

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Научная статья

УДК 551.58

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123

**ИЗМЕНЕНИЕ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
В ПРЕДГОРНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА ЗА ПЕРИОД 1961–2022 гг.****Людмила Михайловна Федченко¹, Алла Амарбиевна Ташилова², Лара Асировна Кешева³,
Наталья Вячеславовна Теунова⁴**^{1, 2, 3, 4} Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик, Россия¹ fedchenkolm@mail.ru, Scopus ID: 6602297635, ResearcherID: AAB-3697-2019, eLibrary: 00059651² tashilovaa@mail.ru, Scopus ID: 57191577384, ResearcherID: K-4321-2015, eLibrary: 00048834³ kesheva.lara@yandex.ru, Scopus ID: 57191577471, ResearcherID: K-4261-2015, eLibrary: 00048827⁴ nata0770@yandex.ru, Scopus ID: 57191571952, ResearcherID: K-4312-2015, eLibrary: 00048831

Аннотация. Объектом исследования является Северо-Кавказский регион, богатый разнообразными природными ландшафтами и отличающийся климатическим многообразием. Цель исследования состоит в анализе изменения температурного режима и режима осадков в предгорной зоне Северо-Кавказского региона. По данным 6-ти метеостанций – Буйнакск, Владикавказ, Кисловодск, Нальчик, Ставрополь, Черкесск – был проведен анализ температурного режима за период 1961–2022 гг., который показал, что среднегодовые температуры в предгорной зоне Северного Кавказа в период 1961–2022 гг. положительные и колеблются от 8,3 °С на метеостанции Кисловодск до 10,6 °С на метеостанции Буйнакск. В начале XXI столетия (2001–2022 гг.) среднегодовая температура воздуха повысилась и составила 9,2 °С на метеостанции Кисловодск и 11,6 °С на метеостанции Буйнакск, что статистически значимо выше, чем в период 1961–2000 гг., когда среднегодовая температура была 7,8 и 10,0 °С соответственно.

Рассчитаны среднегодовые аномалии температуры за весь период наблюдения. Наибольшее отклонение от нормы зафиксировано в 2010 г. за счет высокой аномалии летом (+3,7 °С). Для оценки тенденции изменения температурного режима были построены линейные тренды за весь период 1961–2022 гг. и два подпериода. Анализ показал, что в период 1961–2022 гг. наблюдаются исключительно положительные тенденции, тогда как в другие подпериоды наблюдаются и отрицательные тенденции изменения температуры, где особенно выделяется март, с отрицательными значениями линейного тренда на всех станциях предгорной зоны в начале этого столетия.

Анализ сезонных и годовых сумм осадков за период 1961–2022 гг. показал, что в среднем по предгорной зоне Северо-Кавказского региона многолетняя годовая сумма осадков составила 637 мм. Расчет линейных трендов годовых сумм осадков показал, что изменение режима осадков не равномерно, имеются как положительные, так и отрицательные тенденции, в основном статистически незначимые.

Ключевые слова: температурный режим, режим осадков, предгорная зона, Северо-Кавказский регион, линейный тренд, аномалии

Для цитирования: Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Изменение основных климатических показателей в предгорной зоне северного Кавказа за период 1961–2022 гг. // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 1(68). С. 113–123. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123

**CHANGES IN THE MAIN CLIMATIC INDICATORS IN THE FOOTHILL ZONE
OF THE NORTH CAUCASUS OVER THE PERIOD 1961–2022****Lyudmila M. Fedchenko¹, Alla A. Tashilova², Lara A. Kesheva³, Nataliya V. Teunova⁴**^{1, 2, 3, 4} High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia¹ fedchenkolm@mail.ru, Scopus ID: 6602297635, ResearcherID: AAB-3697-2019, eLibrary: 00059651² tashilovaa@mail.ru, Scopus ID: 57191577384, ResearcherID: K-4321-2015, eLibrary: 00048834³ kesheva.lara@yandex.ru, Scopus ID: 57191577471, ResearcherID: K-4261-2015, eLibrary: 00048827⁴ nata0770@yandex.ru, Scopus ID: 57191571952, ResearcherID: K-4312-2015, eLibrary: 00048831

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Abstract. The object of the study is the North Caucasus region, rich in varied natural landscapes and characterized by climatic diversity. The study aims to analyze changes in the temperature and precipitation regimes in the foothill zone of the region. According to the data of 6 weather stations: Buynaksk, Vladikavkaz, Kislovodsk, Nalchik, Stavropol, and Cherkessk, we carried out an analysis of the temperature regime for the period 1961–2022, which showed that the average annual temperatures in the foothill zone of the North Caucasus in this period were positive and fluctuated from 8.3°C at the Kislovodsk weather station to 10.6°C at the Buynaksk weather station. At the beginning of the 21st century (2001–2022), the average annual air temperature increased and amounted to 9.2°C at the Kislovodsk weather station and 11.6°C at the Buynaksk weather station, which is statistically significantly higher than in the period 1961–2000, when the average annual temperature was 7.8°C and 10.0°C, respectively.

Average annual temperature anomalies were calculated for the entire observation period. The largest deviation from the norm was recorded in 2010, due to the high anomaly in summer (+3.7°C). To assess the trend in the temperature regime changes, linear trends were constructed for the entire period of 1961–2022 and two sub-periods. The analysis showed that in the period 1961–2022, exclusively positive trends were observed, while in the sub-periods, negative trends in temperature change were also evident, where March was especially prominent, with negative values of the linear trend at all the stations in the foothill zone at the beginning of the present century.

An analysis of seasonal and annual precipitation for the period 1961–2022 showed that, on average, in the foothill zone of the North Caucasus region, the long-term annual precipitation amounted to 637 mm. The calculation of linear trends in annual precipitation totals showed that the change in the precipitation regime was not uniform, there were both positive and negative trends, mostly statistically insignificant.

Keywords: temperature regime, precipitation regime, foothill zone, North Caucasus region, linear trend, anomalies

For citation: Fedchenko, L.M., Tashilova, A.A., Kesheva, L.A., Teunova, N.V. (2024). Changes in the main climatic indicators in the foothill zone of the North Caucasus over the period 1961–2022. *Geographical Bulletin*. No. 1(68). Pp. 113–123. doi: 10.17072/2079-7877-2024-1-113-123

Введение

Растущее число стихийных погодных и экстремальных климатических явлений в последние годы вызывает всеобщую обеспокоенность.

По данным ВМО, период 2015–2020 гг. был самым теплым шестилетием, а 2011–2020 гг. – самым теплым десятилетием за всю историю наблюдений. Начиная с 1980-х гг., каждое последующее десятилетие было теплее, чем любое предыдущее после 1850 г. [20].

В ежегодном докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 г. отмечается, что в период с 1976 по 2021 г. на всей территории России потепление наблюдается во все сезоны, скорость роста осредненной среднегодовой температуры составила +0,49 °C/10 лет ($D = 56\%$). Наиболее быстрый рост наблюдается для весенних температур (0,64 °C/10 лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом (0,40 °C/10 лет: описывает 68 % суммарной дисперсии) [6].

Изучение глобальных и региональных изменений климата является одним из приоритетных направлений современной климатологии и метеорологии. Изменение климата оказывает существенное влияние на атмосферные процессы и природно-климатические характеристики всех регионов планеты. Определение возможных последствий изменения климата стало в настоящее время научной проблемой и привлекает внимание ученых всего мира [1, 3, 4, 5, 9, 11, 18, 19].

Как показывают многочисленные исследования, потепление наблюдается по всей территории России во все сезоны, где есть засушливые регионы с экстремально высокими температурами, а также районы, где наблюдается слишком большое количество осадков. Из-за протяженности территории Российской Федерации и разнообразия ее природно-климатических особенностей последствия климатических изменений проявляются по-разному в каждом регионе [6, 7, 8, 13, 17].

На территории Северо-Кавказского (СК) региона можно выделить четыре основные климатические зоны: равнинная (степная), предгорная, горная и высокогорная. Для каждой из этих зон характерен свой температурный режим и режим осадков. На климат Северного Кавказа влияет его географическое положение, а также зональная и высотная поясность [15].

Предгорная зона Северного Кавказа представляет собой полосу шириной около 300 км, тянущуюся с северо-запада на юго-восток более чем на 900 км. Средние высоты – 500–1000 м

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

над уровнем моря. Предгорье постепенно переходит в систему горных отрогов Кавказа (горная зона).

Материалы и методы

В настоящей статье рассматриваются изменения основных климатических показателей – приземной температуры атмосферного воздуха и атмосферных осадков в предгорной зоне Северного Кавказа за период с 1961 по 2022 г. и короткие периоды, отнесенные к концу прошлого (1961–2000 гг.) и к началу нового столетия (2001–2022 гг.).

Наиболее достоверно изменения климата могут быть оценены по данным инструментальных наблюдений на сети гидрометеорологических станций.

Для исследования были использованы данные наблюдений шести метеостанций (МС) предгорной зоны: Буйнакск, Владикавказ, Кисловодск, Нальчик, Ставрополь, Черкесск, предоставленные Северо-Кавказским УГМС, а также данные с использованием электронного ресурса [рп 5](#).

Физико-географические характеристики метеостанций приведены на рис. 1 и в табл. 1.



Рис. 1. Физико-географическое положение метеостанций
Fig. 1. Physicogeographical position of weather stations

Таблица 1

Физико-географические характеристики метеостанций
Physicogeographical characteristics of weather stations

№ n/n	Метеостанция	Географические координаты	Высота над уровнем моря (н. у. м.), м
1	Буйнакск (Дагестан)	42.49° N; 47.07° E	560
2	Владикавказ (РСО-Алания)	43.21° N; 44.40° E	680
3	Нальчик (Кабардино-Балкария)	43.22° N; 43.24° E	500
4	Кисловодск (Ставропольский край)	43.54° N; 42.43° E	819
5	Черкесск (Карачаево-Черкесия)	44.17° N; 42.04° E	526
6	Ставрополь (Ставропольский край)	45.03° N; 41.58° E	540

По данным первичных наблюдений были рассчитаны среднемесячные, среднесезонные и среднегодовые температуры, а также суммы осадков на отдельных метеостанциях и в целом по предгорной зоне. Кроме того, проведена оценка изменений метеопараметров регрессионным методом.

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Коэффициенты линейных трендов выражены в градусах за десятилетие, °С/10 лет, или в мм/месяц/10 лет (далее по тексту – мм/10 лет).

Сила тренда, его статистическая значимость оценивалась величиной D (%), вкладом тренда в объясненную дисперсию

$$D = (R^2) 100 \% . \quad (1)$$

Рассчитаны средние годовые аномалии температуры и осадков, осредненные по территории предгорной зоны за период 1961–2022 гг. Аномалии определялись как отклонения от климатической нормы. Для расчета климатических норм Всемирная метеорологическая организация определила базовые 30-летние периоды. Ранее использовались значения для периода с 1961 по 1990 г. Новые климатические нормы охватывают период с 1991 по 2020 г. Они являются основой для оценки того, насколько ежедневные, месячные и годовые климатические условия соотносятся с тем, что является нормальным для конкретного места в сегодняшнем климате.

Результаты и обсуждения

Проведенные исследования температурного режима в предгорной зоне Северного Кавказа показали, что среднегодовые температуры в период 1961–2022 гг. на всей территории положительные и изменяются от 8,3 °С на МС Кисловодск до 10,6 °С на МС Буйнакск, самой южной из всех рассматриваемых станций. При анализе более коротких периодов повторяется та же тенденция, но наблюдается статистически значимое увеличение средних годовых температур в период 2001–2022 гг. – от 9,2 °С на МС Кисловодск до 11,6 °С на МС Буйнакск по сравнению с периодом 1961–2000 гг., когда среднегодовая температура была 7,8 и 10,0 °С соответственно.

В среднем в предгорной зоне Северного Кавказа в период 1961–2022 гг. температура меняется от -2,8 в зимний сезон до 22,7 °С в летний, а в начале XXI столетия – от -2,0 до 23,6 °С, что также говорит о повышении средней температуры.

На рис. 2 показаны среднегодовые аномалии температуры, осредненные по территории предгорной зоны за период 1961–2022 гг., относительно новой климатической нормы 1991–2020 гг. (рис. 2а) и используемой ранее с 1961 по 1990 г. (рис. 2б).

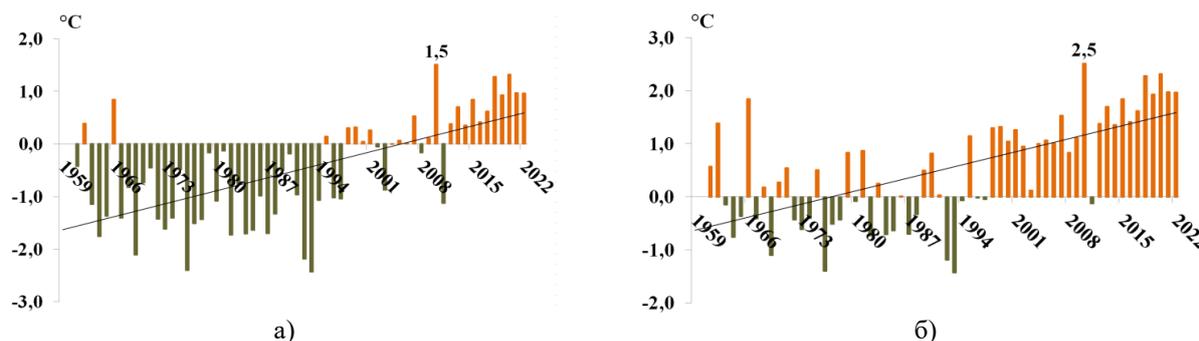


Рис. 2. Средние годовые аномалии температуры в предгорной зоне Северо-Кавказского региона за период 1961–2022 гг.

Fig. 2. Average annual temperature anomalies in the foothill zone of the North Caucasus region for the period 1961–2022

Как видно из рис. 2а, число положительных аномалий (22) почти в два раза меньше числа отрицательных аномалий (40). За последние 10 лет – с 2012 по 2022 г. – наблюдались исключительно положительные аномалии средней годовой температуры в рассматриваемом регионе.

На рис. 2б представлены отклонения от нормы 1961–1990 гг., которая использовалась до настоящего времени. Из рисунка видно, что в этом случае число положительных аномалий (39) больше числа отрицательных аномалий (23).

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Самое большое значение годовой аномалии – 2,5 °С (в сравнении с климатической нормой 1961–1990 гг.) – зафиксировано в 2010 г. за счет высокой аномалии в летний сезон, которая составила в предгорной зоне Северного Кавказа 3,7 °С. По результатам исследований других авторов, по России в целом лето этого года было самым теплым за период наблюдений с 1939 г., аномалия составила 1,8 °С [2].

В качестве примера можно привести аномалии среднесезонной и годовой температур по данным МС Нальчик за 2010–2022 гг. (табл. 2).

Для оценки межгодовой изменчивости температуры рассчитывалось σ – стандартное отклонение и νT – отклонение от нормы (средних за 1961–1990 гг.)

Во всех сезонах наблюдались положительные аномалии средних температур с превышением межгодовой изменчивости от 1 σ до 3 σ . Оранжевым цветом выделены значения межгодовой изменчивости более 1 σ , розовым – более 1,69 σ (5 и 95 %-ные экстремумы при Гауссовом распределении), красным – более 3 σ .

Аномальные значения температур, превышающих межгодовую изменчивость более чем на 3 σ (красные ячейки), наблюдались только в летний сезон 2010 г. В период с 2011 по 2017 г. (за исключением 2013 г.) межгодовая изменчивость не превышала 1,69 σ . С 2018 по 2022 г. межгодовая изменчивость как в летний сезон, так и в году в целом находилась в пределах от 1,69 до 3,0. Лето 2010 г. на МС Нальчик остается самым жарким за всю историю наблюдений, когда межгодовая изменчивость превысила 3 σ .

Таблица 2

Сезонные аномалии температур для м/станции Нальчик в 2010–2022 гг.
Seasonal temperature anomalies for the Nalchik weather station in 2010–2022

Годы	Год		Зима		Весна		Лето		Осень	
	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C	νT , °C	σ , °C
2010	2,1	0,95	1,0	1,77	1,0	1,14	3,6	1,19	2,6	1,14
2011	0,6	0,94	2,1	1,77	-0,5	1,13	1,6	1,18	-0,8	1,15
2012	1,5	0,94	-1,7	1,78	2,5	1,16	1,8	1,18	3,3	1,21
2013	1,7	0,95	2,8	1,79	2,6	1,20	1,1	1,17	0,4	1,20
2014	0,7	0,95	-0,1	1,78	2,0	1,20	1,8	1,18	-0,7	1,29
2015	1,6	0,95	2,2	1,78	0,6	1,2	1,9	1,18	1,9	1,2
2016	1,4	0,95	3,5	1,81	2,0	1,21	1,9	1,18	-0,2	1,19
2017	1,5	0,95	0,2	1,80	1,1	1,20	2,0	1,2	0,4	1,2
2018	2,1	0,96	3,5	1,80	2,0	1,21	2,3	1,19	1,6	1,19
2019	1,8	0,97	3,0	1,80	0,5	1,2	2,4	1,2	0,9	1,18
2020	2,4	0,99	3,5	1,90	1,7	1,2	2,6	1,2	2,7	1,2
2021	1,9	1,0	2,0	1,85	1,9	1,20	3,0	1,24	0,1	1,19
2022	1,7	1,0	3,9	1,85	0,6	1,19	2,5	1,25	0,6	1,19

Самыми холодными годами за период 1961–2022 гг., когда температура воздуха опускалась существенно ниже климатической нормы, были 1976 и 1993 гг., когда аномалия составила -1,4 °С (в сравнении с климатической нормой 1961–1990 гг.). Аномально низкая температура 1993 г. была следствием выбросов сульфатного аэрозоля в стратосферу после извержения вулкана Пинатубо (Филиппины, 1991 г.) [1, 14, 16].

Для оценки тенденции изменения температурного режима в предгорной зоне Северного Кавказа строились линейные тренды за период 1961–2022 гг. Анализ многолетних изменений среднегодовой температуры воздуха показал, что во всем периоде наблюдаются положительные однонаправленные тренды с интенсивным ростом в последние годы. Такая тенденция характерна не только для предгорной зоны Северного Кавказа, но и для других районов РФ [10, 11, 12].

Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Таблица 3

Коэффициенты наклона линейного тренда средней месячной температуры воздуха
в предгорной зоне Северного Кавказа
Slope coefficients of the linear trend of the mean monthly air temperature
in the foothill zone of the North Caucasus

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
1961–2022 гг., °C/10 лет													
Буйнакск	0,7	0,4	0,5	0,2	0,2	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,0	0,2	0,4
Владикавказ	0,7	0,7	0,5	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,1	0,3	0,4
Кисловодск	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5	0,5	0,6	0,4	0,4	0,0	0,06	0,3
Нальчик	0,6	0,5	0,5	0,1	0,2	0,4	0,4	0,6	0,3	0,4	0,05	0,2	0,4
Ставрополь	0,1	0,4	0,3	0,1	0,1	0,4	0,3	0,6	0,3	0,3	0,0	0,1	0,3
Черкесск	0,5	0,5	0,4	0,1	0,1	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,0	0,2	0,3
1961–2000 гг., °C/10 лет													
Буйнакск	0,5	0,02	0,2	0,5	-0,3	0,2	0,5	0,4	0,2	0,4	-0,4	-0,1	0,2
Владикавказ	0,7	0,3	0,2	0,4	-0,2	0,2	0,4	0,1	0,1	0,4	-0,5	0,1	0,2
Кисловодск	0,1	-0,2	-0,2	0,08	-0,4	-0,03	0,2	0,04	-0,1	0,04	-0,7	-0,3	-0,1
Нальчик	0,8	0,2	0,2	0,4	-0,2	0,2	0,4	0,4	0,1	0,4	-0,5	-0,06	0,2
Ставрополь	0,4	-0,05	0,0	0,2	0,1	0,4	0,3	0,6	0,3	0,3	-0,9	0,1	0,0
Черкесск	0,5	-0,1	0,01	0,2	0,1	0,4	0,3	0,5	0,3	0,3	0,0	0,2	0,0
2001–2022 гг., °C/10 лет													
Буйнакск	1,7	0,7	-0,3	1,2	1,2	1,6	0,7	0,6	0,1	-0,1	-0,9	1,1	0,8
Владикавказ	0,6	0,9	-0,4	1,2	0,8	1,4	0,7	0,5	0,2	0,1	-0,1	1,3	0,6
Кисловодск	0,4	1,2	-0,1	1,6	1,1	1,9	1,0	1,1	0,8	0,5	0,2	1,4	0,9
Нальчик	0,6	0,6	-0,3	0,7	0,5	1,1	0,5	0,3	-0,8	-0,2	-0,3	0,9	0,3
Ставрополь	0,4	1,0	-0,4	0,8	0,4	1,5	0,3	0,4	-0,1	0,1	-0,3	1,3	0,6
Черкесск	0,5	1,4	-0,2	1,0	0,9	1,9	0,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,7	0,6

Примечание: статистически значимые тренды на 5 % уровне выделены жирным шрифтом.

Note: Statistically significant trends at the 5% level are in bold.

Как видно из табл. 3, скорость роста температуры за многолетний период (1961–2022 гг.) во все месяцы имела положительную направленность. Статистически значимые тренды наблюдались на всех рассматриваемых станциях с июня по сентябрь и в целом в течение года, а также на МС Буйнакск, Владикавказ, Нальчик и Черкесск с января по март и на всех станциях, кроме Ставрополя в октябре.

При рассмотрении коротких периодов, относящихся к концу прошлого столетия (1961–2000 гг.) и началу нового (2001–2022 гг.), наблюдаются как положительные, так и отрицательные тенденции изменения температуры. Особенно выделяется март в период 2001–2022 гг., где на всех станциях предгорной зоны угловой коэффициент линейного тренда имеет отрицательное значение и достигает $-0,4$ °C/10 лет на станциях Владикавказ и Ставрополь. Отрицательный тренд также наблюдался на станции Нальчик во все осенние месяцы, на станции Буйнакск в октябре и ноябре, на станции Ставрополь в сентябре и ноябре и во Владикавказе в ноябре. Такие показатели линейного тренда говорят о снижении темпов потепления в осенние месяцы и в марте. Статистически значимые тренды на всех станциях в этот период отмечаются в июне.

В летний сезон значение углового коэффициента в начале XXI в. значительно выше, чем за весь исследованный период, что говорит о продолжающемся потеплении.

Наибольшая скорость роста средней годовой температуры наблюдалась на метеостанции Кисловодск в период 2001–2022 гг. ($b = 0,9$ °C/10 лет, $D = 34$ %) за счет усиления скорости роста в летний сезон, хотя угловой коэффициент линейного тренда в период 1961–2022 гг. составлял $0,3$ °C/10 лет и не выделялся по сравнению с другими станциями.

В период 1961–2000 гг. угловой коэффициент линейного тренда имел отрицательное значение $b = -0,1$ °C/10 лет и был статистически незначимый $D = 3,6$ % (рис. 3а).

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Наименьшая годовая скорость потепления в период 2001–2022 гг. наблюдалась на МС Нальчик, где угловой коэффициент линейного тренда $b = 0,3$ °C/10 лет при $D = 16$ %. За весь период наблюдения скорость роста составила $0,4$ °C/10 лет при $D = 44$ %, а в конце прошлого столетия – $b = 0,2$ °C/10 лет при $D = 5,8$ % (рис. 3б).

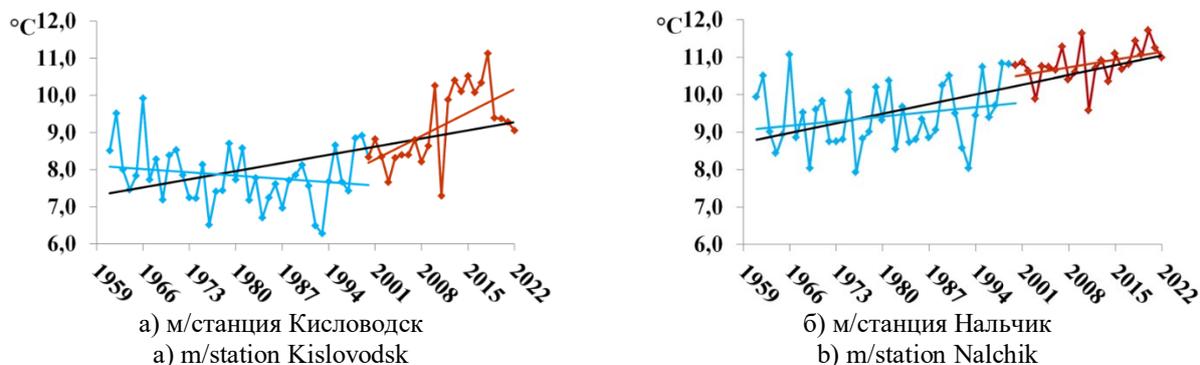


Рис. 3. Ход средних годовых температур за периоды 1961–2022, 1961–2000, 2001–2022 гг.
Fig. 3. Variation of average annual temperatures for the periods 1961–2022, 1961–2000, 2001–2022

Рассмотрим распределение атмосферных осадков в предгорной зоне Северного Кавказа в период 1961–2022 гг. Осадки, наряду с температурой воздуха, являются одной из основных характеристик климата любой территории.

Как отмечается в ежегодном докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации, на территории России преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков: тренд составляет $1,8$ % нормы/10 лет, вклад в дисперсию – 35 % (тренд статистически значим на уровне 1 %) [6].

Для предгорной зоны Северного Кавказа были определены средние многолетние значения количества осадков на рассматриваемых МС как за весь исследуемый период, так и за периоды 1961–2000 и 2001–2022 гг.

Наименьшая сумма осадков в период 1961–2022 гг. наблюдалась в октябре и имела минимальное значение 3 мм в 1974 г., что ниже нормы (1961–1990 гг.) в $15,7$ раза. Наибольшая сумма осадков отмечается в июне, и их максимум зафиксирован в 2002 г. (219 мм), что превышает норму более чем в $2,1$ раза.

За 22 года нового века отмечен 31 случай месячной суммы осадков более 100 мм, из них по 10 случаев в мае, 11 в июне и 1 случай с месячной суммой осадков более 200 мм в июне. За этот период было зафиксировано также 6 случаев, когда месячная сумма осадков не превышала 10 мм, из них 4 случая приходится на зиму, 2 на осень.

Средняя годовая сумма осадков имеет наибольшее значение на МС Владикавказ и составляет в период 1961–2022 гг. 930 мм, достигая 958 мм в период 2001–2022 гг. Угловой коэффициент линейного тренда в период 1961–2022 гг. составил $b = 1,08$ мм/месяц/10 лет и был статистически незначимый $D = 0,01$ %, в период 1961–2000 гг. тренд также незначим и имеет отрицательное значение ($b = -14,3$ мм/месяц/10 лет, $D = 0,9$ %). В начале нового столетия (2001–2022 гг.) наблюдается статистически значимое уменьшение количества осадков ($b = -99,9$ мм/месяц/10 лет, $D = 15,3$ %) (рис. 4а).

Наименьшее значение годовой суммы осадков наблюдалось в Буйнакске и составило 465 – 466 мм во всех рассматриваемых периодах. В период 2001–2022 гг., также как и на МС Владикавказ, угловой коэффициент линейного тренда статистически значимый и имеет отрицательное значение ($b = -50,3$ мм/месяц/10 лет, $D = 15,9$ %) (рис. 4б).

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

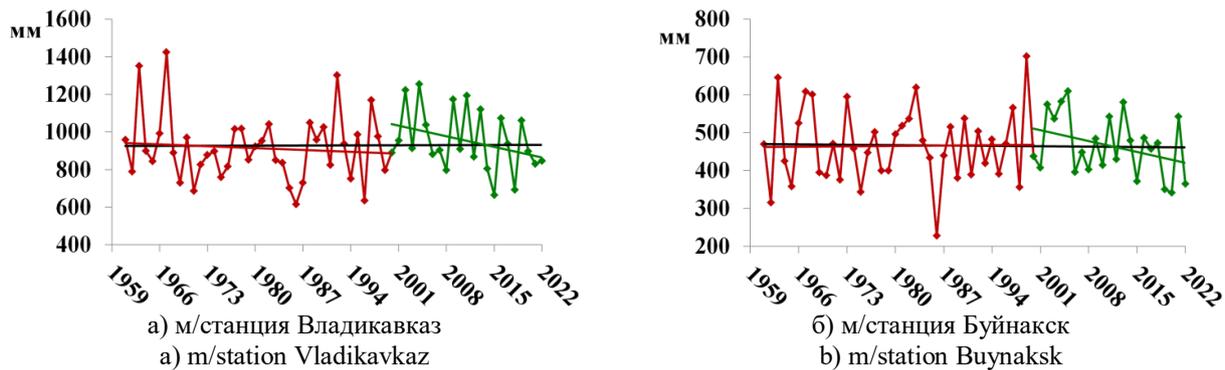


Рис. 4. Ход годовых сумм осадков за периоды 1961–2022, 1961–2000, 2001–2022 гг.

Fig. 4. Variation of annual precipitation amounts for the periods 1961–2022, 1961–2000, 2001–2022

Отмечен хорошо выраженный годовой ход атмосферных осадков с максимумом в мае-июне от 60 мм на станции Буйнакск до 169 мм на станции Владикавказ и минимумом в зимние месяцы от 16 до 36 мм на тех же станциях в период 1961–2022 гг. В среднем по предгорной зоне Северо-Кавказского региона за весь рассматриваемый период многолетия годовая сумма осадков составила 637 мм, в периоды 1961–2000 и 2001–2022 гг. – 634 мм и 640 мм соответственно, при этом рассчитанные величины значительно не отличаются.

Как для температурного режима, так и для сумм осадков были построены линейные тренды за весь исследуемый период 1961–2022 гг., а также периоды 1961–2000 и 2001–2022 гг. (табл. 4).

Таблица 4

Коэффициенты наклона линейного тренда годовых и месячных сумм осадков
в предгорной зоне Северного Кавказа
Slope coefficients of the linear trend of annual and monthly precipitation totals
in the piedmont zone of the North Caucasus

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
<i>1961–2022 гг., мм/месяц/10 лет</i>													
Буйнакск	0,57	0,3	2,56	-1,99	1,13	-1,8	0,03	-2,76	-0,72	0,03	1,12	0,08	-1,46
Владикавказ	1,4	1,52	2,93	1,17	2,12	3,71	-2,98	-3,3	-3,47	1,38	-1,2	-2,18	1,08
Кисловодск	1,99	-0,03	4,25	-0,97	0,27	-4,28	-3,54	-6,54	-6,07	0,81	1,85	0,53	-3,92
Нальчик	-0,21	-0,68	0,43	-4,45	0,03	0,69	-1,91	-0,79	1,86	1,04	0,3	-1,15	-4,85
Ставрополь	-0,25	0,84	2,5	-2,15	3,81	-2,83	1,76	-5,9	1,27	1,37	-0,77	-2,64	-2,99
Черкесск	0,22	0,48	2,7	-1,05	0,28	-1,02	-4,32	-0,25	2,07	4,0	-0,6	-0,99	1,51
<i>1961–2000 гг., мм/месяц/10 лет</i>													
Буйнакск	0,6	1,2	0,29	-5,59	1,81	-2,96	1,19	-5,22	6,81	-0,95	4,88	-0,49	1,55
Владикавказ	3,57	4,4	-1,98	-4,85	-3,16	6,35	-11,8	-1,12	-5,4	-0,15	2,21	-2,34	-14,3
Кисловодск	1,19	1,29	0,39	2,96	-1,71	-4,39	0,64	-0,81	1,22	1,23	2,43	0,21	4,65
Нальчик	-1,15	0,67	-3,48	-2,75	-8,19	4,89	-0,14	3,91	5,55	1,96	3,04	-2,29	2,04
Ставрополь	-2,27	-1,74	-1,32	2,86	-1,6	2,29	-1,51	-7,32	-3,41	4,46	1,96	-1,93	-9,52
Черкесск	-1,41	2,36	-2,65	2,26	-1,45	1,39	-1,55	5,19	3,12	5,45	2,71	-0,56	13,6
<i>2001–2022 гг., мм/месяц/10 лет</i>													
Буйнакск	-0,42	-2,63	1,86	-17,6	-1,58	-11,17	18,9	-17,9	1,75	-3,23	0,94	1,64	-50,3
Владикавказ	1,0	4,28	2,86	-15,4	9,1	-28,4	11,8	-9,26	-10,5	-21,8	-17,6	-9,35	-99,9
Кисловодск	6,62	-5,36	-1,47	-12,9	7,31	-31,1	-6,92	-19,7	-16,5	-6,0	-8,1	0,29	-93,9
Нальчик	4,61	-4,92	-0,68	-21,6	13,6	-23,0	-16,3	7,76	-4,43	-5,14	-10,6	-7,83	-68,5
Ставрополь	5,37	-0,12	2,49	-4,03	19,9	-9,9	11,1	-7,82	1,1	-18,0	-7,12	3,23	-3,76
Черкесск	9,0	-7,47	4,69	-10,7	17,8	-11,9	12,3	-20,2	-1,67	-11,9	-15,5	-3,43	-39,0

Примечание: статистически значимые тренды на 5 % уровне выделены жирным шрифтом.

Note: Statistically significant trends at the 5% level are in bold.

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Расчет линейных трендов годовых сумм осадков для 62-летнего периода показал, что изменение режима осадков не равномерно, имеются как положительные, так и отрицательные тенденции, в основном статистически незначимые. Во всем рассматриваемом периоде выделяется август, когда на всех станциях значение углового коэффициента отрицательное. При анализе короткого периода (2001–2022 гг.) видно, что отрицательные тенденции на всех станциях наблюдаются в апреле (все тренды статистически значимы, кроме Ставрополя), в июне со статистически значимым трендом в Кисловодске и в октябре, где тренд значимый на станциях Владикавказ и Ставрополь, а также в году в целом (тренд статистически значим во Владикавказе, Кисловодске и Нальчике).

Заключение

Исследования температурного режима в предгорной зоне Северного Кавказа показали, что среднегодовая температура воздуха в период 1961–2022 гг. меняется от $-2,8$ в зимний сезон до $22,7$ °С в летний. При анализе периода 2001–2022 гг. получено, что среднегодовая температура воздуха повысилась и меняется от $-2,0$ в зимний до $23,6$ °С в летний сезон.

Расчитаны среднегодовые аномалии температуры за весь рассматриваемый период и получено, что самое большое значение годовой аномалии $-2,5$ °С (в сравнении с климатической нормой 1961–1990 гг.) – зафиксировано в 2010 г., когда аномальные значения температур превышали межгодовую изменчивость более чем на 3σ. Аномально низкая температура наблюдалась в 1993 г, когда аномалия составила $-1,4$ °С.

Анализ многолетних изменений среднегодовой температуры воздуха (1961–2022 гг.) показал, что во всем периоде наблюдаются положительные однонаправленные тренды с интенсивным ростом в последние годы. При рассмотрении коротких периодов, относящихся к концу прошлого столетия (1961–2000 гг.) и к началу нового (2001–2022 гг.), наблюдаются как положительные, так и отрицательные тенденции изменения температуры.

При исследовании распределения атмосферных осадков в предгорной зоне Северного Кавказа получены данные о том, что среднегодовая сумма осадков имеет наибольшее значение на МС Владикавказ и составляет 930 мм, а наименьшее на МС Буйнакск (465 мм). Годовой ход атмосферных осадков хорошо выражен с максимумом в мае-июне от 60 мм на станции Буйнакск до 169 мм на станции Владикавказ и минимумом в зимние месяцы от 16 до 36 мм на тех же станциях.

Расчет линейных трендов годовых сумм осадков показал, что изменение режима осадков не равномерно, имеются как положительные, так и отрицательные тенденции, в основном статистически незначимые.

Библиографический список

1. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК. Нальчик: ООО «Фрегат», 2020. 476 с.
2. Булыгина О.Н., Кориунова Н.Н., Разуваев В.Н. Температурный режим на территории России летом 2010 года // Труды ВНИИГМИ-МЦД. Анализ изменений климата и их последствий. Обнинск, 2012. Вып. 176. С. 13–22.
3. Груза Г.В., Ранькова Э.В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата Российской Федерации: температура воздуха // Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 2012. 194 с.
4. Груза Г.В., Ранькова Э.А., Рочева Э.В., Смирнов В.Д. Географические и сезонные особенности современного глобального потепления // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Т. 2. С. 41–62.
5. Гусакова М.А., Карлин Л.Н. Оценка вклада парниковых газов, водяного пара и облачности в изменение глобальной приповерхностной температуры воздуха // Метеорология и гидрология. 2014. № 3. С. 19–26.
6. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. Москва: Росгидромет, 2023. 104 с. ISBN 978-5-906099-58-7
7. Жук В.О., Ергина Е.И. Анализ современной метеорологической ситуации в Предгорном Крыму // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2018. Т. 4(70), № 2. С. 227–241.
8. Ковриго П.А. Изменение локального климата в условиях глобального потепления // Вестник БГУ. 2010. Сер. 2, № 2. С. 86–91.
9. Корчагина Е.А. Исследование динамики сумм атмосферных осадков в горной части Карачаево-Черкесской республики с 1961 по 2015 г. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2017. № 3 (77). С. 26–32.

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

10. Мустафина А.Б. Изменения основных климатических показателей на территории Республики Татарстан за период 1966–2013 г. // Географический вестник. 2017. № 2(41). С. 99–108. doi: 10.17072/2079-7877-2017-2-99-108
11. Носкова Е.В., Вахнина И.Л. Анализ современных пространственно-временных изменений температуры воздуха в Забайкальском крае // Географический вестник. 2023. № 1(64). С. 116–126. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-116-126
12. Переведенцев Ю.П., Парубова Е.М., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Мягков М.А. Изменчивость основных климатических показателей на территории Приволжского федерального округа в период 1966–2018 гг. // Вестник Удмуртского университета. 2021. Т. 31, вып. 1. С. 65–75.
13. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Изменения приземной температуры воздуха Северного полушария за период 1850–2014 гг. // Ученые записки Казанского университета. 2015. Т. 157, кн. 3. С. 8–19.
14. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Мониторинг современных изменений климата Земли // Устойчивое развитие регионов: опыт, проблемы, перспективы: сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 101–114.
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. Ташилова А.А. Алгоритм исследования эффекта вулканического охлаждения на фоне глобального потепления // Модели мышления и интеграция информационно-управляющих систем (ММИУС-2018). Материалы второй Международной научной конференции, посвящённой 25-летию юбилею Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук. 2018. С. 288–294.
17. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научно-технологические, 2022. 124 с.
18. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменения современного климата. Обнинск: Изд. ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. 246 с.
19. Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K. 2010. Global surface temperature change. Rev. Geophys., 48, RG4004, doi: 10.1029/2010RG000345.
20. WMO, 2021: State of the Global Climate 2020 – WMO, № 1264, 56 p. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618 (дата обращения 20.03.2022).

References

1. Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. Prostranstvenno-vremennoye izmeneniye klimata yuga yevropeyskoy territorii Rossii, otsenka yego posledstviy, metody i modeli adaptatsii APK. Nal'chik: OOO «Fregat», 2020, 476 p.
2. Bulygina O.N., Korshunova N.N., Razuvayev V.N. Temperaturnyy rezhim na territorii Rossii letom 2010 goda. *Trudy VNIIGMI-MTSD // Analiz izmeneniy klimata i ikh posledstviy*. Obninsk, 2012, vyp.176, pp.13–22.
3. Gruza G.V., Ran'kova E.V. Nablyudayemye i ozhidayemye izmeneniya klimata Rossiyskoy Federatsii: temperatura vozdukha // Obninsk, VNIIGMI-MTSD, 2012, 194 p.
4. Gruza G.V., Ran'kova E.Ya., Rocheva E.V., Smirnov V.D. Geograficheskiye i sezonnyye osobennosti sovremennogo global'nogo potepeniya // *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*. 2015, vol. 2, pp. 41–62
5. Guskova M.A., Karlin L.N. Otsenka vkladov parnikovykh gazov, vodyanogo para i oblachnosti v izmeneniye global'noy pripoverkhnostnoy temperatury vozdukha // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2014, no. 3, pp. 19–26.
6. Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2022 god. Moskva: Rosgidromet, 2023, 104 p. ISBN 978-5-906099-58-7
7. Zhuk V.O., Yergina Ye.I. Analiz sovremennoy meteorologicheskoy situatsii v Predgornom Krymu // *Uchonyye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2018, vol. 4(70), no. 2, pp. 227–241.
8. Kovrigo P.A. Izmeneniye lokal'nogo klimata v usloviyakh global'nogo potepeniya // *Vestnik BGU*. 2010, Ser. 2, no. 2, pp. 86–91.
9. Korchagina Ye.A. Issledovaniye dinamiki summ atmosferykh osadkov v gornoy chasti Karachayevo-Cherkesskoy respubliky s 1961 po 2015 gg. // *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN*. 2017, no. 3(77), pp. 26–32.
10. Mustafina A.B. Izmeneniya osnovnykh klimaticheskikh pokazateley na territorii Respubliki Tatarstan za period 1966–2013 gg. // *Geograficheskiy vestnik*. 2017, no. 2(41), pp. 99–108. doi: 10.17072/2079-7877-2017-2-99-108
11. Noskova Ye.V., Vakhnina I.L. Analiz sovremennykh prostranstvenno-vremennykh izmeneniy temperatury vozdukha v Zabaykal'skom krae // *Geograficheskiy vestnik*. 2023, no. 1(64), pp. 116–126. doi: 10.17072/2079-7877-2023-1-116-126
12. Perevedentsev Yu.P., Parubova Ye.M., Sherstyukov B.G., Shantalinskiy K.M., Myagkov M.A. Izmenchivost' osnovnykh klimaticheskikh pokazateley na territorii Privolzhskogo federal'nogo okruga v period 1966–2018 gg. // *Vestnik Udmurtskogo universiteta*. 2021, vol. 31, vyp.1, pp. 65–75.
13. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskiy K.M. Izmeneniya prizemnoy temperatury vozdukha Severnogo polushariya za period 1850–2014 gg. // *Uchonyye zapiski Kazanskogo universiteta*. 2015, vol. 157. Kn. 3, pp. 8–19.
14. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskiy K.M. Monitoring sovremennykh izmeneniy klimata Zemli // *Ustoychivoye razvitiye regionov: opyt, problemy, perspektivy. Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. 2017, pp. 101–114.
15. Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V., Taubekova Z.A. Analiz izmenchivosti temperatury na gornoy territorii Severnogo Kavkaza za 1961–2013 gg. // *Meteorologiya i gidrologiya*. 2016, no. 9, pp. 16–26.
16. Tashilova A.A. Algoritm issledovaniya effekta vulkanicheskogo okhlazhdeniya na fone global'nogo potepeniya // *Modeli myshleniya i integratsiya informatsionno-upravlyayushchikh sistem (MMIUS-2018). Materialy vtoroy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchonnoy 25-letnemu yubileyu Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2018, pp. 288–294.
17. Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshcheye rezюме. СПб.: Nauchno-tekhnologicheskiye, 2022, 124 p.

Метеорология

Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

18. Sherstyukov B.G. Regional'nyye i sezonnyye zakonomernosti izmeneniya sovremennogo klimata // Izd. GU «VNIIGMI-MTSD». Obninsk. 2008, 246 p.

19. Hansen J., Ruedy R., Sato M., Lo K., 2010. Global surface temperature change. Rev. Geophys., 48, RG4004, doi: 10.1029/2010RG000345.

20. WMO, 2021: State of the Global Climate 2020 - WMO, no. 1264, 56 p. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10618 (Accessed 03/20/2022).

Статья поступила в редакцию: 25.04.2023, одобрена после рецензирования: 10.09.2023, принята к опубликованию: 14.03.2024.

The article was submitted: 25 April 2023; approved after review: 10 September 2023; accepted for publication: 14 March 2024.

Информация об авторах

Information about the authors

Людмила Михайловна Федченко

доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник Высокогорного геофизического института;
360001, Россия, г. Нальчик, просп. Ленина, 2

e-mail: fedchenkolm@mail.ru

Lyudmila M. Fedchenko

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Chief Researcher, High-Mountain Geophysical Institute;
2, prospekt Lenina, Nalchik, 360001, Russia

Алла Амарбиевна Ташилова

доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Высокогорного геофизического института;
360001, Россия, г. Нальчик, просп. Ленина, 2

e-mail: tashilovaa@mail.ru

Alla A. Tashilova

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, High-Mountain Geophysical Institute;
2, prospekt Lenina, Nalchik, 360001, Russia

Лара Асировна Кешева

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Высокогорного геофизического института;
360001, Россия, г. Нальчик, просп. Ленина, 2

e-mail: kesheva.lara@yandex.ru

Lara A. Kesheva

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, High-Mountain Geophysical Institute;
2, prospekt Lenina, Nalchik, 360001, Russia

Наталья Вячеславовна Теунова

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Высокогорного геофизического института;
360001, Россия, г. Нальчик, просп. Ленина, 2

e-mail: nata0770@yandex.ru

Nanaliya V. Teunova

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, High-Mountain Geophysical Institute;
2, prospekt Lenina, Nalchik, 360001, Russia

Вклад авторов

Федченко Л.М. – идея, написание статьи, научное редактирование текста.

Ташилова А.А. – идея, написание статьи, научное редактирование текста.

Кешева Л.А. – сбор и обработка материала, написание статьи, построение рисунков.

Теунова Н.В. – сбор и обработка материала, написание статьи, построение рисунков.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

Lyudmila M. Fedchenko – the idea; writing of the article; scientific editing of the text.

Alla A. Tashilova – the idea; writing of the article; scientific editing of the text.

Lara A. Kesheva – collection and processing of the material; writing of the article; plotting.

Nanaliya V. Teunova – collection and processing of the material; writing of the article, plotting.

The authors declare no conflict of interest.