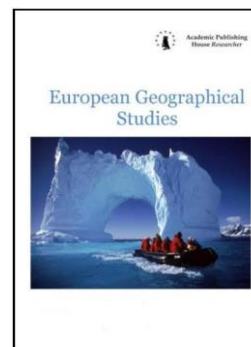


Copyright © 2020 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
European Geographical Studies
Has been issued since 2014.
E-ISSN: 2413-7197
2020, 7(1): 37-47

DOI: 10.13187/egs.2020.1.37
www.ejournal9.com



Waves of Heat and Cold over the Territory of Georgia in Terms of Global Warming

Elizbar Sh. Elizbarashvili ^{a,*}, Mariya E. Elizbarashvili ^b, Shalva E. Elizbarashvili ^a,
Nato B. Kutaladze ^a

^a Georgian Technical University, Institute of Hydrometeorology, Georgia

^b Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, Georgia

Abstract

Based on the observations of 12 meteorological stations, the statistical structure of heat and cold waves in Georgia has been investigated. The average continuous, total, and longest wavelengths, the probability of their realization, the distribution area, and the repeatability period are determined. The long-term course of the total duration of the waves of heat and cold is investigated. The rate of change, the coefficient of determination and the criterion for the statistical significance of changes were estimated.

The average total duration of heat waves per year in Georgia ranges from 13-20 days, with a maximum on the Black Sea coast and in the mountains. The total duration of cold waves is 10-14 days, with a maximum on the Black Sea coast, in the Colchis Lowland and on the plains of Eastern Georgia. The greatest total duration of heat waves is 40-90 days, and the greatest total duration of cold waves is 20-50 days.

The continuous duration of heat waves ranges from 6-11 days and averages over the territory of about 8 days, and the duration of cold waves ranges from 6-8 days and averages 7 days, which is in good agreement with the process of transformation of air masses.

Keywords: heat and cold waves, duration, probability, repeatability, rate of change, statistical significance.

1. Введение

Непериодические изменения температуры воздуха, или её перепады являются существенной чертой климатического режима территории. Хотя такие изменения случаются медленнее и их труднее увидеть, чем торнадо или землетрясение, однако представляют собой смертельную опасность для общества и природы. С ними связаны опасные и стихийные гидрометеорологические явления, такие как заморозки, засухи, сильные ливни и снегопады, штормовые усиления ветра, гололёд, туманы.

Наиболее удобной формой представления непериодических изменений температуры воздуха являются волны тепла или холода. Волны тепла и холода рассматриваются как одномерные временные процессы изменения аномалий температуры воздуха. Согласно определению С.П.Хромова волна тепла это значительное потепление, распространяющееся

* Corresponding author

E-mail addresses: elizbar@hotmail.com (E.Sh.Elizbarashvili), mariam.elizbarashvili@tsu.ge (M.E. Elizbarashvili), info@ball.com (Sh.E. Elizbarashvili), cwlam08@gmail.com (N.B.Kutaladze)

в определенном направлении, связанное с адвекцией теплой воздушной массы, а волна холода это резкое понижение температуры, распространяющееся также в определенном направлении и связанное с вторжением холодной воздушной массы, главным образом, из высоких широт (Хромов, Мамонтова, 1974).

Известны различные критерии выявления волн тепла и холода, например, волна тепла определяется климатически как период времени продолжительностью более двух дней подряд, в котором средняя суточная температура существенно превышает многолетнюю среднюю температуру для этих дней года (например для зимних дней на 3–5 °С, для летних – на 2–3 °С и т.д.). Аналогично определяют волну холода (Дуйцева, Педь, 1963; Морозова, 2012). Другие авторы за волну тепла и холода понимают изменение температуры на 5°, 10°, или на двухкратную величину среднего квадратического отклонения и т.д. (Архангельский, Котова, 1966; Срезневский, 1899; Храбров, 1949). Волны тепла и холода определяли также как 5 или более дней подряд продолжительной жары или мороза, в которой дневная максимальная (минимальная) температура выше (ниже), чем средняя максимальная (минимальная) температура на 5 °С или более. ("Heat wave|meteorology". Encyclopedia Britannica. Retrieved, 2019). Ф.Т. Харачилива волны тепла и холода над Закавказьем определял из синоптических ситуаций (Харчилава, 1970).

Национальная метеорологическая служба США большое внимание уделяет усилению защиты сельского хозяйства, промышленности, торговли и социальной деятельности от волн холода – быстрого падения температуры в течение 24-часового периода. За критерий холодной волны принимается минимальная температура, которая зависит от географического региона и времени года ("Cold Wave". AMS: Glossary of Meteorology). Критерием может считаться например уменьшение температуры на 7°C, т.е. на 20°F (Borenstein, 2014). Интенсивная волна холода в США классифицируется как вспышка холодного воздуха (Smith, Sheridan, 2018).

Для характеристики волн тепла был введен индекс магнитуды тепловой волны (HWMId), который использовали ряд авторов для вычисления продолжительности и даты начала события тепловой волны (Beniston, 2007; Schär et al., 2004; Russo et al., 2014). Индекс магнитуды тепловой волны определяется из ежедневных данных, как последовательность из 3 или более дней, в которой дневная максимальная температура превышает 90-й процентиль дневной максимальной температуры за 31-суточный, базовый период.

Улучшенная версия индекса магнитуды тепловой волны была использована Russo и др. (Russo et al., 2015). Используемый в данном случае метод ранжирования волн тепла позволил выделить пик магнитуды, и в результате проанализировать 10 наиболее интенсивных волн тепла в Европе начиная с 1950 года и смоделировать их появление в ближайшие десятилетия.

Специальные количественные критерии для выявления волн тепла и холода, в особенности для исследования климатических изменений в условиях глобального потепления, были предложены экспертной группой мониторинга и индексов Межгосударственной комиссии экспертов по изменению климата (МГЭИК) ООН Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) (Climate Change Indices; Peterson, 2005).

Эти критерии-климатические индексы:

1. WSDI – число дней в году, когда минимум в течении 6 дней подряд $T_{x_{ij}} > T_{x_{in}90}$;

2. CSDI – число дней в году, когда минимум в течении 6 дней подряд $T_{n_{ij}} < T_{n_{in}10}$;

где $T_{x_{ij}}$ – максимальная суточная температура, $T_{n_{ij}}$ – минимальная суточная температура, $T_{x_{in}90}$ – пороговое значение температуры, соответствующее 90 %-му процентилю максимальной температуры, $T_{n_{in}10}$ – пороговое значение температуры, соответствующее 10 %-му процентилю минимальной температуры. Первый из индексов характеризует волну тепла, а второй – волну холода.

В данной статье исследуется статистическая структура волн тепла и холода на территории Грузии. Определены их средняя, суммарная и наибольшая продолжительности, вероятность реализации и период повторяемости. Исследован многолетний ход суммарной продолжительности волн тепла и холода.

Регион исследования

Грузия расположена в юго-западной части Кавказа, на рубеже Средиземноморья, аридной Арало-Каспийской впадины и нагорий Передней Азии. Ее площадь составляет 69,7 тыс. кв. км. На севере и востоке Грузия граничит с Россией, на юге – с Арменией и Турцией, на юго-востоке – с Азербайджаном. На западе омывается водами Чёрного моря ([Рисунок 1](#)).



Рис. 1. Географическое положение Грузии

Природа Грузии чрезвычайно разнообразна благодаря её географическому положению, сложному рельефу и высотной зональности. Грузия находится на стыке влажного Средиземноморья, аридной бессточной Арало-Каспийской впадины и континентальных Переднеазиатских нагорий, что обуславливает многообразие её природных условий. Ее западная часть находится под влиянием субтропического климата, а восточная часть – под влиянием средиземноморского. Большой Кавказский хребет служит барьером для холодных северных ветров.

Волны тепла и холода в Грузии вызывают резкие изменения погоды. Они связаны с вторжением теплых или холодных воздушных масс с запада или с востока. Западные процессы преобладают в течение всего года. Они возникают при прохождении над Закавказьем Средиземноморского циклона или глубокой барической ложбины, связанной с атлантическими циклонами. Восточные процессы наблюдаются, главным образом в холодный период года, когда над Закавказьем устанавливается область высокого давления, а на Черное море с запада распространяется циклон ([Элизбарашвили, 2017](#)).

Волны тепла формируют жаркие дни, когда максимальная температура превышает 25°. На Черноморском побережье жаркие дни начинаются с марта и длятся по октябрь, а во внутренних районах Колхидской низменности они отмечаются даже в ноябре. В годовом ходе наибольшее число жарких дней, а также их максимальная интенсивность отмечаются в августе, составляя соответственно 25-27 дней и 40-42°. На равнинах Восточной Грузии жаркие дни длятся с апреля по октябрь. Годовой максимум числа жарких дней и их интенсивности наступает в июле-августе, составляя соответственно 26-28 дней и 38-40°. Период наступления жарких дней в горных районах Большого Кавказа длится с мая по октябрь, а на Южно-Грузинском нагорье – с июня по сентябрь. Максимум в годовом ходе числа дней и интенсивности наступает в июле-августе, достигая соответственно 6-22 дней и 33-35° ([Элизбарашвили и др., 2017; 2018; Elizbarashvili et al., 2017](#)).

Волны холода зимой приносят морозы. В наиболее холодные зимы температура воздуха в прибрежных и низменных районах Западной Грузии может понизиться до минус 10-20°C, в равнинных и предгорных районах Восточной Грузии – до минус 20-25°C, а в горных и высокогорных районах Южно-Грузинского нагорья и Большого Кавказа – до минус 35-42°C ([Элизбарашвили и др., 2019](#)).

Высокие летние температуры повышают потребность в энергии для кондиционирования воздуха, увеличивают тепловую нагрузку на сельскохозяйственные культуры и могут создавать опасные условия для здоровья человека. Низкие зимние температуры могут вызвать разрушительные морозы и заморозки, увеличить потребность в

отоплении и могут нарушить движение транспорта (García-Herrera et al., 2010; Meehl, Tebaldi, 2004).

2. Материалы и методы

В исследовании использованы архивные материалы Института Гидрометеорологии Грузии по 12 метеорологическим станциям. Статистические характеристики рассчитаны за период 1961–2010 годы. Многолетний ход продолжительности волн тепла и холода рассмотрен за более длительный период. В частности для Тбилиси использованы материалы за период 1885–2015 годы, а по другим пунктам – Батуми, Поти и Дедоплисцкаро использованы материалы за период 1955–2015 годы.

Одна из основных требований, предъявляемых к рядам метеорологических элементов, состоит в том, что они должны быть сравнимы между собой. С учетом этого требования желательно иметь данные по всем станциям за единый период наблюдений. К сожалению, после распада СССР были закрыты высокогорные метеорологические станции, которые по настоящее время не функционируют. Поэтому для равномерного освещения территории данными были использованы также данные наблюдений высокогорных метеорологических станций, действующих до 1992 года (Казбеги и Мамисонский пер.).

Для восстановления отдельных пропущенных данных в рядах была использована многократно апробированная нами следующая процедура. Составлялись корреляционные матрицы для всех станций и на основе их статистического анализа, а также с учетом физико-географических условий местоположения станций выявлялись группы высококоррелируемых станций, коэффициенты корреляции между которыми были значимы на уровне 95 % и более. Далее внутри каждой группы пропущенные данные о температуре определялись применением метода соответствующих разностей. В случае восстановления числа дней с определенной волной применялся метод отношений (Элизбарашвили и др., 2017; 2018; 2019).

Климатические индексы волн тепла WSDI и волн холода CSDI рассчитывались по методике BMO (Climate Change Indices; Peterson, 2005):

1. WSDI – число дней в году, когда минимум в течении 6 дней подряд $T_{x_{ij}} > T_{x_{in}90}$;

2. CSDI – число дней в году, когда минимум в течении 6 дней подряд $T_{n_{ij}} < T_{n_{in}10}$;

где $T_{x_{ij}}$ – максимальная суточная температура, $T_{n_{ij}}$ – минимальная суточная температура, $T_{x_{in}90}$ – 90-пороговое значение температуры, соответствующее 90 %-му перцентилю максимальной температуры, $T_{n_{in}10}$ – пороговое значение температуры, соответствующее 10 %-му перцентилю минимальной температуры.

Период повторяемости волн тепла и холода рассчитывался по формуле:

$$T=1/P, (1)$$

где P – годовая вероятность.

Тренд многолетнего изменения продолжительности волн тепла и холода оценивался с помощью p – критерия статистической значимости, представляющей собой вероятность ошибки при отклонении нулевой гипотезы. В качестве нулевой гипотезы было принято, что многолетнее изменение числа дней имеет случайный характер. Соответственно альтернативная гипотеза, исключая нулевую, означала истинность ее изменения во времени. Если значение p мало (менее или равно 0.05) нулевая гипотеза отвергалась и тренд считался значимым.

3. Обсуждение

В Таблице 1 представлены статистические характеристики волн тепла и холода для пунктов, расположенных в различных физико-географических условиях.

Таблица 1. Статистические характеристики волн тепла(wstdi) и волн холода(cstdi): n – средняя суммарная продолжительность (сутки); nmax – наибольшая суммарная продолжительность (сутки); N – средняя непрерывная продолжительность (сутки); P – годовая вероятность (%); T – период повторяемости (лет) (Районы: 1 – Черноморское побережье и Колхидская низменность; 2 – Равнины и предгорные районы Восточной Грузии; 3 – Лихский хребет; 4 – Южно-Грузинское нагорье; 5 – Большой Кавказ)

| Район | Пункт | wstdi | | | | | cstdi | | | | | Высота, м |
|-------|------------------|-------|-------|----|----|-----|-------|-------|---|----|-----|-----------|
| | | n | n max | N | P | T | n | n max | N | P | T | |
| 1. | Поти | 20 | 85 | 10 | 43 | 2.3 | 8 | 17 | 7 | 21 | 4.8 | 1 |
| | Батуми | 15 | 48 | 6 | 24 | 4.2 | 13 | 51 | 8 | 45 | 2.2 | 5 |
| | Кутаиси | 14 | 56 | 10 | 45 | 2.2 | 14 | 32 | 7 | 33 | 3 | 114 |
| 2. | Тбилиси | 15 | 42 | 8 | 51 | 2 | 13 | 36 | 7 | 30 | 3.3 | 403 |
| | Телави | 16 | 52 | 9 | 59 | 1.7 | 13 | 47 | 8 | 42 | 2.4 | 568 |
| | Дедоплис-Цкаро | 17 | 53 | 10 | 50 | 2 | 11 | 33 | 7 | 42 | 2.4 | 800 |
| 3. | Мта-Сабуети | 13 | 43 | 6 | 57 | 1.8 | 10 | 21 | 6 | 47 | 2.1 | 1242 |
| 4. | Ахалкалаки | 19 | 87 | 11 | 58 | 1.7 | 12 | 29 | 7 | 18 | 5.6 | 1716 |
| 5. | Мамисонский пер. | 11 | 31 | 6 | 34 | 2.9 | 10 | 26 | 7 | 34 | 2.9 | 2854 |
| | Душети | 19 | 45 | 7 | 30 | 3.3 | 7 | 15 | 6 | 26 | 3.8 | 922 |
| | Пасанаури | 14 | 70 | 10 | 62 | 1.6 | 9 | 29 | 6 | 30 | 3.3 | 1070 |
| | Казбеги | 10 | 22 | 6 | 59 | 1.7 | 7 | 14 | 6 | 26 | 3.8 | 3653 |

Из **Таблицы 1** следует, что средняя суммарная продолжительность волн тепла за год на территории Грузии колеблется в пределах 13-20 суток, максимумом на Черноморском побережье и в горах. Суммарная продолжительность волн холода меньше и составляет 10-14 суток, максимумом на Черноморском побережье, в Колхидской низменности и на равнинах Восточной Грузии. Теплый воздух при перемещении в район с более холодной подстилающей поверхностью совершает восходящее скольжение, а холодный воздух при перемещении в район с более теплой подстилающей поверхностью вытесняет теплый воздух и опускается к земной поверхности. По всей вероятности, с этим может быть связано некоторое увеличение суммарной продолжительности волн тепла в отдельных горных районах (Ахалкалаки, Душети), а также увеличение суммарной продолжительности волн холода во внутренних районах Колхидской низменности (Кутаиси) и на равнинах Восточной Грузии (Тбилиси, Телави). Причиной увеличения продолжительности волн холода на равнинах Восточной Грузии могут быть также холодные воздушные массы, вторгающиеся с востока, которые распространяются лишь в Восточной Грузии, и далее трансформируясь ослабляются. Наибольшая суммарная продолжительность волн тепла составляет 40-90 суток и также превосходит наибольшую продолжительность волн холода (20-50 суток). Продолжительность волн не имеет ярко выраженного сезонного хода, хотя теплые волны преобладают летом, а холодные – зимой.

Непрерывная продолжительность теплых волн колеблется в пределах 6-11 суток и в среднем по территории составляет около 8 суток, а продолжительность холодных волн колеблется в пределах 6-8 суток и в среднем составляет 7 суток, что хорошо соответствует процессу трансформации воздушных масс. Этот период также хорошо согласуется с устойчивостью характерных для Грузии основных классов погоды по Федорову-Чубукову (Чубуков, 1949; Элизбарашвили, 2017; Элизбарашвили, Гонгладзе, 1980). Например, волна тепла летом формирует очень жаркие и очень влажные погоды (ХУІ класс) на Черноморском побережье и на Колхидской низменности, которые держатся 7-8 дней подряд. При таких погодах у человека возникает чувство духоты, оказывающее отрицательное влияние на ее здоровье, труд и отдых (Элизбарашвили и др., 2017). Солнечные, жаркие и сухие погоды (ІІ класс), формирующиеся в течение всего года на Черноморском побережье, на Колхидской низменности и на равнинах Восточной Грузии также в результате прохождения теплых волн при преобладании антициклонического состояния, держатся 5-7 суток. Волна холода в холодный период года формирует слабо морозные, умеренно морозные и значительно морозные погоды (Х,ХІ,ХІІ классы), главным образом в высокогорной зоне Кавказа, где их непрерывная продолжительность составляет

12-15 суток, а на Южно-Грузинском нагорье держится 7-8 суток. Такие погоды обусловлены мощными вторжениями арктических холодных масс воздуха, которые, благодаря Главному Кавказскому хребту, в Западной Грузии поступают при вторжении с запада или с северо-запада, а в Восточной Грузии поступают при вторжении с востока или с северо-востока (Элизбарашвили и др., 2019). За теплый период года волна холода формирует пасмурные и дождливые погоды (VI, VII классы) длительностью 7 дней (Элизбарашвили, Гонгладзе, 1980).

Вторжение волн тепла и холода, соответствующие критериям ВМО (Climate Change Indices; Peterson, 2005), не происходит ежегодно, однако за один определенный год может осуществиться несколько раз. Поэтому важно знать вероятность и период повторяемости этих волн, соответствующие данные также представлены в таблице 1.

Средняя годовая вероятность вторжения волн тепла за год составляет 24-62 %, максимумом в горах, а вероятность вторжения волн холода составляет 18-47 %. Поэтому, в соответствии с формулой (1), средняя длительность периода повторяемости лет с волной тепла меньше (1.6-4.2 года), чем длительность периода повторяемости лет с волной холода (2.1-5.6 лет).

Волны тепла или холода могут распространяться в целом на территории Грузии, Закавказья, Кавказа или за ее пределами. Всю территорию Грузии волна тепла охватывает в 55 % случаях вторжения теплого воздуха, а волна холода – в 75 % случаях вторжения холодного воздуха.

На Рисунке 2 представлены примеры хода температуры при прохождении волны холода в феврале и марте 2020 года. Как следует из рис. 2а, в начале февраля держалась положительная температура, 6-7-го февраля средняя суточная температура составляла примерно 9°, однако с 8-го числа температура стала уменьшаться и за два дня опустилась до минус 7°. Далее начинается трансформация воздушной массы и температура начинает увеличиваться. Аналогичная волна холода, несколько меньшей интенсивности отмечалась в марте (Рисунок 2б), когда температура воздуха в середине месяца за трое суток опустилась на 12°, став отрицательной. Длина волны в обоих случаях составила около 6-7 суток, что хорошо соответствует приведенным выше данным.

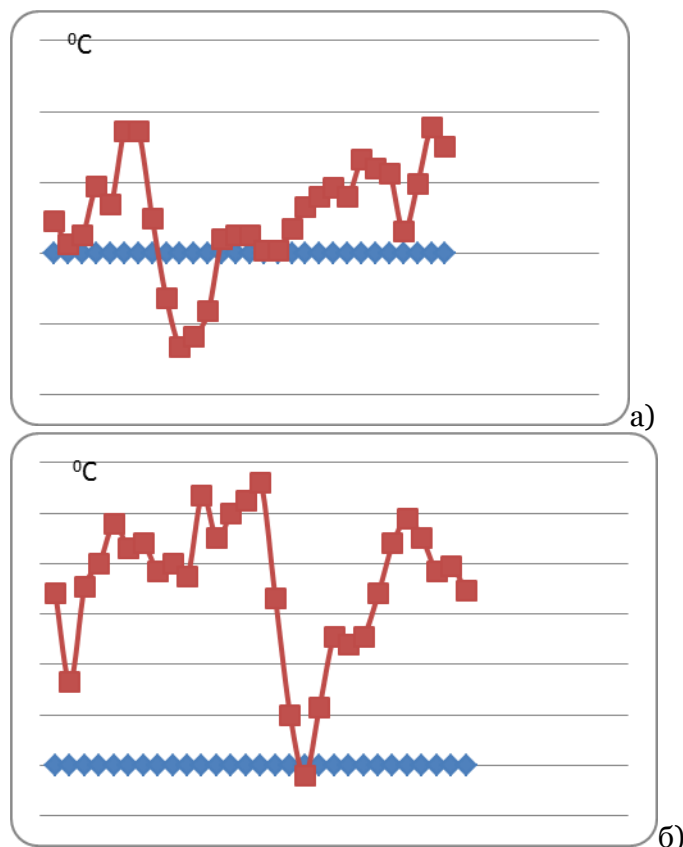


Рис. 2. Месячный ход температуры воздуха в Телави в феврале (а) и марте (б) 2020 года

Рассматриваемые нами критерии волн тепла и холода, также как и другие климатические индексы, были предложены ВМО специально для исследования климатических изменений в различных регионах Земного Шара. Действительно, как следует из [Рисунка 3](#), многолетнее изменение этих критериев до 2016 года хорошо отражает современные тенденции глобального потепления.

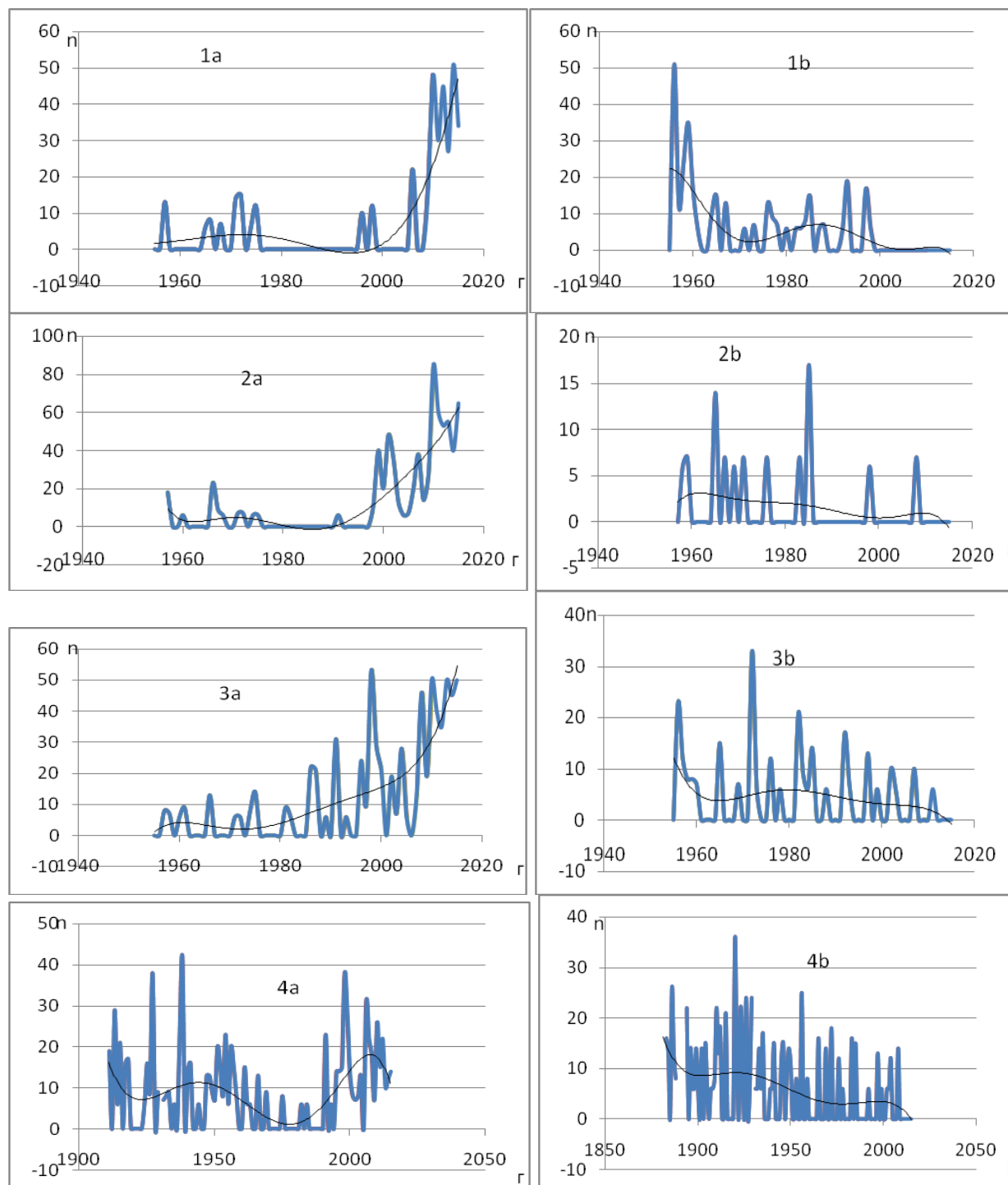


Рис. 3. Многолетний ход суммарной продолжительности (n сутки) волн тепла (а) и волн холода (b) за период до 2016 года: 1 – Батуми, 2 – Поти, 3 – Дедоплисцкаро, 4 – Тбилиси

Кроме того, из [Рисунка 3](#) следует, что климатические индексы для рассмотренных пунктов за исследуемый период существенно колебались. Например, согласно

длиннорядным данным станции Тбилиси в 40-ые годы прошлого века отмечается существенное увеличение продолжительностей волн тепла, что объясняется потеплением 40-ых годов. Некоторое увеличение продолжительностей волн тепла главным образом в Западной Грузии (Батуми, Потти) отмечается в 70-ые годы прошлого века. Особенно заметное увеличение продолжительностей волн тепла и уменьшение продолжительностей волн холода отмечается после 80-х годов, в период интенсивного глобального потепления. В целом же за весь период суммарная продолжительность волн тепла возрастала, а продолжительность волн холода уменьшалась.

Более подробно характер многолетнего изменения волн тепла и холода для группы метеорологических станций хорошо видно из [Таблицы 2](#), где представлены линейные скорости изменения климатических индексов и соответствующие коэффициенты детерминации, позволяющие судить о вкладе тренда в их суммарную изменчивость, а также их статистические значимости для метеорологических станций, расположенных в различных физико-географических условиях Грузии.

Таблица 2. Скорость изменения (к-сутки/год), коэффициент детерминации(R^2) и критерий статистической значимости (p) волн тепла(wsd_i) и волн холода (csd_i) (нумерация районов соответствует [Таблице 1](#))

| Район | Пункт | wsd _i | | | csd _i | | |
|-------|------------------|------------------|----------------|-------------|------------------|----------------|-------------|
| | | k | R ² | p | k | R ² | p |
| 1. | Поти | 0.55 | 0.29 | 0 | -0.04 | 0.03 | 0.22 |
| | Батуми | 0.2 | 0.12 | 0.02 | -0.25 | 0.14 | 0.01 |
| | Кутаиси | 0.04 | 0.08 | 0.5 | -0.14 | 0.12 | 0 |
| 2. | Тбилиси | 0 | 0 | 0.98 | -0.08 | 0.13 | 0 |
| | Телави | 0.36 | 0.24 | 0 | -0.08 | 0.02 | 0.33 |
| | Дедоплис-Цкаро | 0.5 | 0.40 | 0 | -0.06 | 0.02 | 0.32 |
| 3. | Мта-Сабуети | 0.29 | 0.18 | 0 | 0.01 | 0 | 0.85 |
| 4. | Ахалкалаки | 0.37 | 0.12 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.77 |
| 5. | Мамисонский пер. | -0.18 | 0.06 | 0.19 | -0.06 | 0.01 | 0.65 |
| | Душети | 0.29 | 0.14 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.5 |
| | Пасанаури | 0.13 | 0.06 | 0.04 | -0.04 | 0.03 | 0.18 |
| | Казбеги | 0.18 | 0.18 | 0.03 | -0.02 | 0 | 0.78 |

Примечание: жирным шрифтом обозначены значимые изменения

Судя по значениям статистической значимости тренды волн тепла положительны для большинства пунктов и статистически значимы на высоком уровне значимости. Так, например, в Потти и Дедоплисцкаро тренд составляет около 5 суток за декаду. Вклад тренда в увеличении волн тепла в Потти составляет 29%, а в Дедоплисцкаро достигает 40%. Временные тренды волн холода в основном отрицательны и статистически значимы лишь для отдельных пунктов.

В целом по территории в условиях глобального потепления скорость возрастания повторяемости волн тепла составляет 0.4-6 суток, а скорость убывания повторяемости волн холода составляет 0.2-2.5 суток за декаду.

3. Заключение

1. Средняя суммарная продолжительность волн тепла за год на территории Грузии колеблется в пределах 13-20 суток, максимумом на Черноморском побережье и в горах. Суммарная продолжительность волн холода составляет 10-14 суток, максимумом на Черноморском побережье, в Колхидской низменности и на равнинах Восточной Грузии..

2. Наибольшая суммарная продолжительность волн тепла составляет 40-90 суток, а наибольшая *sadisertacio* Temebis суммарная продолжительность волн холода составляет 20-50 суток. Продолжительность волн не имеет ярко выраженного сезонного хода, хотя теплые волны преобладают летом, а холодные зимой.

3. Непрерывная продолжительность волн тепла колеблется в пределах 6-11 суток и в среднем по территории составляет около 8 суток, а продолжительность волн холода

колеблется в пределах 6-8 суток и в среднем составляет 7 суток, что хорошо соответствует процессу трансформации воздушных масс.

4. Средняя длительность периода повторяемости лет с волной тепла колеблется в пределах 1.6-4.2 лет, а длительность периода повторяемости лет с волной холода составляет 2.1-5.6 лет.

5. Тренды волн тепла положительны для большинства пунктов и статистически значимы на высоком уровне значимости. Временные тренды волн холода в основном отрицательны и статистически значимы лишь для отдельных пунктов. В условиях глобального потепления скорость возрастания повторяемости волн тепла составляет 0.4-6 суток, а скорость убывания повторяемости волн холода составляет 0.2-2.5 суток за декаду.

Литература

Архангельский, Котова, 1966 – Архангельский В.Л., Котова Л.М. Волны холода и тепла в тропосфере и стратосфере над Нижним Поволжьем // *Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья*. Саратов. 1966. Вып. 4. С. 35-45.

Дуйцева, Педь, 1963 – Дуйцева М.А., Педь Д.А. Особенности волн холода и тепла на Европейской территории СССР // *Труды ЦИП*. 1963. Вып. 123. С. 34-62.

Морозова, 2012 – Морозова С.В. Статистическое исследование волн тепла и холода в северо-западном регионе зимой и летом (на примере Санкт-Петербурга) // *Ученые записки Российского Государственного Гидрометеорологического Университета*. 2012. Вып. 36. С. 50-53.

Срезневский, 1899 – Срезневский Б.И. Волны холода от Новой Земли до Персии, Индии и Якутской области // *Метеорологический вестник*. 1899. № 4. С. 107-110.

Харчилава, 1970 – Харчилава Ф.Т. Метод прогноза средней месячной температуры воздуха, волн холода и тепла и месячных сумм атмосферных осадков в Закавказье и Дагестанской АССР // *Труды Зак. НИГМИ*. 1970. Вып. 38(44). 256 с.

Храбров, 1949 – Храбров Ю.Б. Прогноз волн холода в Средней Азии на естественный синоптический период // *Труды ЦИП*. 1949. Вып. 19 (6). С. 117-133.

Хромов, Мамонтова, 1974 – Хромов С.П., Мамонтова Л.И. Метеорологический словарь. Л., Гидрометеоиздат, 1974, 568 с.

Чубуков, 1949 – Чубуков Л.А. Комплексная климатология, М. Л., 1949, 255 с.

Элизбарашвили, 2017 – Элизбарашвили Э.Ш. Климат Грузии. Тбилиси, 2017, 360 с.

Элизбарашвили, Гонгладзе, 1980 – Элизбарашвили Э.Ш., Гонгладзе Н.Ш. Климатография курортов Грузии. Тбилиси, 1980, 246 с.

Элизбарашвили и др., 2017 – Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э., Куталадзе Н.Б., Элизбарашвили Ш.Э., Челидзе Н.З. Многолетнее изменение числа и интенсивности жарких дней на территории Грузии в условиях глобального потепления // *Метеорология и гидрология*. 2017. №10. С. 83-90.

Элизбарашвили и др., 2018 – Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Ш.Э., Куталадзе Н.Б., Челидзе Н.З., Горгисели В.Э. Тропические ночи на территории Грузии // *Метеорология и гидрология*. 2018. №9. С. 114-122.

Элизбарашвили и др., 2019 – Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Ш.Э., Куталадзе Н.Б., Гогия Н.М. Характеристика морозных дней в горных районах Грузии // *Метеорология и гидрология*. 2019. №2. С. 99-107.

Beniston, 2007 – Beniston M. et al. Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections // *Clim.Change*. 2007. 81: 71-95.

Borenstein, 2014 – Borenstein, S. Winters aren't colder; we're just softer. Florida Today. Melbourne, Florida. P. 8A. Archived from the original on January 13, 2014. Retrieved January 12, 2014.

Climate Change Indices – Climate Change Indices. [Electronic resource]. URL: <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>

Cold Wave – Cold Wave. AMS: Glossary of Meteorology. Archived from the original on 14.05.2011. Retrieved 25.09.2008.

Elizbarashvili et al., 2017 – Elizbarashvili E.Sh., Elizbarashvili M.E., Elizbarashvili S.E., Chavchanidze Z.B., Chelidze N.Z., Gorgisheli V.E. Statistical Structure of the Number of Hot Days the Georgian Territory // *European Geographical Studies*. 2017. Vol. 4, Is. 1. Pp. 26-35.

- García-Herrera et al., 2010 – García-Herrera et al. A review of the European summer heatwave of 2003 // *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 2010. 40: 267-306.
- Heat wave | meteorology – Heat wave | meteorology. Encyclopedia Britannica. Retrieved, 2019.
- Meehl, Tebaldi, 2004 – Meehl G.A., Tebaldi C. More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century // *Science*. 2004. 305: 994-7.
- Peterson, 2005 – Peterson T.C. Climate Change Indices // *WMO Bulletin*. 2005. 54(2): 83-86.
- Russo et al., 2014 – Russo S. et al. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world // *J. Geophys. Res.* 2014. 119. D022098.
- Russo et al., 2015 – Russo S., Sillmann J., Fischer E. Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades // *Environmental Research Letters*. 2015. 10: 124003. DOI: 10.1088/1748-9326/10/12/124003
- Schär et al., 2004 – Schär C. et al. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves // *Nature*. 2004. 427: 332-6.
- Smith, Sheridan, 2018 – Smith E.T., Sheridan S.C. The characteristics of extreme cold events and cold air outbreaks in the eastern United States // *Int. J. Climatol.* 2018. 38: e807-e820. Bibcode: 2018IJCLI..38E.807S. DOI: 10.1002/joc.5408

References

- Arkhangel'skii, Kotova, 1966 – Arkhangel'skii, V.L., Kotova, L.M. (1966). Volny kholoda i tepla v troposfere i stratosfere nad Nizhnim Povolzh'em [Waves of cold and heat in the troposphere and stratosphere over the Lower Volga region]. *Voprosy klimata i pogody Nizhnego Povolzh'ya*. Saratov. Vyp. 4. Pp. 35-45. [in Russian]
- Beniston, 2007 – Beniston, M. et al. (2007). Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Clim.Change*. 81: 71-95.
- Borenstein, 2014 – Borenstein, S. (2014). Winters aren't colder; we're just softer. Florida Today. Melbourne, Florida. P. 8A. Archived from the original on January 13, 2014. Retrieved January 12.
- Chubukov, 1949 – Chubukov, L.A. (1949). Kompleksnaya klimatologiya [Complex climatology]. M. L., 255 p. [in Russian]
- Climate Change Indices – Climate Change Indices. [Electronic resource]. URL: <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>
- Cold Wave – Cold Wave. AMS: Glossary of Meteorology. Archived from the original on 14.05.2011. Retrieved 25.09.2008.
- Duitseva, Ped', 1963 – Duitseva, M.A., Ped', D.A. (1963). Osobennosti voln kholoda i tepla na Evropeiskoi territorii SSSR [Features of cold and heat waves on the European territory of the USSR]. *Trudy TsIP*. Vyp. 123. Pp. 34-62. [in Russian]
- Elizbarashvili et al., 2017 – Elizbarashvili, E.Sh., Elizbarashvili, M.E., Elizbarashvili, S.E., Chavchanidze, Z.B., Chelidze, N.Z., Gorgisheli, V.E. (2017). Statistical Structure of the Number of Hot Days the Georgian Territory. *European Geographical Studies*. Vol. 4, Is. 1. Pp. 26-35.
- Elizbarashvili i dr., 2017 – Elizbarashvili, E.Sh., Elizbarashvili, M.E., Kutaladze, N.B., Elizbarashvili, Sh.E., Chelidze, N.Z. (2017). Mnogoletnee izmenenie chisla i intensivnosti zharkikh dnei na territorii Gruzii v usloviyakh global'nogo potepleniya [Long-term change in the number and intensity of hot days on the territory of Georgia under the conditions of global warming]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 10: 83-90. [in Russian]
- Elizbarashvili i dr., 2018 – Elizbarashvili, E.Sh., Elizbarashvili, M.E., Elizbarashvili, Sh.E., Kutaladze, N.B., Chelidze, N.Z., Gorgisheli, V.E. (2018). Tropicheskie nochii na territorii Gruzii [Tropical nights on the territory of Georgia]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 9: 114-122. [in Russian]
- Elizbarashvili i dr., 2019 – Elizbarashvili, E.Sh., Elizbarashvili, M.E., Elizbarashvili, Sh.E., Kutaladze, N.B., Gogiya, N.M. (2019). Kharakteristika moroznykh dnei v gornykh raionakh Gruzii [Characteristics of frosty days in the mountainous regions of Georgia]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2: 99-107. [in Russian]
- Elizbarashvili, 2017 – Elizbarashvili, E.Sh. (2017). Klimat Gruzii [The climate of Georgia]. Tbilisi, 360 p. [in Russian]
- Elizbarashvili, Gongladze, 1980 – Elizbarashvili, E.Sh., Gongladze, N.Sh. (1980). Klimatografiya kurortov Gruzii [Climatology of the resorts of Georgia]. Tbilisi, 246 p. [in Russian]
- García-Herrera et al., 2010 – García-Herrera et al. (2010). A review of the European summer heatwave of 2003. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 40: 267-306.

- Heat wave | meteorology – Heat wave | meteorology. Encyclopedia Britannica. Retrieved, 2019.
- Kharchilava, 1970 – Kharchilava, F.T. (1970). Metod prognoza srednei mesyachnoi temperatury vozdukh, voln kholoda i tepla i mesyachnykh summ atmosferykh osadkov v Zakavkaz'e i Dagestanskoi ASSR [Method for forecasting the average monthly air temperature, cold and heat waves and monthly sums of atmospheric precipitation in the Transcaucasus and the Dagestan ASSR]. *Trudy Zak. NIGMI*. Vyp. 38(44). 256 p. [in Russian]
- Khrabrov, 1949 – Khrabrov, Yu.B. (1949). Prognoz voln kholoda v Srednei Azii na estestvennyi sinopticheskii period [Forecast of cold waves in Central Asia for the natural synoptic period]. *Trudy TsIP*. Vyp. 19 (6). Pp. 117-133. [in Russian]
- Khromov, Mamontova, 1974 – Khromov, S.P., Mamontova, L.I. (1974). Meteorologicheskii slovar' [Meteorological Dictionary]. L., Gidrometeoizdat, 568 p. [in Russian]
- Meehl, Tebaldi, 2004 – Meehl, G.A., Tebaldi, C. (2004). More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. *Science*. 305: 994-7.
- Morozova, 2012 – Morozova, S.V. (2012). Statisticheskoe issledovanie voln tepla i kholoda v severo-zapadnom regione zimoi i letom (na primere Sankt-Peterburga) [Statistical study of heat and cold waves in the northwestern region in winter and summer (on the example of St. Petersburg)]. *Uchenye zapiski Rossiiskogo Gosudarstvennogo Godrometeorologicheskogo Universiteta*. Vyp. 36. Pp. 50-53. [in Russian]
- Peterson, 2005 – Peterson, T.C. (2005). Climate Change Indices. *WMO Bulletin*. 54(2): 83-86.
- Russo et al., 2014 – Russo, S. et al. (2014). Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. *J. Geophys. Res.* 119. Do22098.
- Russo et al., 2015 – Russo, S., Sillmann, J. Fischer, E. (2015). Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades // *Environmental Research Letters*. 10: 124003. DOI: 10.1088/1748-9326/10/12/124003
- Schär et al., 2004 – Schär, C. et al. (2004). The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*. 427: 332-6.
- Smith, Sheridan, 2018 – Smith, E.T., Sheridan, S.C. (2018). The characteristics of extreme cold events and cold air outbreaks in the eastern United States. *Int. J. Climatol.* 38: e807-e820. Bibcode: 2018IJCli..38E.807S. DOI: 10.1002/joc.5408
- Sreznevskii, 1899 – Sreznevskii, B.I. (1899). Volny kholoda ot Novoi Zemli do Persii, In-dii i Yakutskoi oblasti [Cold waves from Novaya Zemlya to Persia, India and the Yakutsk region]. *Meteorologicheskii vestnik*. 4: 107-110. [in Russian]

Волны тепла и холода над территорией Грузии в условиях глобального потепления

Элизбар Шалвович Элизбарашвили^{a,*}, Мария Элизбаровна Элизбарашвили^b, Шалва Элизбарович Элизбарашвили^a, Нато Бежановна Куталадзе^a

^a Грузинский технический университет, Институт гидрометеорологии, Грузия

^b Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили, Грузия

Аннотация. По материалам наблюдений 12 метеорологических станций исследована статистическая структура волн тепла и холода на территории Грузии. Определены средняя непрерывная, суммарная и наибольшая продолжительности волн, вероятность их реализации, ареал распространения и период повторяемости. Исследован многолетний ход суммарной продолжительности волн тепла и холода. Оценены скорость изменения, коэффициент детерминации и критерий статистической значимости изменений.

Ключевые слова: волны тепла и холода, продолжительность, вероятность, повторяемость, скорость изменения, статистическая значимость.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: eeelizbar@hotmail.com (Э.Ш. Элизбарашвили), mariam.elizbarashvili@tsu.ge (М.Э. Элизбарашвили), info@ball.com (Ш.Э. Элизбарашвили), cwlam08@gmail.com (Н.Б.Куталадзе)