

## НАУКИ О АТМОСФЕРЕ И КЛИМАТЕ/ATMOSPHERIC AND CLIMATE SCIENCES

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.114>

### О НЕКОТОРЫХ ИЗМЕНЕНИЯХ В СИСТЕМЕ КЛИМАТ-ЛЕДНИКИ-ВОДОТОКИ

Научная статья

Кешева Л.А.<sup>1,\*</sup>, Ташилова А.А.<sup>2</sup>, Теунова Н.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-5132-1563;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0002-2368-6047;

<sup>3</sup> ORCID : 0000-0002-1135-3587;

<sup>1, 2, 3</sup> Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (kesheva.lara[at]yandex.ru)

#### Аннотация

В данной статье приведены результаты исследования температурного режима и режима осадков в высокогорной зоне Северного Кавказа (м/станция Терскол) за период 1961–2024 гг. и за последние 20 лет. Получено, что в 1961–2024 гг. статистически значимый рост температуры имел место в летний период ( $0,34^{\circ}\text{C}/10$  лет,  $D=45\%$ ). С начала 2000-х годов наряду с летними температурами наблюдался рост зимних ( $0,9^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) и весенних ( $0,7^{\circ}\text{C}/10$  лет) температур и вследствие чего сформировался статистически значимый рост среднегодовой температуры ( $0,2^{\circ}\text{C}/10$  лет).

За период 1961–2024 гг. по данным м/станции Терскол тренды в зимних суммах осадков отсутствовали, весенние и осенние суммы осадков незначительно увеличивались, а летние уменьшились. С начала 2000-х гг. на фоне значимого роста сезонных температур изменение суммы осадков как сезонных (в том числе зимних), так и годовых, имели отрицательные статистически незначимые тенденции.

Сложившийся термический режим и режим осадков в последние десятилетия явился одним из основных факторов, приводящих к таянию ледников и изменению объема речного стока и концентрации загрязняющих веществ в поверхностных водах. Оценка загрязнения постоянных и временных водотоков показала превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) по показателю химического потребления кислорода (ХПК) в 1,2–5,9 раз.

**Ключевые слова:** Терскол, температурный режим, режим осадков, таяние ледников, поверхностные воды, концентрация загрязняющих веществ.

### ON SOME CHANGES IN THE CLIMATE-GLACIERS-WATERCOURSES SYSTEM

Research article

Kesheva L.A.<sup>1,\*</sup>, Tashilova A.A.<sup>2</sup>, Teunova N.V.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-5132-1563;

<sup>2</sup> ORCID : 0000-0002-2368-6047;

<sup>3</sup> ORCID : 0000-0002-1135-3587;

<sup>1, 2, 3</sup> High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russian Federation

\* Corresponding author (kesheva.lara[at]yandex.ru)

#### Abstract

This article presents the results of a study of temperature and precipitation patterns in the high-altitude zone of the North Caucasus (Terskol weather station) for the period 1961–2024 and for the last 20 years. It was found that in 1961–2024, a statistically significant increase in temperature occurred in the summer period ( $0.34^{\circ}\text{C}/10$  years,  $D=45\%$ ). Since the early 2000s, along with summer temperatures, there has been an increase in winter ( $0.9^{\circ}\text{C}/\text{year}$ ) and spring ( $0.7^{\circ}\text{C}/10$  years) temperatures, resulting in a statistically significant increase in the average annual temperature ( $0.2^{\circ}\text{C}/10$  years).

According to data from the Terskol meteorological station, there were no trends in winter precipitation totals between 1961 and 2024, spring and autumn precipitation totals increased slightly, and summer precipitation decreased. Since the early 2000s, with the significant rise in seasonal temperatures, changes in both seasonal (including winter) and annual precipitation totals have shown statistically insignificant negative tendencies.

The prevailing thermal regime and precipitation patterns in recent decades have been among the main factors leading to glacier melt and changes in river flow and pollutant concentrations in surface waters. An evaluation of pollution in permanent and temporary watercourses showed that the maximum permissible concentrations (MPC) for chemical oxygen demand (COD) were exceeded by 1.2–5.9 times.

**Keywords:** Terskol, temperature regime, precipitation regime, glacier melting, surface waters, concentration of pollutants.

#### Введение

Исследования, проводимые во всем мире, показали, что ледники стремительно сокращаются и это связано с глобальным потеплением.

В специальном Докладе МГЭИК отмечается, что «по прогнозам, потеря массы ледников в глобальном масштабе, таяние вечной мерзлоты и сокращение снежного покрова и площади арктического морского льда продолжаются в ближайшей перспективе (2031–2050 гг.) из-за повышения температуры приземного воздуха (высокая степень достоверности) с неизбежными последствиями для речного стока» [1].

На основе комплексного изучения ледниковых систем было определено, что ледники являются «высокочувствительными» индикаторами климата, когда даже незначительные изменения климатических параметров

могут вызвать существенные изменения их балансов [2], [3], [4], [5]. Ледники чувствительны к колебаниям температуры и осадков. В ответ на продолжающееся потепление атмосферы ледники отступают в большинстве регионов мира [6], [7]. Известно, что на Кавказе общая площадь ледников сократилась на 23% за последние 20 лет [8]. По данным предыдущих исследований нами было показано, что за последние 20 лет усилился рост не только летних, но и зимних и весенних температур на фоне незначительного снижения количества осадков, что приводит к таянию ледников в высокогорной зоне Северного Кавказа [9].

В [1] прогнозируется, что регионы с преимущественно более мелкими ледниками (в том числе Кавказ) потеряют более 80% своей нынешней ледяной массы к 2100 г. в соответствии с жестким сценарием роста температуры RPC8.5 (средний уровень достоверности).

Глобальное потепление, вызывающее таяние ледников, приводит к усилению эрозии почвы на водосборных территориях. Это может привести к вымыванию и смыву органического материала в реки и водостоки, увеличивая содержание органики в воде. Исследование изменения климата и загрязнения окружающей среды, является одной из важнейших задач современной науки.

В связи с этим особый интерес представляет изучение современного изменения климата в высокогорной зоне и его влияния на процессы, приводящие к таянию ледников и как следствие загрязнению водотока.

### **Методы и принципы исследования**

Анализ наблюдаемых изменений регионального климата, в частности климата Кавказского региона, является важной составляющей для понимания происходящих изменений в горных экосистемах. Во многих исследованиях по ледникам Кавказа сделаны выводы о влиянии роста средних летних температур на сокращение размеров оледенения [10], [11], [12], [13]. Ускорение темпов и масштабов деградации ледников на фоне изменения климата приводит к тому, что проблема деградации ледников и управления водными ресурсами с каждым годом становится острее.

В работе [10] приводятся данные о том, что за последние 30 лет произошло катастрофическое сокращение площади оледенения в горах Большого Кавказа, причем его значения достигли 0,69% в год. Показано, что в течение летнего сезона в регионе в целом наблюдается статистически значимое потепление. Никаких статистически значимых изменений в режиме выпадения осадков обнаружено не было, в результате сезонные и годовые объемы осадков существенно не меняются. Такие последствия, возможно, являются следствием глобального процесса «расширения тропиков», что, по-видимому, является причиной интенсивного сокращения площади оледенения на Северном Кавказе.

По данным авторов [11], в летние сезоны 1961–2020 гг. средние температуры имели статистически значимый положительный тренд ( $a_1=0,31^{\circ}\text{C}/10$  лет,  $D_1=37\%$ ), при этом с начала текущего столетия изменение термического режима исследуемого района происходило за счет значительного роста средних зимних, весенних, летних температур и незначительного снижения зимних сумм осадков. В период 2006–2020 гг. к значимому росту летних температур добавился статистически значимый рост абсолютных максимумов всех сезонных температур, в отличие от сумм и суточных максимумов осадков, снижение которых в зимний сезон статистически незначимы. Такой сложившийся термический режим и режим осадков в последние десятилетия явился основной составляющей из факторов, приводящих к сокращению площади ледников.

В работах [12], [13] авторы приводят результаты исследования деградации ледников Кавказа с выводами, что из-за глобального потепления общая площадь свыше 600 ледников Большого Кавказа сократилась примерно на 16%. Ледники реагируют на изменение климата и прежде всего — на рост летней температуры воздуха. Кроме этого, на скорость таяния ощутимо влияет и моренный покров — обломки горных пород разного размера. Причем ледники без покрова из обломков горных пород уменьшились сильнее, чем те, на которых есть обломки.

Из работ [10], [14], [15] видно, что в результате мониторинга высокогорной зоны Центрального Кавказа на основе разновременных космоснимков Sentinel-2 выявлено пятикратное ускорение темпов деградации ледников Эльбруса в 2015–2020 гг. по сравнению с периодом 1957–1997 гг. В 2023 г. отмечено сохранение высоких темпов деградации ледников Эльбруса и других ледников Кавказа. По данным космоснимков Sentinel-2 площадь по периметру ледников Эльбруса в 2023 гг. составила 104,36 км<sup>2</sup>. В 2022 г. площадь единого массива ледников Эльбруса составляла 105,63 км<sup>2</sup>. Высокие темпы деградации ледников Эльбруса сохранились и составляют за последний год — 1,27 км<sup>2</sup> в год.

В Специальном отчете МГЭИК об океане и криосфере в условиях меняющегося климата [1] отмечается, что, скорее всего, атмосферное потепление является основной движущей силой глобального отступления ледников. Было подсчитано, что антропогенная доля потери массы всех горных ледников увеличилась с  $25 \pm 35\%$  в период 1851–2010 гг. до  $69 \pm 24\%$  в период 1991–2010 гг.

В данной работе для определения климатических характеристик (сезонные температуры, осадки), влияющих на изменение массово-балансовых характеристик ледника Терскол в качестве основного источника информации использовались ряды наблюдений на метеостанции Терскол, расположенной на высоте 2144 м н.у.м., в Приэльбрусье между склоном горы Чегет и Терскольским ущельем.

На основе первичных наблюдений был проведен анализ температур и осадков с использованием методов математической статистики за весь период наблюдений 1961–2024 гг. Тренды рассчитывались известным методом наименьших квадратов. Угловой коэффициент уравнения линейного тренда является характеристикой средней скорости изменения климатической переменной на рассматриваемом отрезке времени и выражается в °C/10 лет для температуры и мм/10 лет для осадков. Сила тренда оценивалась параметром D (%) — вкладом тренда в объясненную дисперсию.

Поскольку глобальное потепление, вызывающее таяние ледников может менять объем речного стока, что оказывает влияние на концентрацию загрязняющих веществ в водотоках, то был проведен анализ поверхностных вод на содержание в них загрязняющих веществ.

Работы [16], [17], [18] посвящены анализу концентрации загрязняющих веществ р. Баксан, которая берет свое начало со склонов Эльбруса посвящено, но в них приводятся результаты исследования загрязнения реки в районе Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината. Результаты исследования поверхностных вод верховьев реки Баксан и ледников Приэльбрусья приведены в работах [19], [20], [21].

В работе [19] исследование поверхностных вод в верховьях р. Баксан показало превышение ПДК по содержанию As, F, Li, Mn, Mo, а также Cl, Na и K в водотоках преимущественно подземного происхождения, сформированных на склонах Эльбруса.

В работе [20] получено, что концентрации тяжелых металлов в пробах снежной толщи и речных вод, формирующихся при таянии ледников, южного сектора Эльбруса, преимущественно на один-два порядка ниже их предельно-допустимой концентрации для вод санитарно-бытового назначения.

По результатам исследования концентрации тяжелых металлов в сезонных слоях ледника Гарабаши на южном склоне Эльбруса в [21] получено, что концентрации тяжелых металлов (Cr, Ni, Mn, Zn), за исключением выявленных природных аномалий содержания Pb (230 мкг/л), преимущественно не превышают ПДК, но в некоторых случаях наблюдается повышенное содержание тяжелых металлов, что может быть обусловлено литологическим составом горных пород, для которого характерно наличие площадных геохимических аномалий мышьяка и локальных геохимических аномалий цинка и свинца. Сравнение содержания тяжелых металлов в весенних и летних пробах выявило, что в снежной толще весеннего пробоотбора концентрации тяжелых металлов иногда выше, чем в летних.

В нашей работе было проведено исследование поверхностных вод не только на содержание в них тяжелых металлов, но также на биологическое загрязнение (химическое потребление кислорода (ХПК), биологическое потребление кислорода за 5 суток (ХПК5)) и содержание нефтепродуктов.

Для анализа поверхностных вод на химическое загрязнение отбор проб производился вручную с помощью батометра, изготовленного из материала, не загрязняющего пробу. Пробы воды отбирались в полиэтиленовые химически чистые флаконы с плотно закрывающимися пробками и транспортировались в сумке-холодильнике. Отбор, транспортировка и хранение проб производились в соответствии с ГОСТ 31861-2012 [22].

Анализ проб проводился в аккредитованной испытательной лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кабардино-Балкарской республике». Оценка уровня химического загрязнения поверхностных вод проводилась согласно ГН 2.1.5.2280-07 [23].

### Основные результаты

Методами математической статистики получены результаты, характеризующие изменения температуры и осадков за период 1961–2024 гг.: осредненные температуры и осадки, климатические нормы (1991–2020 гг., базовый период), экстремальные значения, скорость изменения метеопараметров (табл. 1).

Таблица 1 - Сводные характеристики изменения температуры и осадков по данным м/станции Терскол, 1961-2024 гг.

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.114.1>

№	Статистики 1961-2024гг.	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Температура						
1	Среднее, (стандартное отклонение, $\sigma$ ), °C	-6,5(1,5)	1,9(1,0)	11,6(0,9)	3,7(1,0)	2,7(0,7)
2	Норма (1991-2020 гг., базовый период)	-6,6	1,9	12,0	3,6	2,7
3	Средняя аномалия (1961-2024 гг.)	0,2	0,0	-0,4	0,1	0,0
4	Количество экстремумов, п	$1 < -11,5^{\circ}\text{C}$ 2008 г.	-	-	$1 > 7,2^{\circ}\text{C}$ 1975 г. $1 \leq 0,8^{\circ}\text{C}$ 2011 г.	$1 > 4,5^{\circ}\text{C}$ 2010 г.
5	Угловой коэффициент линейног	0,03	0,09	<b>0,34</b>	0,03	<b>0,12</b>

№	Статистики 1961-2024гг.	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
	о тренда, $a$ °C/10 лет					
6	Коэффициент детерминации, $D(%)^{**}$	0,6	4,0	<b>45,0</b>	0,4	<b>11,0</b>
Сумма осадков						
7	Среднее, стандартное отклонение., $\sigma$ , мм	160 (84)	256 (82)	294 (67)	255 (92)	965 (173)
8	Норма (1991-2020 гг., базовый период)	159	270	297	269	993
9	Средняя аномалия (1961-2024 гг.)	1,6	-13,7	-3,2	-17,0	-35,0
10	Количество экстремумов, п	2 ≥ 445 мм 1963г, 1987г.	3 ≥ 426 мм 2004г., 2005г., 2021г.	1 ≤ 141мм 1998 г. 1 ≥ 533мм 1967 г.	3≥470мм 1972 г., 1989 г., 1992 г.	1≥1425мм 1987 г.
11	Угловой коэффициент линейного тренда, $a$ , мм/мес/10лет	0,37	9,7	-6,8	5,5	3,3
12	Коэффициент детерминации, $D(%)^{**}$	0,0	5,0	3,5	1,0	0,1

Примечание: \*\* жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты трендов ( $D > 7\%$ )

Среднегодовая температура Терскола за 1961-2024 гг. была равна климатической норме и составила 2,7°C. В этот же период оставалась практически постоянной скорость изменения температуры в зимний ( $a=0,03^{\circ}\text{C}/10$  лет), весенний ( $a=0,09^{\circ}\text{C}/10$  лет) и осенний ( $a=0,03^{\circ}\text{C}/10$  лет) сезоны. В отличие от этих сезонов, скорость роста летних температур за период 1961–2024 гг. составила 0,34°C/10 лет ( $D=45\%$ ), в году в целом скорость роста составила 0,12°C/10 лет при  $D=11\%$  (рис. 1).

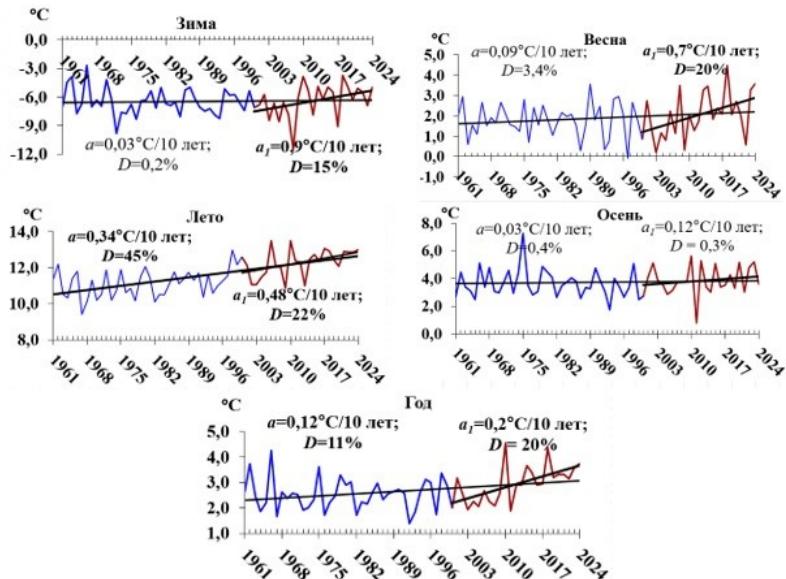
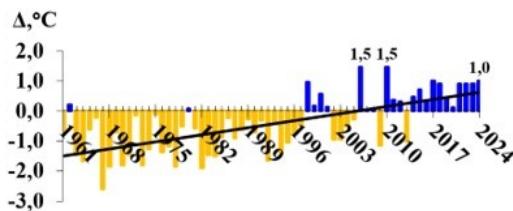


Рисунок 1 - Графики средней температуры в Терсколе в 1961-2024 гг. и 2001-2024 гг. с трендами

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.114.2>

*Примечание: жирным выделены значимые тренды на 5%-ном уровне*

С начала 2000-х годов по настоящее время в летних температурах преобладают положительные аномалии (рис. 2), максимальные из них ( $+1,5^{\circ}\text{C}$ ) наблюдались в 2006 и в 2010 гг., что было вызвано преобладанием антициклональной погоды в это время. Такая аномалия превысила межгодовую изменчивость летней температуры ( $\sigma = 0,86^{\circ}\text{C}$ ) более чем в три раза, что реализуется при вероятности  $p=0,13\%$  наступления события. В 2024 году имело место превышение температур летом на  $+1,0^{\circ}\text{C}$  ( $\sigma=0,8^{\circ}\text{C}$ ), что незначительно превысило межгодовую изменчивость.

Рисунок 2 - Аномалии средних летних температур с линейными трендом относительно нормы (1991-2020 гг.),  
м/станция Терскол, 1961-2024 гг.DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.114.3>

Последние два десятилетия (2001-2024 гг.) отличаются усиленным таянием ледников Кавказа [15], [24], наряду с летними температурами имел место рост на статистически значимом уровне (5%-ный) зимних ( $a=0,9^{\circ}\text{C}/10$  лет,  $D=15\%$ ) и весенних ( $a=0,7^{\circ}\text{C}/10$  лет,  $D=20\%$ ) температур (рисунок 2). Такой сезонный рост температур сформировал статистически значимый рост среднегодовой температуры на м/станции Терскол в последние 20 лет ( $a=0,2^{\circ}\text{C}/10$  лет,  $D=20\%$ ) (рис. 1).

Кроме заметного изменения средних температур по нашим данным за последние годы (2006-2024 гг.) имел место статистически значимый рост абсолютных максимумов всех сезонных температур: зимних на  $0,69^{\circ}\text{C}/\text{год}$  ( $D=69\%$ ), весенних на  $0,45^{\circ}\text{C}/\text{год}$  ( $D=40\%$ ); летних на  $0,43^{\circ}\text{C}/\text{год}$  ( $D=39\%$ ); осенних на  $0,59^{\circ}\text{C}/\text{год}$  ( $D=60\%$ ), что также способствовало усиленному таянию ледников.

Для высокогорной м/станции Терскол характерно большое количество годовых сумм осадков, среднее значение которых за период 1961-2024 гг. составило 969,9 мм/год. За этот же период тренды в зимних суммах осадков отсутствовали, весенние и осенние суммы осадков незначительно увеличивались, а летние уменьшились.

Поскольку в сезон аккумуляции для формирования ледяных масс необходимы осадки в зимний сезон, то для анализа из суммарных осадков выделен ряд с осадками в зимние месяцы (рис. 3).

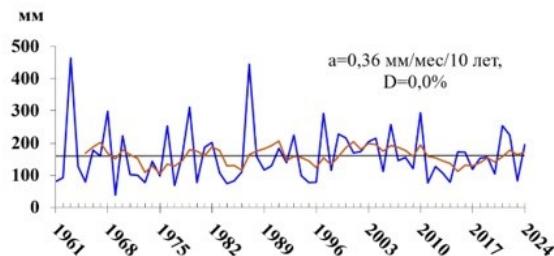


Рисунок 3 - Сумма осадков в зимний сезон (декабрь-февраль) с трендом за 1961-2024 гг. на метеостанции Терскол  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.114.4>

Из рисунка 3 видно, что тенденция зимних осадков имеет слабо положительную направленность, при этом 5-летнее скользящее среднее демонстрирует периоды увеличения и снижения зимних осадков примерно одной продолжительности до середины 90-х годов 20-го столетия.

С начала 2000-х гг. на фоне значимого роста сезонных температур изменение суммы осадков как сезонных (в том числе зимних), так и годовых, имели отрицательные тенденции, все тенденции статистически незначимые.

Одним из основных факторов, приводящих к усиленному таянию ледников и уменьшению их площади, является сложившийся термический режим и режим осадков в последние десятилетия, а именно: рост летней температуры воздуха на статистически значимом уровне за последние 60 лет в высокогорной зоне Кавказа, а также ускорение роста зимней и весенней температуры на статистически значимом уровне за последние десятилетия (2001-2024 гг.) на фоне слабо меняющихся осадков во все сезоны и в году в целом.

Таяние ледников может менять объем речного стока, что влияет на концентрацию загрязняющих веществ. В зависимости от ситуации, вода может либо разбавлять существующие загрязнения, либо, наоборот, приводить к увеличению их концентрации на определенных участках.

Для оценки загрязнения постоянных и временных водотоков на южном склоне горы Эльбрус, где протекает р. Гарабаши, а также многочисленные ручьи (временные водотоки), которые берут свое начало у ледника и стекают со склонов, был проведен отбор проб поверхностной воды для проведения лабораторных исследований. Отбор проб проводился в июле 2023 года.

Результаты лабораторных исследований проб поверхностной воды приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Концентрация загрязняющих веществ в пробах поверхностных вод

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.114.5>

№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	ПДК	Содержание в пробе №1	Содержание в пробе №2	Содержание в пробе №3	Содержание в пробе №4	Превышение ПДК
1	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 500	28,90±2,89	7,2±0,72	4,60±0,92	4,6±0,92	нет
2	pH	ед. pH	от 6 до 9	6,82±0,2	7,2±0,2	6,1±0,2	6,6±0,2	нет
3	БПК5	мгO <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	≤ 4	0,700±0,09 <sub>8</sub>	1,2±0,168	1,400±0,19 <sub>6</sub>	0,50±0,07	нет
4	Общая минерализация (сухой остаток)	мг/дм <sup>3</sup>	-	140,0±26,6	110±20,9	130,0±24,7	140±26,6	нет
5	ХПК (химическое потребление кислорода)	мгO/дм <sup>3</sup>	≤ 30	23,20± 6,96	93,2 ±27,92	177,3± 53,19	36,6±10,98	да
6	Нефтепродукты (суммарно)	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,1	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	нет
7	Аммиак	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 1,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	нет
8	Нитраты (по NO <sub>3</sub> )	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 45	< 0,5	1,0±0,2	0,5±0,1	0,6±0,12	нет

№ п/п	Определяемые показатели	Единицы измерения	ПДК	Содержание в пробе №1	Содержание в пробе №2	Содержание в пробе №3	Содержание в пробе №4	Превышение ПДК
9	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 350	23,0±2,3	2,1±0,504	3,100±0,744	3,0±0,72	нет
10	ПАВ анионоактивные	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	нет
11	Фториды	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 1,2	0,22±0,0396	< 0,5	< 0,5	0,12±0,0216	нет
12	Кальций	мг/дм <sup>3</sup>	-	20,60±2,06	17,8±1,78	5,300±0,742	26,1±2,61	нет
13	Марганец	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	нет
14	Молибден	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,07	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	нет
15	Никель	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,1	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	нет
16	Хром (6+)	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,05	0,004±0,0016	0,004±0,0016	0,002±0,0008	0,002±0,0008	нет
17	Свинец	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,01	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	нет
18	Мышьяк	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,01	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	нет
19	Кадмий	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	нет
20	Ртуть	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,0005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	< 0,00005	нет
21	Медь	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 1	< 0,0005	< 0,0005	0,00235±0,00094	< 0,0005	нет
22	Цинк	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 5	< 0,0005	< 0,0005	0,009430±0,002829	< 0,0005	нет
23	Железо	мг/дм <sup>3</sup>	≤ 0,3	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	нет

Из таблицы 2 видно, что по результатам количественного химического анализа поверхностных вод выявлено единственное превышение допустимых нормативов в трех пробах по показателю ХПК, разброс значений которого составляет от 36,6 до 177,3 мгО/дм<sup>3</sup>, что превышает ПДК в 1,2–5,9 раз. Остальные показатели не превышают допустимых значений.

Химическое потребление кислорода — показатель содержания органических веществ в воде и является одним из основных показателей степени загрязнения водотоков [25]. Высокий показатель ХПК может быть связан как с природными особенностями высокогорья, так и с антропогенным воздействием. Так как территория исследования расположена на высоте около 4000 м и в данном районе на сегодняшний день отсутствуют туристические базы, то антропогенная нагрузка маловероятна.

Таяние ледников само по себе напрямую не повышает ХПК, но может косвенно способствовать его росту через усиление эрозии, которая высвобождает органический материал из почвы.

Природными источниками органических веществ являются разрушающиеся останки организмов растительного и животного происхождения, как живших в воде, так и попавших в водоем по воздуху, с берегов. Кроме того, существуют также техногенные источники органических веществ: транспортные предприятия (нефтепродукты), целлюлозно-бумажные и лесоперерабатывающие комбинаты (лигнин), мясокомбинаты (белковые соединения), сельскохозяйственные и фекальные стоки и т.д.

Поскольку в данном районе нет никаких промышленных предприятий и мест сброса сточных вод, то антропогенное загрязнение водных объектов является маловероятным, поэтому можно говорить о природных источниках загрязнения природной воды органическими веществами.

Повышенный уровень ХПК свидетельствует о загрязнении воды, истощении кислорода и может приводить к гибели водных организмов.

### Заключение

Исследования, проведенные в данной работе, показали, что в период 1961–2024 гг. скорость изменения температуры в высокогорной зоне Северного Кавказа (м/станция Терскол) в летний период составляла 0,34°C за 10 лет при ( $D=45\%$ ), в году в целом скорость роста составила 0,12°C/10 лет при  $D=11\%$ . В остальные сезоны скорость роста была практически неизменной. С начала 2000-х годов наряду с летними температурами наблюдался рост зимних (0,9°C/год) и весенних (0,7°C/10 лет) температур и вследствие чего сформировался статистически значимый рост среднегодовой температуры (0,2°C/10 лет).

За период 1961–2024 гг. по данным м/станции Терскол тренды в зимних суммах осадков отсутствовали, весенние и осенние суммы осадков незначительно увеличивались, а летние уменьшились. При выделении из суммарных осадков ряд с осадками в зимние месяцы (сезон аккумуляции) получено, что тенденция зимних осадков имеет слабо положительную направленность. С начала 2000-х гг. на фоне значимого роста сезонных температур изменение суммы

осадков как сезонных (в том числе зимних), так и годовых, имели отрицательные статистически незначимые тенденции.

Сложившийся термический режим и режим осадков в последние десятилетия в высокогорной зоне является одним из основных факторов, приводящих к таянию ледников, что в свою очередь влияет на объем речного стока и, следовательно, на концентрацию загрязняющих веществ в поверхностных водах. Оценка загрязнения постоянных и временных водотоков показало превышение ПДК по ХПК от 1,2 до 5,9 раз.

## Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

## Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

## Список литературы / References

1. МГЭИК, 2019 г.: Резюме для политиков / под ред. Н.-О. Пёртнер, Д.С. Робертс, В. Массон-Дельмотт [и др.] // Специальный отчет МГЭИК об океане и криосфере в условиях меняющегося климата. — 2019. — DOI: 10.1017/9781009157964.004.

2. Dyurgerov M.B. Twentieth Century Climate Change: Evidence from Small Glaciers / M.B. Dyurgerov, M.F. Meier // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. — 2000. — 97. — P. 1406-1411. — DOI: 10.1073/pnas.97.4.1406.

3. Хеберли В. Развитие и перспективы прикладных исследований ледниковых и мерзлотных опасностей в высокогорных регионах – пример Швейцарии / В. Хеберли, К. Хюггель А. Кяб [и др.] // Материалы Международной конференции по предотвращению опасностей в горах. — Владикавказ/Москва, 2004. — С. 219–228.

4. Solomina O.N. Holocene glacier fluctuations / O.N. Solomina, R.S. Bradley, D.A. Hodgson [et al.] // Quaternary Science Reviews. — 2015. — Vol. 111. — P. 9–34.

5. Solomina O. Historical and Holocene glacier-climate variations: general concepts and overview / O. Solomina, W. Haeberli, C. Kull [et al.] // Global and Planetary Change. — 2008. — Vol. 60. — № 1-2. — P. 1–9.

6. Hock R. GlacierMIP — A model intercomparison of global-scale glacier mass-balance models and projections / R. Hock, A. Bliss, B. Marzeion [et al.] // Journal of Glaciology. — 2019. — Vol. 65. — P. 453–467. — DOI: 10.1017/jog.2019.22.

7. Zemp M. Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016 / M. Zemp, M. Huss, E. Thibert [et al.] // Nature. — 2019. — Vol. 568(7752). — P. 382–386. — DOI: 10.1038/s41586-019-1071-0.

8. Положенцев А.Г. Изучение динамики площади ледников в горах Северного Кавказа с помощью аэрокосмических технологий / А.Г. Положенцев, Э.А. Иноземцева // Инженерный вестник Дона. — 2023. — № 5. — С.1–13.

9. Ташилова А.А. Уменьшение водных ресурсов региона как следствие деградации ледников Северного Кавказа под воздействием климатических изменений / А.А. Ташилова, Л.А. Кешева, Н.В. Теунова // Международный научно-исследовательский журнал. — 2023. — № 1(127). — С.1–5. — DOI: 10.23670/IRJ.2023.127.70.

10. Toropov P.A.6 Large-scale climatic factors driving glacier recession in the Greater Caucasus, 20th-21st century / P.A. Toropov, M.A. Aleshina, A.M. Grachev // Int. J. Climatol. — 2019. — 39 (12). — P. 4703–4720. — DOI: 10.1002/joc.6101.

11. Беккиев М.Ю. Современная деградация долинных ледников Центрального Кавказа / М.Ю. Беккиев, М.Д. Докукин, Р.Х. Калов [и др.] // Фундаментальная и прикладная климатология. — 2021. — Т. 7, № 3. — С. 113–141. — DOI: 10.21513/2410-8758-2021-3-113-141. — EDN AUKUMQ.

12. Kutuzov S. Volume Changes of Elbrus Glaciers From 1997 to 2017 / S. Kutuzov, I. Lavrentiev, A. Smirnov [et al.] // Frontiers in Earth Science. — Vol. 7. — Article 153.

13. Nosenko G.A. Response of glaciers of the Central Caucasus in 2001-2010 on changes in temperature and precipitation / G.A. Nosenko, T.E. Khromova, O.V. Rototayeva [et al.] // Ice and Snow. — 2019. — 1(121). — P. 26–33.

14. Adzhieva A.Kh. The impact of climate change on glaciation of the Great Caucasus / A.Kh. Adzhieva, M.D. Dokukin, N.V. Kondratyeva [et al.] // International Scientific Conference “Modern Problems of Ecology”. — Vol. VIII. — Batumi, 2022. — P. 22–24.

15. Беккиев М.Ю. Деградация долинных ледников и селевая опасность / М.Ю. Беккиев, М.Д. Докукин, Р.Х. Калов [и др.] // Актуальные проблемы защиты экологии и климата : международная научно-практическая конференция, посвященная Всемирному дню ледников. — Душанбе, 2023. — С. 23–28. — EDN NSCMEB.

16. Воробьева Т.И. Динамика содержания токсичных загрязняющих веществ в водах рек Баксан и Черек / Т.И. Воробьева, Л.З. Жинжакова, Е.А. Чередник [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. — 2011. — № 5(43). — С. 49–56.

17. Газаев М.А. Сравнительный анализ речных вод высокогорной зоны Баксанского и Черекского ущелий / М.А. Газаев, Э.А. Агоева, Л.З. Жинжакова // Вода: химия и экология. — 2014. — № 6 (72). — С. 3–7.

18. Бортников Н.С. Результаты исследования воздействия захороненных промышленных отходов Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината на воду р. Баксан и ее притоков / Н.С. Бортников, О.А. Богатиков, Б.С. Карамурзов [и др.] // Вестник Владикавказского научного центра. — 2013. — Т. 13. — № 3. — С. 22–30.

19. Реутова Т.В. Гидрохимические аномалии в водных объектах национального парка «Приэльбрусье» / Т.В. Реутова, Н.В. Реутова, Ф.Р. Дреева [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. — 2022. — № 6(110). — С. 144–157.
20. Керимов А.М. Сравнительный анализ концентраций тяжелых металлов в истоках реки Баксан и леднике Гарабаши (южный склон Эльбруса) / А.М. Керимов, О.А. Курашева // Известия Дагестанского государственного педагогического университета. Естественные и точные науки. — 2018. — Т. 12. — № 1. — С. 49–56.
21. Татаренко Н.В. Концентрации тяжелых металлов в сезонных слоях ледника Гарабаши на южном склоне Эльбруса / Н.В. Татаренко // Успехи современного естествознания. — 2022. — № 1. — С. 49–55.
22. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору к отбору проб. — Москва: Стандартинформ, 2013. — 35 с.
23. ГН 2.1.5.2280-07. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйствственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. — Москва, 2008. — 13 с.
24. Беккиев М.Ю. Катастрофические явления последних десятилетий, связанные с деградацией ледников и мерзлоты в горах (аналитический обзор) / М.Ю. Беккиев, М.Д. Докукин, Р.Х. Калов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. — 2023. — Т. 87. — № 7. — С. 1065–1078. — DOI: 10.31857/S2587556623070051. — EDN HGTATM.
25. Гусева Т.В. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды / Т.В. Гусева, Я.П. Молчанова, Е.А. Заика [и др.]. — Москва: ЭкоЛайн, 2002. — 150 с.

### Список литературы на английском языке / References in English

1. MGEIK, 2019 g.: Rezume dla politikov [IPCC, 2019: Summary for Policymakers] / edited by H.-O. Pörtner, D.S. Roberts, V. Masson-Delmotte [et al.] // IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. — DOI: 10.1017/9781009157964.004. [in Russian]
2. Dyurgerov M.B. Twentieth Century Climate Change: Evidence from Small Glaciers / M.B. Dyurgerov, M.F. Meier // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. — 2000. — 97. — P. 1406–1411. — DOI: 10.1073/pnas.97.4.1406.
3. Heberli V. Razvitie i perspektivy prikladnyh issledovanij lednikovyh i merzlotnyh opasnostej v vysokogornyh regionah – primer Shvejcarii [Development and prospects of applied research on glacier and permafrost hazards in high mountain regions – the example of Switzerland] / V. Heberli, K. Hüggel, A. Kääb [et al.] // Materialy Mezhdunarodnoj konferencii po predotvrazheniyu opasnostej v gorah [Proceedings of the International Conference on Hazard Prevention in Mountains]. — Vladikavkaz/Moscow, 2004. — P. 219–228. [in Russian]
4. Solomina O.N. Holocene glacier fluctuations / O.N. Solomina, R.S. Bradley, D.A. Hodgson [et al.] // Quaternary Science Reviews. — 2015. — Vol. 111. — P. 9–34.
5. Solomina O. Historical and Holocene glacier-climate variations: general concepts and overview / O. Solomina, W. Haeberli, C. Kull [et al.] // Global and Planetary Change. — 2008. — Vol. 60. — № 1-2. — P. 1–9.
6. Hock R. GlacierMIP — A model intercomparison of global-scale glacier mass-balance models and projections / R. Hock, A. Bliss, B. Marzeion [et al.] // Journal of Glaciology. — 2019. — Vol. 65. — P. 453–467. — DOI: 10.1017/jog.2019.22.
7. Zemp M. Global glacier mass changes and their contributions to sea-level rise from 1961 to 2016 / M. Zemp, M. Huss, E. Thibert [et al.] // Nature. — 2019. — Vol. 568(7752). — P. 382–386. — DOI: 10.1038/s41586-019-1071-0.
8. Polozhentsev A.G. Izuchenie dinamiki ploshchadi lednikov v gorah Severnogo Kavkaza s pomoshch'yu aerokosmicheskikh tekhnologij [Study of glacier area dynamics in the North Caucasus mountains using aerospace technologies] / A.G. Polozhentsev, E.A. Inozemceva // Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]. — 2023. — № 5. — P. 1–13. [in Russian]
9. Tashilova A. A. Umen'shenie vodnyh resursov regiona kak sledstvie degradacii lednikov Severnogo Kavkaza pod vozdejstviem klimaticheskikh izmenenij [Decrease in regional water resources as a consequence of glacier degradation in the North Caucasus under the influence of climate change] / A.A. Tashilova, L.A. Kesheva, N.V. Teunova // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal]. — 2023. — № 1(127). — P. 1–5. — DOI: 10.23670/IRJ.2023.127.70. [in Russian]
10. Toropov P.A. Large-scale climatic factors driving glacier recession in the Greater Caucasus, 20th-21st century / P.A. Toropov, M.A. Aleshina, A.M. Grachev // Int. J. Climatol. — 2019. — 39 (12). — P. 4703–4720. — DOI: 10.1002/joc.6101.
11. Bekkiev M.Yu. Sovremennaya degradaciya dolinnyyh lednikov Central'nogo Kavkaza (2021)[ Modern degradation of valley glaciers of the Central Caucasus] / M.Yu. Bekkiev, M.D. Dokukin, R.H. Kalov [et al.] // Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and Applied Climatology]. — 2021. — Vol. 7, № 3. — P. 57–80. — DOI: 10.21513/2410-8758-2021-3-113-141. — EDN AUKUMQ. [in Russian]
12. Kutuzov S. Volume Changes of Elbrus Glaciers From 1997 to 2017 / S. Kutuzov, I. Lavrentiev, A. Smirnov [et al.] // Frontiers in Earth Science. — Vol. 7. — Article 153.
13. Nosenko G.A. Response of glaciers of the Central Caucasus in 2001-2010 on changes in temperature and precipitation / G.A. Nosenko, T.E. Khromova, O.V. Rototayeva [et al.] // Ice and Snow. — 2019. — 1(121). — P. 26–33.
14. Adzhiev A.Kh. The impact of climate change on glaciation of the Great Caucasus / A.Kh. Adzhiev, M.D. Dokukin, N.V. Kondratyeva [et al.] // International Scientific Conference “Modern Problems of Ecology”. — Vol. VIII. — Batumi, 2022. — P. 22–24.
15. Bekkiev M.Yu. Degradaciya dolinnyyh lednikov i selevaya opasnost' [Degradation of valley glaciers and mudflow hazard] / M.Yu. Bekkiev, M.D. Dokukin, R.Kh. Kalov [et al.] // Aktual'nye problemy zashchity ekologii i klimata : mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchennaya Vsemirnomu dnyu lednikov [Current problems of

ecology and climate protection : International Scientific and Practical Conference dedicated to World Glacier Day]. — Dushanbe, 2023. — P. 23–28. — EDN: NSCMEB. [in Russian]

16. Vorobyova T.I. Dinamika soderzhaniya toksichnyh zagryaznyayushchih veshchestv v vodah rek Baksan i Cherek [Dynamics of the content of toxic pollutants in the waters of the Baksan and Cherek rivers] / T.I. Vorob'eva, L.Z. Zhinzhakova, E.A. Cherednik [et al.] // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN [Bulletin of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. — 2011. — № 5 (43). — P. 49–56. [in Russian]

17. Gazaev M.A. Sravnitel'nyj analiz rechnyh vod vysokogornoj zony Baksanskogo i Cherekskogo ushchelij [Comparative analysis of river waters in the high-mountain zone of the Baksan and Cherek gorges] / M.A. Gazaev, E.A. Agoeva, L.Z. Zhinzhakova // Voda: himiya i ekologiya [Water: chemistry and ecology]. — 2014. — № 6 (72). — P. 3–7. [in Russian]

18. Bortnikov N.S. Rezul'taty issledovaniya vozdejstviya zahoronnennyh promyshlennyyh othodov Tyrnyauzskogo vol'framo-molibdenovogo kombinata na vodu r. Baksan i ee pritokov [Results of a study of the impact of buried industrial waste in Tyrnyauz tungsten-molybdenum plant for water from the river. Baksan and its tributaries] / N.S. Bortnikov, O.A. Bogatikov, B.S. Karamurzov [et al.] // Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra [Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center]. — 2013. — Vol. 13. — № 3. — P. 22–30. [in Russian]

19. Reutova T.V. Gidrohimicheskie anomalii v vodnyh ob'ektaх nacional'nogo parka «Priel'brus'e» [Hydrochemical anomalies in water bodies of the Elbrus region national park] / T.V. Reutova, N.V. Reutova, F.R. Dreeva [et al.] // Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN [Bulletin of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. — 2022. — № 6(110). — P. 144–157. [in Russian]

20. Kerimov A.M. Sravnitel'nyj analiz koncentracij tyazhelyh metallov v istokah reki Baksan i lednike Garabashi (yuzhnyj sklon El'brusa) [Comparative analysis of heavy metal concentrations in the sources of the Baksan River and the Garabashi glacier (southern slope of Elbrus)] / A.M. Kerimov, O.A. Kurasheva // Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. Estestvennye i tochnye nauk [Bulletin of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and Exact Sciences]. — 2018. — Vol. 12. — № 1. — P. 49–56. [in Russian]

21. Tatarenko N.V. Koncentracii tyazhelyh metallov v sezonnnyh sloyah lednika Garabashi na yuzhnym sklonem El'brusa [Concentrations of heavy metals in seasonal layers of the Garabashi glacier on the southern slope of Elbrus] / N.V. Tatarenko // Uspekhi sovremennoj estestvoznaniya [Advances in Modern Natural Science]. — 2022. — № 1. — P. 49–55. [in Russian]

22. GOST 31861-2012 Voda. Obshchie trebovaniya k otboru k otboru prob [GSRF 31861-2012. Water. General requirements for sampling]. — Moscow: Standartinform, 2013. — 35 p. [in Russian]

23. GN 2.1.5.2280-07. Predel'no-dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v vode vodnyh ob'ektov hozyajstvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya [HS 2.1.5.2280-07 Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in water of water bodies used for domestic and drinking water supply and cultural and domestic water use]. — Moscow, 2008. — 13 p. [in Russian]

24. Bekkiev M.Yu. Katastroficheskie yavleniya poslednih desyatiletij, svyazанные s degradacijей lednikov i merzloty v gorah (analiticheskij obzor) [Catastrophic phenomena of recent decades associated with the degradation of glaciers and permafrost in the mountains (analytical review)] / M.Yu. Bekkiev, M.D. Dokunin, R.H. Kalov // Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical series]. — 2023. — Vol. 87. — No. 7. — P. 1065–1078. — DOI: 10.31857/S2587556623070051. — EDN HGTATM. [in Russian]

25. Guseva T.V. Gidrohimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchej sredy [Hydrochemical indicators of the state of the environment] / T.V. Guseva, Ya.P. Molchanova, E.A. Zaika [et al.]. — Moscow: Ecoline, 2002. — 150 p. [in Russian]