

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-52-57
УДК.551.524

**Современные тенденции изменения экстремальных температур в Самцхе-Джавахети
Элизбарашвили Элизбар*, Элизбарашвили Мария**, Диасамидзе Цицино*, Элизбарашвили
Шалва*, Челидзе Нана***

eelizbar@hotmail.com

* Институт Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета

** Тбилисский Государственный Университет им. И.Джавахишвили

Резюме. В статье рассмотрены современные тенденции изменения экстремальных температур в регионе Самцхе–Джавахети в условиях интенсивного глобального потепления. Исследование выполнено на основе данных трех метеорологических станций — Ахалкалаки (1717 м), Ахалцихе (962 м) и Боржоми (789 м) — за период 1961–2020 гг. Используются климатические индексы экстремальных температур, рекомендованные ВМО и МГЭИК (Тхх, Тнн, Тхп, Тнх, Тх90р, Тн10р). Статистическая значимость трендов оценивалась по р-критерию (уровень значимости 0,05). Установлено, что изменения суточных максимумов температуры (Тхх) носят разнонаправленный характер: в Ахалцихе и Боржоми отмечен положительный тренд, в Ахалкалаки — отрицательный, однако во всех случаях изменения статистически незначимы. Аналогичная картина наблюдается для абсолютных минимумов температуры (Тнн), при этом в Ахалцихе выявлен статистически значимый рост (0,7 °С за десятилетие). Более выраженные изменения характерны для индекса Тнх (максимум абсолютных минимумов температуры): в Ахалцихе и Боржоми зафиксирован статистически значимый рост (0,4 и 0,3 °С за десятилетие соответственно), что свидетельствует о смягчении холодных экстремумов. В Ахалкалаки изменения носят отрицательный, но статистически незначимый характер. Анализ процентильных индексов показал снижение числа дней с экстремально высокими температурами (Тх90р) в Ахалкалаки (статистически значимо), тогда как в Ахалцихе и Боржоми изменения несут незначительный характер. В то же время изменения холодных экстремумов (Тн10р) имеют разнонаправленный характер: в Ахалкалаки отмечен рост числа таких дней, а в Ахалцихе и Боржоми — их уменьшение; последние изменения статистически значимы. Ключевые слова: экстремальные температуры, тренд, статистическая значимость

Введение. Проведенные за последние годы исследования некоторых климатических индексов Грузии [1-7 и др.], рекомендованных экспертной группой мониторинга и индексов Межгосударственной комиссии экспертов по изменению климата (МГЭИК) Всемирной Метеорологической Организации(ВМО) для оценки региональных климатических изменений в условиях глобального потепления[8,9], расширили наши представления о климате и изменении климата Грузии в условиях глобального потепления. В частности, было установлено, что наиболее чувствительными индикаторами изменения климата являются экстремальные температуры, жаркие дни, тропические ночи и морозные дни.

В [1] исследованы ежегодные изменения индексов экстремальных климатических явлений в Грузии за период 1971–2010 гг с использованием гомогенизированных рядов суточных минимальных и максимальных температур и осадков. В [2,3] по материалам наблюдений 50 метеорологических станций за период 1936-2013 годы исследованы динамика числа жарких дней, их повторяемость, интенсивность, и продолжительность на территории Грузии, определены периоды наступления жарких дней в течении года и их максимальная интенсивность в различных физико-географических условиях, выполнено районирование территории Грузии по скорости изменения числа жарких дней. В [4] по материалам наблюдений 30 метеорологических станций Грузии за период 1936-2013 годы исследованы география, статистическая структура, интенсивность, продолжительность и динамика тропических ночей, построена геоинформационная карта числа тропических ночей за базовый период ВМО, определены период наступления и повторяемости их различных градаций, установлены закономерности многолетнего изменения. В [5] по материалам наблюдений 25 метеорологических станций за период 1936-2013 годы исследована статистическая структура морозов и морозных дней в горных районах Грузии, определены непрерывная продолжительность морозов, период наступления и повторяемости различных градаций числа морозных дней, установлены закономерности их многолетнего изменения.

В настоящей статье исследованы современные тенденции изменения экстремальных температур в Самцхе-Джавахети в условиях интенсивного глобального потепления.

Материалы и методы. В исследовании использованы материалы наблюдений трех метеорологических станций-Ахалкалаки (1717м н.у.м), Ахалцихе (962м н.у.м), и Боржоми (789м н.у.м) за период 1961-2020 годы. Климат региона: умеренно континентальный, сравнительно сухой, с холодной зимой. Ландшафты: высокие плато, горные луга, степные участки, вулканические формы, среднегорные хребты, густые леса, перевалы. Рассмотрены следующие климатические индексы экстремальных температур (см.табл.1)

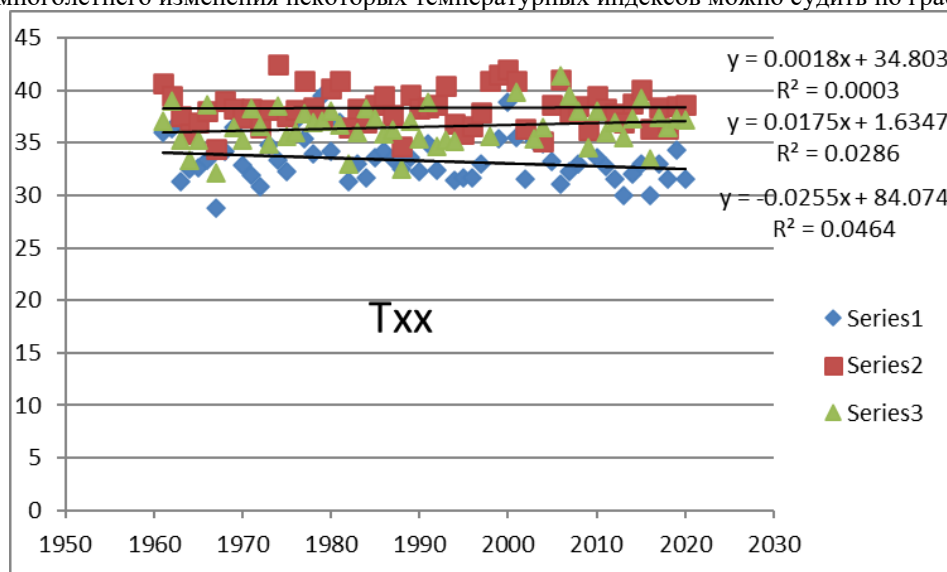
Таблица 1. Индексы экстремальных температур

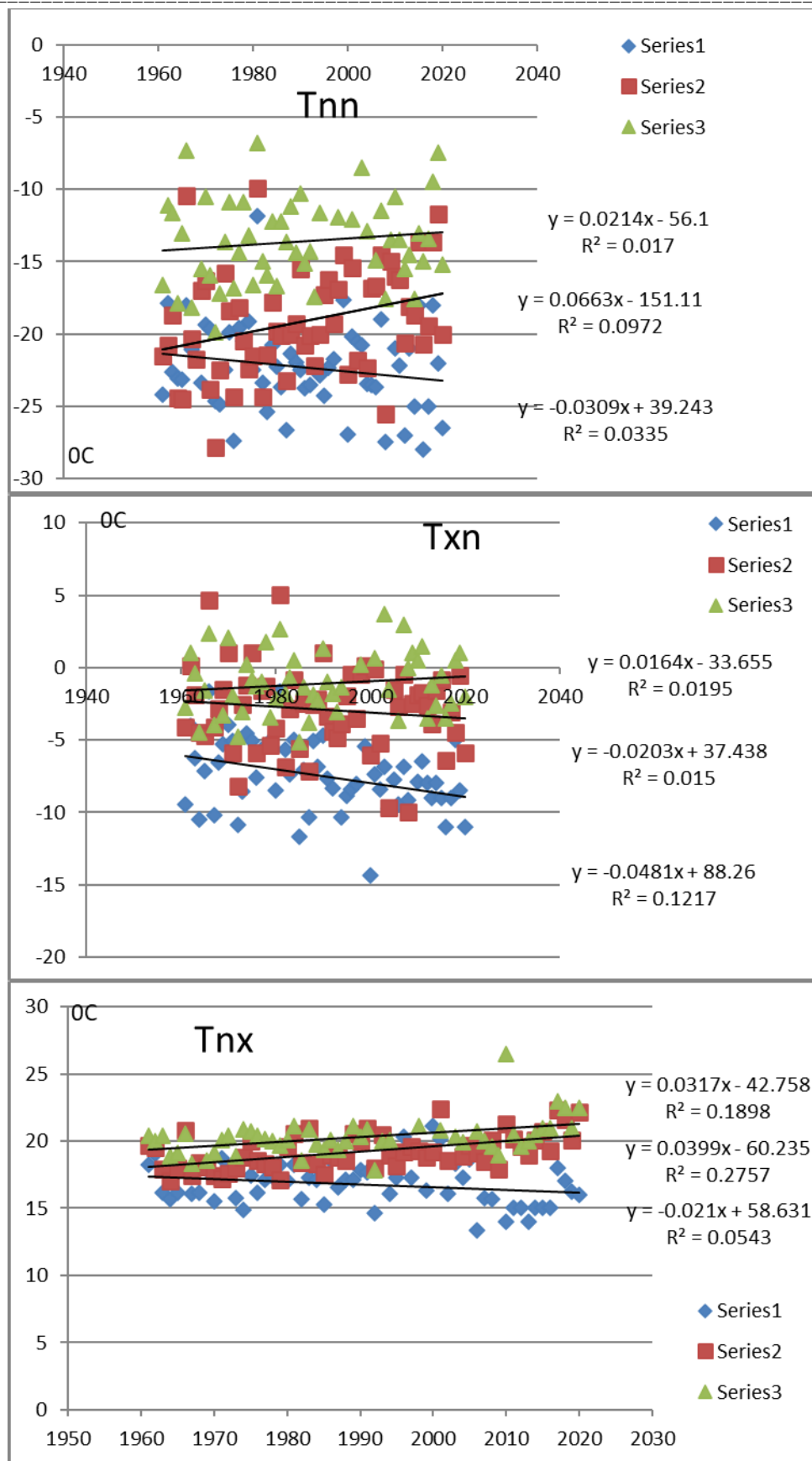
Индекс	Название	Определение	Единица
T _{хх}	суточный максимум температуры	суточный максимум температуры за период исследования	°C
T _{нн}	суточный минимум температуры	суточный минимум температуры за период исследования	°C
T _{хп}	минимум абсолютных максимумов температуры	минимум из абсолютных максимумов температуры	°C
T _{пх}	максимум абсолютных минимумов температуры	максимум из абсолютных минимумов температуры	°C
T _{х90р}	90%-аяпроцентиль максимумов температуры	число дней, когда максамальная температура воздуха превышает пороговое значение, 90%-ую процентиль максимумов температуры	число дней за год
T _{п10р}	10%-аяпроцентиль минимумов температуры	число дней,когда минимальная температ воздуха ниже порогового значения, 10%-ного процентиля минимумов температуры.	число дней за год

Тренд многолетнего изменения климатических индексов оценивался с помощью p -вероятности ошибки первого рода при отклонении нулевой гипотезы (уровень значимости). В качестве нулевой гипотезы было принято, что многолетнее изменение индексов экстремальных температур (тренд) за период 1961-2020 гг. имеет случайный характер. Соответственно альтернативная гипотеза, исключая нулевую, означала истинность изменения этих характеристик во времени (значимость тренда). Если значение p мало (менее или равно 0.05) нулевая гипотеза отвергалась и тренд считался значимым [10].

Обсуждение результатов.

О тенденциях многолетнего изменения некоторых температурных индексов можно судить по графикам (см рис.1).





რის.1. ტენდენციები მრავალწლიანი ცვლილების რამდენიმე ინდექსში ექსტრემალური ტემპერატურის, შესაბამისი წრფივი რეგრესიის განტოლებები და დეტერმინაციის კოეფიციენტი (R^2): 1-ახალკალაკი, 2-ახალციხე, 3-ბორჯომი

Из рис.1 следует, что динамика суточного максимума температуры (T_{xx}) за исследуемый период имел положительный тренд в Ахалцихе и Боржоми, а в Ахалкалаки имел отрицательный тренд. однако эти изменения статистически незначимы.

Аналогичная тенденция отмечается в изменении абсолютных минимумов температуры (T_{nn}). В Ахалцихе и Боржоми температуры увеличивались соответственно со скоростью 0.7 и 0.2 °C за декаду, вкладом тренда в их изменчивость соответственно 10% и 2%. Вклад тренда статистически значим для Ахалцихе. В Ахалкалаки абсолютный минимум температуры также уменьшалась со скоростью 0.3 °C, однако это изменение статистически также незначимо.

В изменении минимумов абсолютных максимумов температуры (T_{xn}) в Ахалцихе и Боржоми отмечается незначительный тренд, а в Ахалкалаки температура уменьшалась со скоростью 0.5 °C за декаду, вкладом тренда в их изменчивость 12%, что статистически значимо.

Изменения максимумов абсолютных минимумов температуры (T_{nx}) более значительны. Так, в Ахалцихе и Боржоми температуры увеличивались соответственно со скоростью 0.4 и 0.3 °C за декаду, вкладом тренда в их изменчивость соответственно 28% и 19%. Эти изменения статистически значимы. В Ахалкалаки максимумы из абсолютных минимумов температуры уменьшались со скоростью 0.2 °C за декаду, вкладом тренда в их изменчивость всего 5%, вследствие чего это изменение статистически незначимо.

В таблице 2 представлены уравнения линейной регрессии за период 1961-2020гг. и соответствующие коэффициенты детерминации (R^2) для 90%-ых перцентилей годовых максимумов температуры и 10%-ых перцентилей годовых минимумов температуры, жирным шрифтом выделены статистически значимые значения

Таблица 2 Уравнения линейной регрессии и соответствующие коэффициенты детерминации (R^2)

Пункт	Уравнение 90%-ая перцентиль максимумов	R^2	Уравнение 10%-ая перцентиль минимумов	R^2
Ахалкалаки	$y=-0.459x+954$	0.15	$y=0.296x-555$	0.14
Ахалцихе	$y=-0.214x+461$	0.05	$y=-0.402x+831$	0.23
Боржоми	$y=-0.169x+379$	0.03	$y=-0.2795x+600$	0.11

Из таблицы следует, что скорости изменения 90%-ых перцентилей годовых максимумов температуры отрицательны и составляют 1-5 дней, вклад тренда в их изменчивость в Ахалкалаки составляют 15%, что статистически значимо. Изменения в Ахалцихе и Боржоми статистически незначимы.

Скорость изменения 10%-ых перцентилей годовых минимумов температуры в Ахалкалаки положительна и составляет около 3 дней за декаду, вкладом тренда в их суммарную изменчивость 14%, а скорости изменения 10%-ых перцентилей годовых минимумов температуры в Ахалцихе и Боржоми отрицательны и составляют 3-4 дня за декаду. Вклад тренда в суммарную изменчивость перцентилей температуры составляет соответственно 23% и 11%. Эти изменения статистически значимы.

Заключение. Проведённое исследование позволило выявить особенности современных изменений экстремальных температур в регионе Самцхе–Джавахети за период 1961–2020 гг. в условиях интенсивного глобального потепления.

Установлено, что наибольшие и статистически значимые изменения связаны с трансформацией холодных температурных экстремумов, особенно в Ахалцихе и Боржоми. Рост максимумов абсолютных минимумов температуры (T_{nx}), а также уменьшение числа дней с экстремально низкими температурами (T_{n10p}) в этих пунктах свидетельствуют о смягчении зимних условий и снижении суровости холодного периода.

В то же время динамика экстремально высоких температур выражена слабее и носит преимущественно статистически незначимый характер. Снижение 90%-ых перцентилей максимумов температуры (T_{x90p}) в Ахалкалаки является единственным статистически значимым изменением среди показателей жарких экстремумов.

Выявлена пространственная неоднородность климатических изменений: в высокогорной зоне (Ахалкалаки) тенденции выражены слабее и отличаются по направлению от низкогорных районов (Ахалцихе, Боржоми). Это подчёркивает важную роль высотной поясности и физико-географических условий в формировании регионального отклика на глобальное потепление.

В целом полученные результаты подтверждают продолжающуюся трансформацию температурного режима региона, прежде всего за счёт ослабления холодных экстремумов, что имеет существенное значение для природных экосистем, сельского хозяйства и социально-экономического развития Самцхе–Джавахети.

ЛИТЕРАТУР-REFERENCES

1. Keggenhoff I., Elizbarashvili M., Amiri-Farahani A., King L. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. *Weather and Climate Extreme*, 2014, 4(2014)75–85
2. Elizbarashvili E. Sh., Kutaladze N. B., Keggenhoff I., Elizbarashvili M. E., Kikvadze B. M., Gogiya N. M. Climate Indices for the Moistening Regimen in the Territory of Georgia amidst Global Warming. - *European Researcher*, Vol. (66), № 1-1, 2014, p.102-107
3. Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M. E., Kutaladze N. B., Elizbarashvili Sh. E., Chelidze N. Z. Long-term Changes in the Number and Temperature of Hot Days in Georgia under Global Warming *Russian Meteorology and Hydrology*, 2017, Vol. 42, No. 10, pp. 665–670. DOI: 10.3103/S1068373917100065
4. [Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M. E., Elizbarashvili Sh. E., Kutaladze N. B. Tropical Nights in Georgia. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2018, 43\(9\): p.625-631 DOI:10.3103/S1068373918090091](#)
5. Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M. E., Elizbarashvili Sh. E., Kutaladze N. B., Gogiya N. M. Characteristics of Frost Days in the Mountain Regions of Georgia *Russian Meteorology and Hydrology*, 2019, Vol. 44, No. 2, pp. 145–151. DOI: 10.3103/S1068373919020080
6. Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M. E., Kutaladze N. B., Keggenhoff I., Kikvadze B. M., Gogiya N. M. Geography and dynamics of some temperature indices for assessing the climate change in Georgia. — *Russian Meteorology and Hydrology*, Volume 40, Issue 1, 2015. DOI: 10.3103/S1068373915010069
7. Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M. E., Kutaladze N. B., Keggenhoff I., Elizbarashvili Sh. E., Kikvadze B. M., Gogiya N. M. Spatiotemporal Variations in Climate Moisture Indices in Georgia under Global Warming. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2016, Vol. 41, No. 4, pp. 261–267. DOI: 10.3103/S1068373916040051
8. <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>
9. Peterson, T.C. [Climate Change Indices](#). *WMO Bulletin*, 2005, 54 (2), 83-86
10. Rumshiskii L.Z. *Mathematical processing of experimental results*. Moscow, Nauka, 1971, 192 p. (Rus)

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-52-57

უკ:551.583

ექსტრემალური ტემპერატურების თანამედროვე ცვლილების ტენდენციები სამცხე-ჯავახეთში. ელიზბარაშვილი ე., ელიზბარაშვილი მ., დიასამიძე ტ., ელიზბარაშვილი შ., ჭელიძე ნ. სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ.52-57. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

სტატია განიხილავს სამცხე-ჯავახეთის რეგიონში ექსტრემალური ტემპერატურის მიმდინარე ტენდენციებს ინტენსიური გლობალური დათბობის პირობებში. კვლევა ეფუძნება სამი მეტეოროლოგიური სადგურის - ახალქალაქის (1717 მ), ახალციხის (962 მ) და ბორჯომის (789 მ) მონაცემებს 1961-2020 წლების პერიოდისთვის. გამოყენებული იქნა მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის (WMO) და IPCC-ის მიერ რეკომენდებული ექსტრემალური ტემპერატურის კლიმატური ინდექსები (T_{xx} , T_{nn} , T_{xn} , T_{nx} , T_{x90p} , T_{n10p}). ტენდენციების სტატისტიკური მნიშვნელობა შეფასდა p-ტესტის გამოყენებით (მნიშვნელობის დონე 0.05). აღმოჩნდა, რომ დღიური ტემპერატურის მაქსიმუმის (T_{xx}) ცვლილებები მრავალმხრივია: ახალციხესა და ბორჯომში დადებითი ტენდენცია დაფიქსირდა, ხოლო ახალქალაქში უარყოფითი. თუმცა, ყველა შემთხვევაში, ცვლილებები სტატისტიკურად უმნიშვნელოა. მსგავსი ტენდენცია შეინიშნება აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურისთვის (T_{nn}), ახალციხეში სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი ზრდით (0.7°C ათწლეულში) დაფიქსირებული. უფრო გამოხატული ცვლილებები შეინიშნება T_{nx} ინდექსში (მაქსიმალური აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურა): ახალციხესა და ბორჯომში სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი ზრდა დაფიქსირდა (შესაბამისად, 0.4 და 0.3°C ყოველ ათწლეულში), რაც მიუთითებს ცივი ექსტრემების შერბილებაზე. ახალქალაქში ცვლილებები უარყოფითია, მაგრამ სტატისტიკურად უმნიშვნელო. პერცენტილური ინდექსების ანალიზმა აჩვენა, რომ ახალქალაქში უკიდურესად მაღალი ტემპერატურის დღეების რაოდენობა (T_{x90p}) შემცირდა (სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი), ხოლო ახალციხესა და ბორჯომში ცვლილებები უმნიშვნელოა. ამასობაში, ცივი ექსტრემუმების ცვლილებები (T_{n10p}) გასხვავებულია: ასეთი დღეების რაოდენობა გაიზარდა ახალქალაქში, ხოლო შემცირება - ახალციხესა და ბორჯომში; ეს უკანასკნელი ცვლილებები სტატისტიკურად მნიშვნელოვანია.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-52-57

UDC:551.583

Current Trends of Extreme Temperature Changes in Samtskhe-Javakheti. Elizbarashvili, E., Elizbarashvili, M., Diasamidze, T., Elizbarashvili, Sh., Chelidze, N. Transactions of the IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp52-57. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

This article examines current trends of extreme temperatures in the Samtskhe-Javakheti region under conditions of intense global warming. The study is based on data from three meteorological stations—Akhalkalaki (1,717 m), Akhaltsikhe (962 m), and Borjomi (789 m) – for the period of 1961–2020. Climate indices of extreme temperatures

recommended by the WMO and IPCC (Txx, Tnn, Txp, Tnx, Tx90p, Tn10p) were used. The statistical significance of trends was assessed using the p-test (significance level 0.05). It was found that changes in daily temperature maxima (Txx) are multidirectional: a positive trend was observed in Akhaltsikhe and Borjomi, while a negative trend was observed in Akhalkalaki. However, in all cases, the changes are statistically insignificant. A similar trend is observed for absolute minimum temperatures (Tnn), with a statistically significant increase (0.7°C per decade) recorded in Akhalkalaki. More pronounced changes are observed for the Tnx index (maximum absolute minimum temperatures): in Akhaltsikhe and Borjomi, statistically significant increases (0.4 and 0.3°C per decade, respectively) were recorded, indicating a mitigation of cold extremes. In Akhalkalaki, the changes are negative, but statistically insignificant. Analysis of percentile indices revealed a decrease in the number of days with extremely high temperatures (Tx90p) in Akhalkalaki (statistically significant), while in Akhaltsikhe and Borjomi, the changes are insignificant. Meanwhile, changes in cold extremes (Tn10p) are mixed: an increase in the number of such days was observed in Akhalkalaki, while a decrease was observed in Akhaltsikhe and Borjomi; the latter changes are statistically significant

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-52-57

УДК: 551.583

Современные тенденции изменения экстремальных температур в Самцхе-Джавახети. Элизбарашвили Е., Элизбарашвили М., Диасамидзе Т., Элизбарашвили Ш., Челидзе Н. Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с.52-57. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В статье рассмотрены современные тенденции изменения экстремальных температур в регионе Самцхе–Джавახети в условиях интенсивного глобального потепления. Исследование выполнено на основе данных трех метеорологических станций — Ахалкалаки (1717 м), Ахалцихе (962 м) и Боржоми (789 м) — за период 1961–2020 гг. Используются климатические индексы экстремальных температур, рекомендованные ВМО и МГЭИК (Txx, Tnn, Txp, Tnx, Tx90p, Tn10p). Статистическая значимость трендов оценивалась по р-критерию (уровень значимости 0,05). Установлено, что изменения суточных максимумов температуры (Txx) носят разнонаправленный характер: в Ахалцихе и Боржоми отмечен положительный тренд, в Ахалкалаки — отрицательный, однако во всех случаях изменения статистически незначимы. Аналогичная картина наблюдается для абсолютных минимумов температуры (Tnn), при этом в Ахалцихе выявлен статистически значимый рост (0,7 °С за десятилетие). Более выраженные изменения характерны для индекса Tnx (максимум абсолютных минимумов температуры): в Ахалцихе и Боржоми зафиксирован статистически значимый рост (0,4 и 0,3 °С за десятилетие соответственно), что свидетельствует о смягчении холодных экстремумов. В Ахалкалаки изменения носят отрицательный, но статистически незначимый характер. Анализ процентильных индексов показал снижение числа дней с экстремально высокими температурами (Tx90p) в Ахалкалаки (статистически значимо), тогда как в Ахалцихе и Боржоми изменения несут незначительный характер. В то же время изменения холодных экстремумов (Tn10p) имеют разнонаправленный характер: в Ахалкалаки отмечен рост числа таких дней, а в Ахалцихе и Боржоми — их уменьшение; последние изменения статистически значимы.