determining the stability of the series. Based on the results of statistical and fractal analysis, it can be concluded about a steady increase in temperatures (with the selection of summer averages, maximum and minimum) in the foothill zone of southern Russia (Kislovodsk).

Keywords: southern Russia, foothill climatic zone, seasonal air temperature, statistics, distribution fields, trend stability.

High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik; tashilovaa@mail.ru

© А.А. Ташилова, 2020

АННОТАЦИЯ

На основе рядов приземной температуры воздуха (средние, абсолютные максимумы, абсолютные минимумы) за 1961-2018 гг., полученных по инструментальным данным измерений м/станции Кисловодск, проведен анализ изменения сезонных и годовых температур. Получены осредненные значения в базовый (1961-1990 гг., норма) и современный (1991-2018 гг.) периоды, результаты t-теста на определение статистического равенства/неравенства температур за два подпериода, а также характеристики формы распределения (асимметрия, эксцесс), скорость изменения температур с критерием статистической значимости (F -тест), значения показателя Херста H для определения устойчивости рядов. По результатам статистического и фрактального анализа можно сделать вывод об устойчивом росте температур (с выделением летних средних, максимальных и минимальных) в предгорной зоне юга России (Кисловодск).

Ключевые слова: юг России, предгорная климатическая зона, сезонная температура воздуха, статистика, поля распределения, трендоустойчивость.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик; tashilovaa@mail.ru

© А.А. Ташилова, 2020