

1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
1.6.21. Геоэкология (географические науки)



Научная статья

УДК 511.435.627:551 (470.63) + 551.3 (470.65)

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.4.3>

ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОСНОВНЫХ РЕК КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО ВЫСОКОГОРНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАПОВЕДНИКА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Ирина Ибрагимовна Кучменова

Высокогорный геофизический институт (д. 2, пр. Ленина, Нальчик,
360001, Российская Федерация)

ira_kuchmenova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7831-2114>

Аннотация.

В последние десятилетия отмечается увеличение и изменение внутригодового распределения стока во многих районах европейской части России. Повышение температуры воздуха приводит к усилению интенсивности таяния ледников, но эти вопросы рассматривались в основном для крупных рек, небольшие горные реки мало изучены. В данной статье рассмотрено влияние изменений метеорологических характеристик (температура воздуха и осадки) на гидролого-гидрохимический режим рек Кабардино-Балкарского государственного высокогорного заповедника. Климатические изменения проанализированы по данным температуры воздуха и осадков за период с 1961 по 2021 г. Анализ водного режима проведен по многолетним данным стока с постов с. Н. Чегем и с. Бабугент в период с 1961 г. по 2021 г. Проведен сравнительный анализ данных по сумме ионов в воде исследуемых рек за 1958–1960 гг. с данными, полученными нами в 2015–2017 гг. Многолетние колебания температуры воздуха для всех исследуемых бассейнов имеют тенденцию к увеличению: среднегодовая и зимняя на 0,6 °С, летняя от 2,4 до 3 °С. Увеличение годовой суммы осадков характерно для с. Н. Чегем более чем на 5 мм, сумма осадков летом возрастает почти на 10 мм, в то время как зимой наблюдается уменьшение также на 5 мм за рассматриваемый период. Всесезонное уменьшение осадков характерно для с. Бабугент: годовая сумма осадков сокращается на 84 мм, летняя на 78 мм, зимняя на 5 мм. При сравнительном анализе полученных нами данных за 2015–2017 гг. с минерализацией рек за 1958–1960 гг., выявлено, что к настоящему времени минерализация рек в межень уменьшилась в почти 5 раз; в половодье – более чем в 2 раза.

Ключевые слова: среднегодовая температура, сумма осадков, сток реки, расходы воды, минерализация

Для цитирования: Кучменова И. И. Гидролого-гидрохимический режим основных рек Кабардино-Балкарского высокогорного государственного заповедника в условиях современного изменения климата // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 4. С. 45–60. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.4.3>

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 19.10.2024;
одобрена после рецензирования 02.12.2024;
принята к публикации 16.12.2024.

1.6.21. Geoeology (Geographical Sciences)

Research article

Hydrological and hydrochemical regime of the main rivers of the Kabardino-Balkar high-mountain state reserve under conditions of modern climate change

Irina I. Kuchmenova

High-Mountain Geophysical Institute (2, Lenin Ave., Nalchik, 360001, Russian Federation)

ira_kuchmenova@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7831-2114>

Abstract.

In recent decades, there has been an increase in water resources and a change in the intra-annual distribution of runoff in many areas of the European part of Russia. Rising air temperatures lead to increased glacier melting, but these issues have been considered mainly for large rivers; small mountain rivers have been little studied. This article discusses the impact of changes in meteorological characteristics (air temperature and precipitation) on the hydrological and hydrochemical regime of the rivers of the Kabardino-Balkar State High-Mountain Reserve. Climate changes are analyzed based on air temperature and precipitation data for the period from 1961 to 2021. The water regime is analyzed based on long-term runoff data from the villages of N. Chegem and Babugent over the period from 1961 to 2021. A comparative analysis of data on the sum of ions in the water of the studied rivers for 1958–1960 was carried out with the data we obtained in 2015–2017. Long-term fluctuations in air temperature for all studied basins tend to increase: average annual and winter by 0.6 °C, summer from 2.4 to 3 °C. An increase in the annual precipitation amount is typical for the village of N. Chegem by more than 5 mm, the amount of precipitation in summer increases by almost 10 mm, while in winter there is a decrease of 5 mm over the period under review. An all-season decrease in precipitation is typical for the village of Babugent: the annual precipitation amount decreases by 84 mm, summer by 78 mm, winter by 5 mm. A comparative analysis of the data the author obtained for 2015–2017 with the mineralization of rivers for 1958–1960 revealed that by now the mineralization of rivers in low water has decreased by almost 5 times; in flood — more than 2 times.

Keywords: average annual temperature, precipitation amount, river runoff, water discharge, mineralization

For citation: Kuchmenova II. Hydrological and hydrochemical regime of the main rivers of the Kabardino-Balkar high-mountain state reserve under conditions of modern climate change. Science. Innovations. Technologies. 2024;(4):45-60 (in Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.4.3>

Conflict of interest: the author declares no conflicts of interests.

The article was submitted 19.10.2024;
approved after reviewing 02.12.2024;
accepted for publication 16.12.2024.

Введение

В настоящее время в связи с деградацией ледников особое внимание привлекает проблема влияния климатических факторов на сток горных рек. Общепринято, что в горных реках с ледниковым питанием во время таяния ледника происходит увеличение расходов воды, но этот вопрос недостаточно изучен.

В последние десятилетия в европейской части России наблюдается увеличение и изменение внутригодового распределения стока [1–3]. Повышение температуры воздуха ускоряет таяние ледников, что сказывается и на стоке рек. Однако динамика малых горных рек мало изучена из-за того, что основное внимание уделяется крупным рекам [4, 5].

Проблема влияния климатических факторов на гидрологические характеристики (сток) горных рек привлекает к себе особое внимание в связи с деградацией ледников. В свою очередь, климатические изменения, влияющие на речной сток наряду с выветриванием горных пород, определяют гидрохимический режим и формирование химического состава воды рек. На формирование химического состава воды рек оказывает влияние геологическое строение территории, рельеф, климатические факторы, водный режим и почвенный покров. Влияние в разной степени всех этих факторов определяет пространственную (регионально-локальную) неоднородность химического состава воды рек. Исследования, проводимые в пределах государственных заповедников, позволяют рассмотреть современное гидроэкологическое состояние водных объектов с учетом особых природных условий. Высокогорная часть речных бассейнов р. Чегем и р. Черек, исследуемых в данной работе расположены на значительном расстоянии от источников антропогенного воздействия, и, следовательно, химический состав воды здесь формируется под влиянием природных факторов, характерных для данной водосборной сети.

Цель работы – рассмотреть влияние изменений температуры воздуха и количества осадков на гидрологический и гидрохимический режим рек Кабардино-Балкарского государственного высокогорного заповедника (КБГВЗ).

Материалы и методы исследований

Истоки рек Чегем и Черек Балкарский и Черек Безенгийский находятся в ледниках на северном склоне Центрального Кавказа, преимущественно на Главном и Боковых хребтах [6]. Реки протекают по территории КБГВЗ и являются притоками третьего порядка р. Терек (рис. 1).



Рис. 1.

Схема расположения гидрологических постов на р. Чегем, Черек Балкарский и Черек Безенгийский.

Fig. 1. Layout of hydrological posts on the rivers Chegem, Cherek Balkarsky and Cherek Bezengiysky.

Анализ водного режима исследуемых рек проведен по многолетним данным стока с постов с. Н. Чегем и с. Бабугент в период с 1961 г. по 2021 г. Многолетние данные о среднегодовых и среднемесячных расходах воды с гидрологических постов р. Чегем – с. Н. Чегем, р. Черек Балкарский – с. Бабугент, р. Черек Безенгийский – с. Бабугент предоставлены ФГБУ «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». Для характеристики климатических изменений проанализированы метеорологические данные по температуре воздуха и осадкам за период с 1961 по 2021 гг. Среднемесячная температура была интерполирована с помощью метода наименьших квадратов с метеостанции Терскол на три гидрологических поста, расположенных на территории исследуемых бассейнов р. Чегем, р. Черек Безенгийский и р. Черек Балкарский. Данные по сумме атмосферных осадков предоставлены ФГБУ «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» в период с 1961 по 2021 гг. по двум гидрологическим постам (р. Чегем – с. Н. Чегем и р. Черек Балкарский – с. Бабугент). Кроме того, проведен сравнительный анализ данных по сумме ионов в воде исследуемых рек за 1958–1960 гг. с данными полученными нами в 2015–2017 гг. Статистическая обработка данных проведена с помощью стандартного пакета Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Многолетние колебания температуры воздуха имеют тенденцию к увеличению. Кроме того, для всех исследуемых бассейнов характерно увеличение среднегодовой на $0,6^{\circ}\text{C}$ и летней температуры от $2,4$ до 3°C , в зимний период температура уменьшается на $0,6^{\circ}\text{C}$ (рис. 2).

Характер распределения атмосферных осадков для исследуемых бассейнов различается. Увеличение годовой суммы осадков характерно для с. Н. Чегем более чем на 5 мм, сумма осадков в летний период тоже возрастает почти на 10 мм, в то время как в зимний период наблюдается уменьшение на 5 мм за рассматриваемый период (рис. 3 а). Всесезонное уменьшение осадков характерно для с. Бабугент: годовая (рис. 3 б).

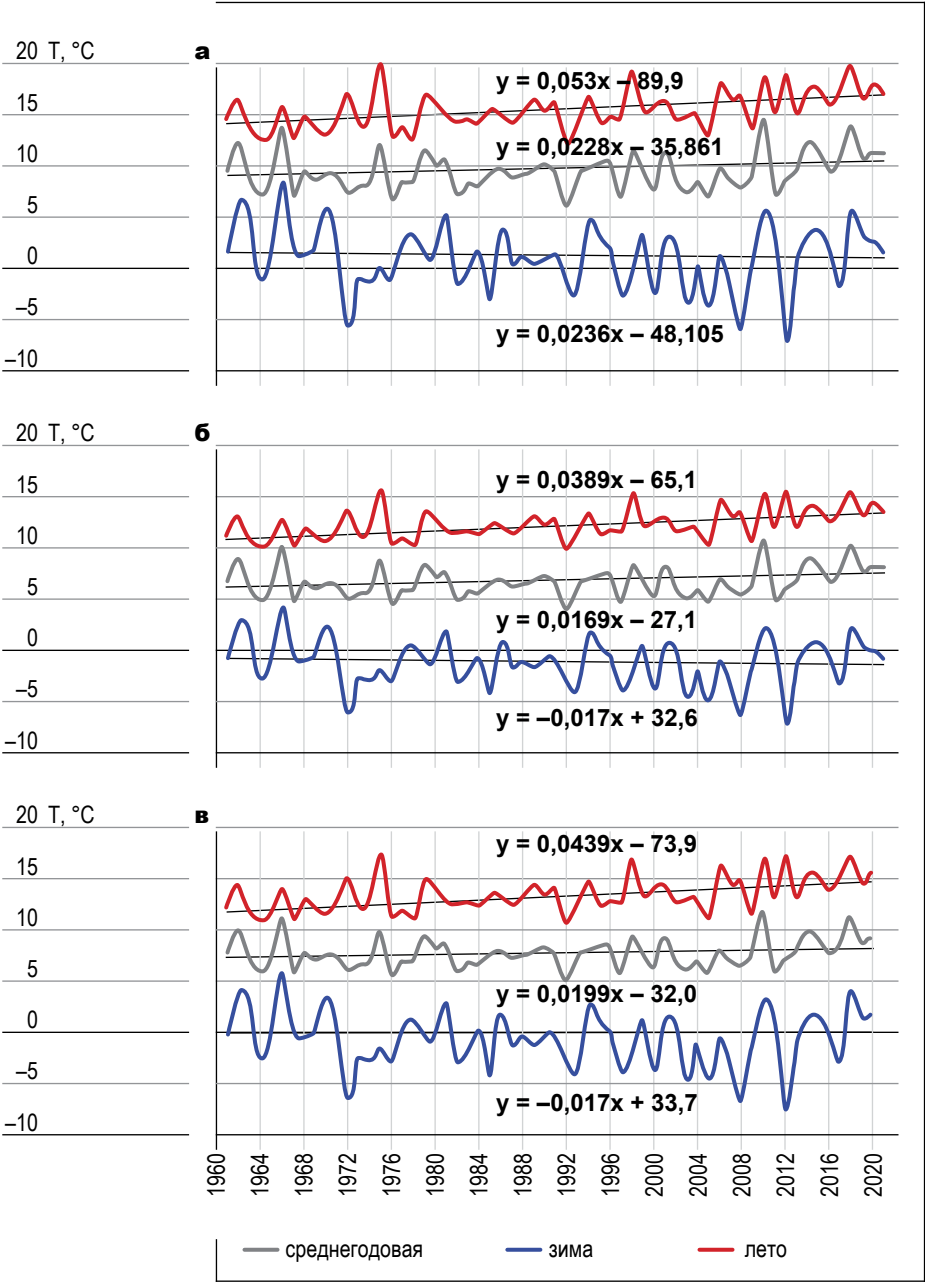


Рис. 2. Изменение среднегодовой, зимней и летней температуры воздуха в период с 1961 по 2021 г. для гидрологических постов: р. Чегем – с. Н. Чегем (а), р. Черек Балкарский – с. Бабугент (б) и р. Черек Безенгийский – с. Бабугент (в).
Fig. 2. Changes in average annual, winter and summer air temperatures in the period from 1961 to 2021 for hydrological posts: Chegem River – N. Chegem (a), Cherek Balkarsky River – Babugent (b) and Cherek Bezengiysky River – Babugent (c).

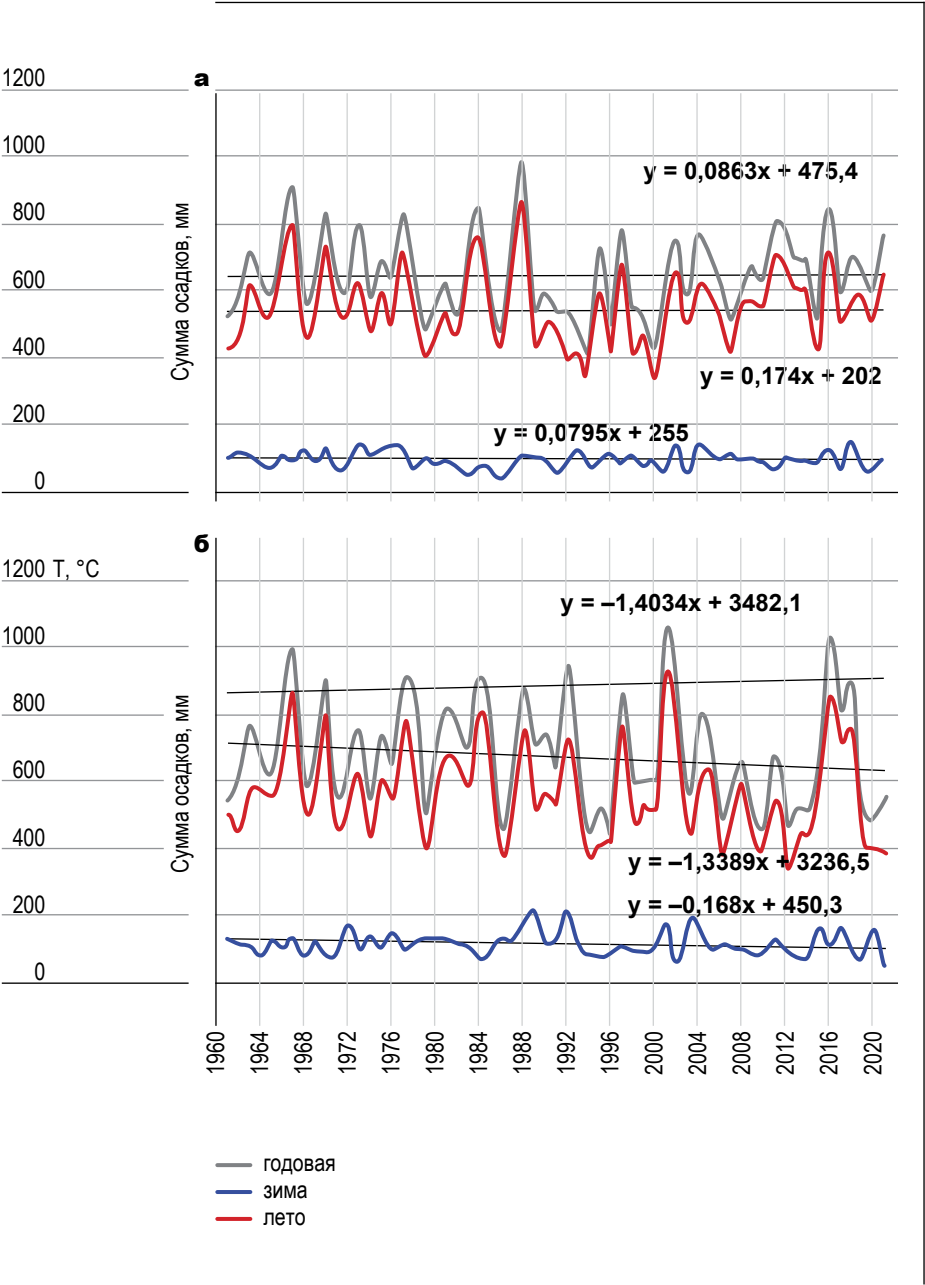


Рис. 3. Изменение годовой, зимней и летней суммы осадков в период с 1961 по 2021 гг. для р. Чегем – с. Н. Чегем (а), р. Черек Балкарский и р. Черек Безенгийский – с. Бабугент (б).

Fig. 3. Changes in annual, winter and summer precipitation in the period from 1961 to 2021 for the Chegem River – N. Chegem (a), Cherek Balkarsky River and Cherek Bezengiysky River – Babugent (b).

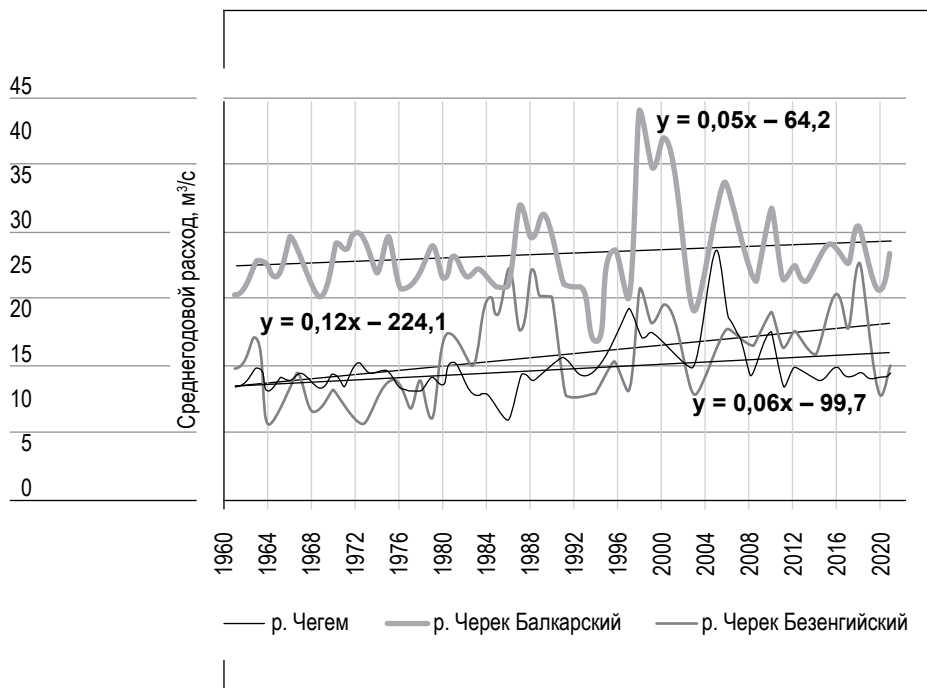


Рис. 4.

Многолетние изменения среднегодовых расходов воды р. Чегем, р. Черек Балкарский, р. Черек Безенгийский.

Fig. 4. Long-term changes in average annual water flow of the Chegem River, the Cherek Balkarsky River, and the Cherek Bezengitsky River.

За период с 1961 по 2021 гг. для всех исследуемых рек характерно увеличение расхода воды. Максимальным увеличением расхода воды характеризуется в р. Черек Безенгийский более чем на 7 м³/с, далее р. Чегем – почти на 4 м³/с и Черек Балкарский – 3 м³/с (рис. 4). Кроме того, увеличение расхода воды для р. Черек Безенгийский характерно с 1979 г., тогда как для р. Чегем и р. Черек Балкарский – с 1986 г., такое различие обусловлено тем, что доля ледников на площади водосборного бассейна р. Черек Безенгийский (20 %) почти в 2 раза выше доли ледников на водосборе рек Чегем (9 %) и Черек Балкарский (12 %).

Чередование многоводных и маловодных периодов в многолетних изменениях стока исследованных рек связано с циклически-

ми изменениями климата. Повышение температуры воздуха приводит к усилению таяния ледников, что также сказывается и на стоке рек. Расходы воды в исследуемых реках стали увеличиваться после 1980 года, что согласуется с гипотезой об изменении климата и ускоренном таянии ледников. Увеличение стока после 1980 г. на значимом уровне подтверждается с помощью таких статистических критериев, как критерий Стьюдента и Фишера [7, 8].

Во внутригодовом распределении стока (рис. 5) произошли некоторые изменения: после 1986 г. для р. Черек Балкарский уменьшилась доля стока, приходящаяся на период половодья с июля по сентябрь, в период межени объем стока увеличился. Изменения на р. Чегем имеют несколько иной характер: в период половодья объем стока увеличился, в период падения половодья (сентябрь, октябрь) доля годового стока уменьшилась, практически не изменилась доля меженного стока. Для р. Черек Безенгийский доля стока, приходящаяся на период спада половодья (август, сентябрь), увеличилась. Такие изменения в распределении стока обусловлены изменениями климата, началом которого считают 1979 г.

Рассмотренные реки Чегем, Черек Балкарский и Черек Безенгийский расположены в соседних долинах и имеют схожие характеристики стока. Для поиска аналитической связи была построена линейная регрессионная модель изменения расходов воды в зависимости от среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы осадков.

Для объяснения взаимосвязи между такими характеристиками годового стока как среднегодовая температура и годовая сумма осадков применялся метод регрессионного анализа. После проведения анализа адекватности регрессионной модели коэффициент годовой суммы осадков признается случайным и соответственно этот фактор необходимо исключить. Таким образом, в результате расчетов уравнения регрессии уже без учета годовой суммы осадков получились эмпирические уравнения следующего вида:

$$Q(T) = 1,54 \cdot T \quad (1) \text{ для р. Чегем,}$$

$$Q(T) = 4,03 \cdot T \quad (2) \text{ для р. Черек Балкарский,}$$

$$Q(T) = 2,10 \cdot T \quad (3) \text{ для р. Черек Безенгийский,}$$

где размерность коэффициентов: 1,54; 4,03; 2,10 $\left[\frac{\text{м}^3}{\text{с}} \frac{1}{^\circ\text{C}}\right]$.

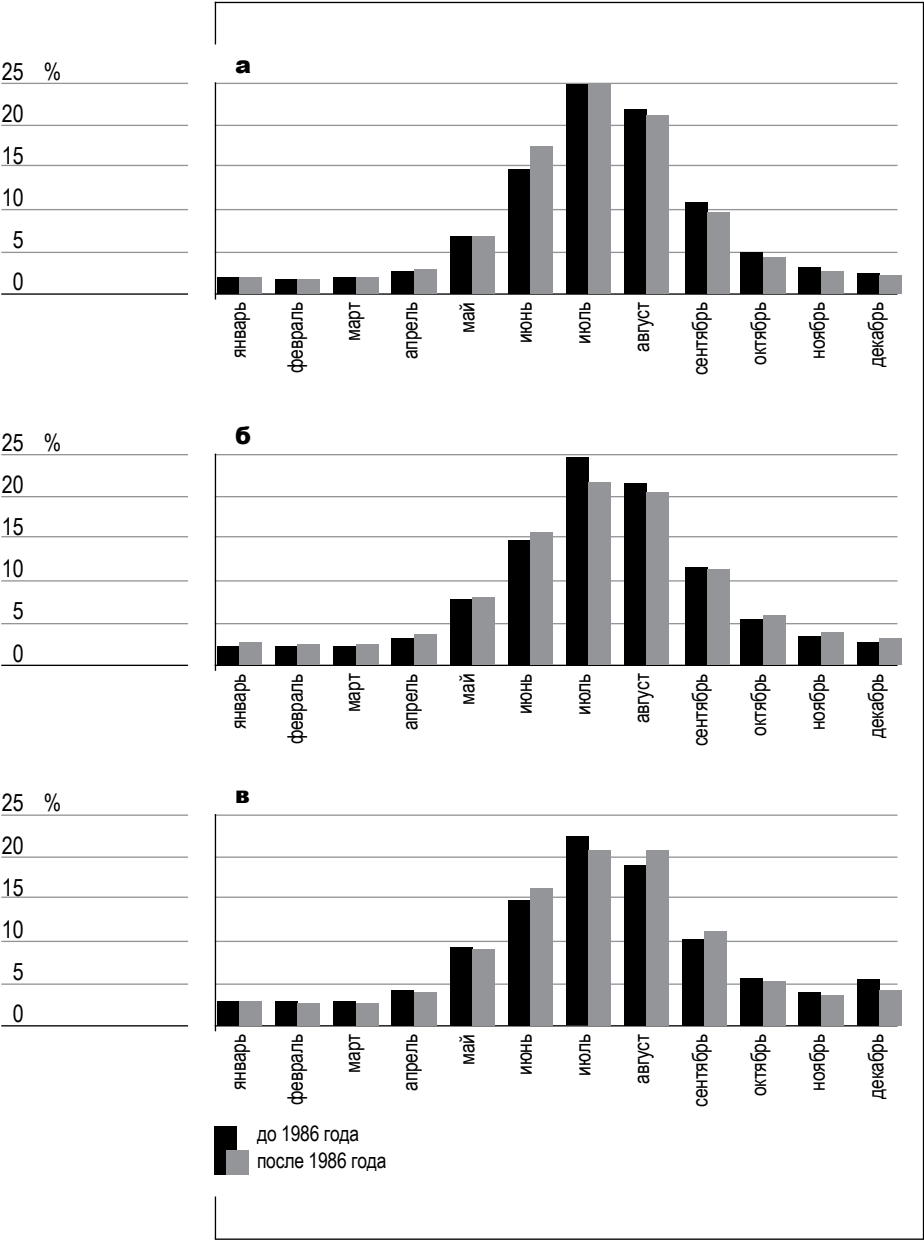


Рис. 5. Внутригодовое распределение стока, осредненного по месяцам за период до 1986 г. и после 1986 г., для рек Чегем – с. Н. Чегем (а), Черек Балкарский – с. Бабугент (б) и Черек Безенгийский – с. Бабугент (в).

Fig. 5. Intra-annual distribution of runoff, averaged by months for the period before 1986 and after 1986, for the rivers Chegem – N. Chegem (a), Cherek Balkarskiy – Babugent (b) and Cherek Bezengiyskiy – Babugent (c).

Коэффициент множественной корреляции (R) для р. Чегем равен 0,96, а коэффициент множественной детерминации (R^2) равен 0,93; для р. Черек Балкарский $R = 0,97$, $R^2 = 0,95$; для р. Черек Безенгийский $R = 0,96$, $R^2 = 0,92$. Таким образом, для р. Чегем, р. Черек Балкарский и р. Черек Безенгийский 93 %, 95 % и 92 % изменений показателя среднегодового расхода воды обусловлено изменением среднегодовой температуры воздуха при условии, что для исследованных бассейнов она всегда положительная. Для рассчитанного среднемесячного расхода р. Чегем, р. Черек Балкарский и р. Черек Безенгийский была выведена ошибка аппроксимации в процентах, и составила 18, 31 и 26 %, соответственно.

На изменение величины расходов воды исследованных рек влияет деградация ледников, связанная с климатическими изменениями. Ускоренное таяние ледников может быть объяснено устойчивым повышением летних температур и уменьшением зимних осадков, что приводит к изменению внутригодового распределения расходов, характеризуемых наибольшей чувствительностью к летним температурам и зимним осадкам [9–15].

Климатические изменения оказывают влияние как на изменения гидрологических характеристик, так и гидрохимический режим рек. В таблице 1 приведены данные изменения суммы ионов в зависимости от фазы водного режима и в разные периоды наблюдений. В литературе самые ранние данные по наблюдению ионного состава исследуемых рек представлены за 1960-е годы [16]. В работе был проведен сравнительный анализ изменения суммы ионов в 1958–1960 гг. с современными данными за 2015–2017 гг. [17–19], полученными сотрудниками испытательного лабораторного центра ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».

Сравнительный анализ по изменениям суммы ионов в воде исследованных рек проводился за 1958–1960 гг. и 2015–2017 гг. В литературных источниках информация о значениях суммы ионов воды исследуемых рек за более ранний период представлена только за 1958–1960 гг. При сравнительном анализе полученных нами данных за 2015–2017 г. с минерализацией рек за 1958–1960 гг., было выявлено, что к настоящему времени сумма ионов в воде рек в межень уменьшилась в среднем почти 5 раз; в половодье – более чем в

Таблица 1. ИЗМЕНЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ СУММЫ ИОНОВ И РАСХОД ВОДЫ РЕК ЧЕГЕМ, ЧЕРЕК БАЛКАРСКИЙ И ЧЕРЕК БЕЗЕНГИЙСКИЙ В РАЗНЫЕ ПЕРИОДЫ
Table 1. Changes in the values of the sum of ions and water flow of the Chegem, Cherek Balkarsky and Cherek Bezengiysky rivers in different periods

Река	Сумма ионов, мг/дм³				Среднегодовое количество осадков, мм	
	паводок		межень		До 1986 г.	После 1986 г.
	1960 г.	2017 г.	1960 г.	2017 г.		
Чегем	114	92	257	148	13,4	16,4
Черек Балкарский	223	61	754	123	26,2	28,2
Черек Безенгийский	192	78	717	105	14,2	18,1

2 раза, при том, что среднегодовое количество осадков в исследованных реках увеличилось от 2 до 4 мм/год (табл. 1).

Выводы

Гидрологические изменения, которые происходят на исследуемой территории, согласуются с увеличением температуры воздуха, началом которого считается 1979 г. Происходит отступление ледников, и их ускоренное таяние вызывает увеличение стока воды в реках. На изменения среднегодовых расходов воды исследованной территории большее влияние оказывает изменение среднегодовых температур, нежели годовой суммы осадков. Во внутригодовом распределении стока произошли некоторые изменения: после 1986 г. для р. Черек Балкарский уменьшилась доля стока, приходящаяся на период паводка с июля по сентябрь, в период межени объем стока увеличился. Изменения на р. Чегем имеют несколько иной характер: в период паводка объем стока увеличился, в период падения паводка (сентябрь, октябрь) доля годового сто-

ка уменьшилась, практически не изменилась доля меженного стока. Для р. Черек Безенгийский доля стока приходящаяся на период спада половодья (август, сентябрь) увеличилась. Такие изменения в распределении стока обусловлены изменениями климата, началом которого считают 1979 г.

Климатические изменения оказывают влияние как на изменения гидрологических характеристик, так и гидрохимический режим рек. При сравнительном анализе полученных нами данных за 2015–2017 гг. с минерализацией рек за 1958–1960 гг., было выявлено, что к настоящему времени минерализация рек в межень уменьшилась в среднем почти 5 раз; в половодье – более чем в 2 раза.

Список литературы

1. Кислов А. В. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. М: МАКС Пресс, 2008. 290 с.
2. Лурье П. М. Водные ресурсы и водный баланс Кавказа. СПб.: Гидрометеиздат, 2002. 506 с.
3. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). [Электронный ресурс]. URL: <http://climate2008.igse.ru> (дата обращения: 10.11.2024).
4. Виноградова О. В., Виноградова Н. Н. Реакция горных рек Кавказа на изменения климата // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2013. № 4. С. 44–48.
5. Калугин А. С. Влияние глобального потепления на 1,5 и 2°C на сток Дона и Кубани // Морские исследования и образование (MARESEDU)-2022. Труды XI Международной научно-практической конференции, Тверь, 2022. С. 84–87.
6. Панов В. Д., Базелюк А. А., Лурье П. М. Река Терек. Гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2015. 608 с.
7. Христофоров А. В. Теория случайных процессов в гидрологии: Учебное пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. 143 с.
8. Евстегнеев В. М., Магрицкий Д. В. Речной сток и гидрологические расчеты: Учебное пособие. 3-е изд. М.: Географический факультет МГУ, 2013. 108 с.
9. Шахгеданова М., Стоукс К. Р., Герни С. Д., Поповнин В. В. Взаимодействие баланса массы, атмосферной циркуля-

- ции и недавних изменений климата на леднике Джанку-
ат // Геофизика. 2005. № 6. С. 110–125.
10. Рототаева О. В., Носенко Г. А., Керимов А. М., Куту-
зов С. С., Лаврентьев И. И., Никитин С. А., Керимов А. А.,
Тарасова Л. Н. Изменения баланса массы ледника Кара-
баши, гора Эльбрус на рубеже 20 и 21 веков // Лед и снег.
2019. Т. 59. № 1. С. 5–22.
 11. Tielidze LG, Jomelli V, Nosenko GA. Analysis of regional
changes in the geodetic mass balance for all Caucasus
glaciers over the past two decades. *Atmosphere*. 2022. Vol.
13. No. 2. Article No. 256.
 12. Kireeva M., Frolova N., Rets E. et al. Evaluating climate and
water regime transformation in the European Part of Russia
using observation and reanalysis data for the 1945–2015
period // *Int. J. River Basin Management*. 2019a. Vol. 18.
No. 4. P. 1–12.
 13. Rets E. P., Durmanov I. N., Kireeva M. B. et al. Past “peak
water” in the north Caucasus: deglaciation drives a reduction
in glacial runoff impacting summer river runoff and peak
discharges // *Climatic Change*. 2020.
 14. Rets E. P., Durmanov I. N., Kireeva M. B. Peak runoff in the
North Caucasus: recent trends in magnitude, variation and
timing // *Water Res*. 2019. Vol. 46. No. 1. P. 56–66.
 15. Rets E. P., Dzhamaalov R. G., Kireeva M. B. et al. Recent
trends of river runoff in the North Caucasus // *Geogr. Environ.
Sustainability*. 2018. Vol. 11. No. 3. P. 61–70.
 16. Куприянов В. В. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8,
Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 448 с.
 17. Кучменова И. И., Фролова Н. Л., Газаев Х-М. М., Кондрать-
ева Н. В., Атабиева Ф. А. Обобщение результатов много-
летних исследований по изучению основных показателей
солевого состава воды рек на территории Кабардино-Бал-
карского высокогорного заповедника // *Вода: химия и эко-
логия*. 2018. № 10-12 (117). С. 109–125.
 18. Газаев Х-М. М., Атабиева Ф. А., Кучменова И. И., Жинжа-
кова Л. З. Пространственно-временная изменчивость гид-
рохимических показателей ледниковой реки Черем // *Вод-
ное хозяйство России*. 2015. № 4. С. 36–43.
 19. Газаев Х-М. М., Атабиева Ф. А., Кучменова И. И., Жин-
жакова Л. З. Гидролого-гидрохимические характеристики
ледниковой реки Черек Балкарский // *Водное хозяйство
России*. 2016. № 5. С. 35–47.

References

1. Kislov AV. Forecast of climatic resource availability of the East European Plain in the context of warming of the 21st century. Moscow: MAKSPress; 2008. 290 p.
2. Lurye PM. Water resources and water balance of the Caucasus. St. Petersburg: Gidrometeoizdat; 2002. 506 p.
3. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). Available from: <http://climate2008.igce.ru> [Accessed 10 November 2024].
4. Vinogradova OV, Vinogradova NN. Response of mountain rivers of the Caucasus to climate change. Lomonosov Geography Journal. 2013;(4):44-48.
5. Kalugin AS. The Impact of Global Warming by 1.5 and 2 °C on the Runoff of the Don and Kuban. In Marine Research and Education (MARESEDU)-2022. Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference. Tver; 2022; P. 84-87.
6. Panov VD, Bazelyuk AA, Lurye PM. The Terek River. Hydrography and Runoff Regime. Rostov-on-Don: Donskoy Publishing House; 2015. 608 p.
7. Khristoforov AV. Theory of Random Processes in Hydrology: A Tutorial. Moscow: Publishing House of Moscow University; 1994. 143 p.
8. Evstegneev VM, Magritsky DV. River Runoff and Hydrological Calculations: A Tutorial. 3rd ed. M.: Geographical faculty of Moscow State University; 2013. 108 p.
9. Shakhgedanova M, Stokes KR, Gurney SD, Popovnin VV. Interaction of mass balance, atmospheric circulation and recent climate changes on the Djankuat glacier. Geophysics. 2005;(6):110-125.
10. Rototaeva OV, Nosenko GA, Kerimov AM, Kutuzov SS, Lavrentiev II, Nikitin SA, Kerimov AA, Tarasova LN. Changes in the mass balance of the Karabashi glacier, Mount Elbrus, at the turn of the 20th and 21st centuries. Led i Sneg = Ice and Snow. 2019;59(1):5-22.
11. Tielidze LG, Jomelli V, Nosenko GA. Analysis of regional changes in the geodetic mass balance for all Caucasus glaciers over the past two decades. Atmosphere. 2022;13(2):256.
12. Kireeva M, Frolova N, Rets E et al. Evaluating climate and water regime transformation in the European Part of Russia using observation and reanalysis data for the 1945–2015 period. Int. J. River Basin Management. 2019;18(4):1–12.

13. Rets EP, Durmanov IN, Kireeva MB et al. Past “peak water” in the north Caucasus: deglaciation drives a reduction in glacial runoff impacting summer river runoff and peak discharges. *Climatic Change*. 2020.
14. Rets EP, Durmanov IN, Kireeva MB. Peak runoff in the North Caucasus: recent trends in magnitude, variation and timing. *Water Res.* 2019;46(1):56-66.
15. Rets EP, Dzhamalov RG, Kireeva MB et al. Recent trends of river runoff in the North Caucasus. *Geogr. Environ. Sustainability*. 2018;11(3):61-70.
16. Kupriyanov VV. Surface water resources of the USSR. Volume 8, North Caucasus. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1973. 448 p.
17. Kuchmenova II, Frolova NL, Gazaev Kh-MM, Kondratieva NV, Atabieva FA. Generalization of the results of long-term studies on the study of the main indicators of the salt composition of river water in the territory of the Kabardino-Balkarian High-Mountain Reserve. *Voda: khimiya i ekologiya = Water: chemistry and ecology*. 2018;10-12(117):109-125.
18. Gazaev Kh-MM, Atabieva FA, Kuchmenova II, Zhinzhakova LZ. Spatio-temporal variability of hydrochemical indicators of the glacial Chegem River. *Water Sector of Russia*. 2015;(4):36-43.
19. Gazaev Kh-MM, Atabieva FA, Kuchmenova II, Zhinzhakova LZ. Hydrological and hydrochemical characteristics of the glacial river Cherek Balkarskiy. *Water Sector of Russia*. 2016;(5):35-47.

Информация об авторе

Ирина Ибрагимовна Кучменова – младший научный сотрудник лаборатории гляциологии отдела стихийных явлений Высokoгорного геофизического института.

Information about the author

Irina I. Kuchmenova – Junior Researcher, Glaciology Laboratory, Department of Natural Phenomena, High-Mountain Geophysical Institute.