ГЕОЭКОЛОГИЯ/GEOECOLOGY

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.1

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОГО ВЫСОКОГОРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Научная статья

Кучменова И.И.[1, *]

[1] Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ira_kuchmenova[at]mail.ru)

Аннотация

В анализе изменения климата основными элементами являются динамика осадков и температуры воздуха. Результатом режима осадков и температуры воздуха в речном бассейне является сток рек. В качестве объекта исследования рассматриваются основные реки Кабардино-Балкарского высокогорного природного заповедника. Сток горных рек рассматривается как независимый индикатор изменения климата за период наблюдения (1961–2021 гг.). Результаты анализа пространственно-временного изменения гидрологического режима в высокогорной части рек Чегем, Черек Балкарский и Черек Безенгийский показали, за период с 1961 г. по 2021 г. происходит увеличение расходов воды, которое можно объяснить устойчивым повышением летних температур и увеличением зимних осадков, связанное с современными изменениями климата. Получены эмпирические зависимости изменений среднегодовых расходов воды от среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы осадков.

Ключевые слова: годовой сток, температура, осадки, расход воды.

LONG-TERM CHANGES IN THE HYDROLOGICAL REGIME OF RIVERS IN THE KABARDINO-BALKARIAN HIGH-MOUNTAIN RESERVE

Research article

Kuchmenova I.I.[1, *]

[1] Vysokogorny Geophysical Institute, Nalchik, Russian Federation

* Corresponding author (ira_kuchmenova[at]mail.ru)

Abstract

The main elements in climate change analysis are precipitation and air temperature dynamics. River runoff is the result of precipitation and air temperature patterns in a river basin. The main rivers of the Kabardino-Balkarian High Mountain Nature Reserve are regarded as the object of study. Mountain river runoff is viewed as an independent indicator of climate change over the observation period (1961–2021). The results of the analysis of spatiotemporal changes in the hydrological regime in the high-mountain part of the Chegem, Cherek Balkarsky and Cherek Bezenzhsky rivers show that between 1961 and 2021 there has been an increase in water discharge, which can be explained by a steady rise in summer temperatures and an increase in winter precipitation associated with contemporary climate change. Empirical relationships between changes in average annual water discharge and average annual air temperature and annual precipitation have been obtained.

Keywords: annual runoff, temperature, precipitation, water consumption.

Введение

Современное понимание природы рек расширяет идею А.И. Воейкова о них, как о продукте климата. Реки и особенности их режима рассматриваются как результат комплексного воздействия климатических условий, геологического строения территории, почвенного покрова, растительности, а также антропогенной деятельности. Основная роль климата остается неизменной, однако подчеркивается значимость и других факторов ландшафта. Таким образом, режим реки формируется не только климатом, но и геологическими особенностями бассейна, составом и свойствами почв, характером растительности, степенью озёрности, заболоченности территории и воздействием человека. Изначально Воейков рассматривал реки как индикатор климата, современный подход сохраняет эту идею, но обогащает ее пониманием множества факторов, влияющих на формирование речного режима [5].

Многолетний сток горных рек Кавказа подвержен колебаниям, сменяющим многоводные и маловодные периоды, обусловленным циклическими изменениями климата. Повышение температуры воздуха ускоряет таяние ледников, что оказывает влияние на водность рек. При этом, влияние ледникового таяния на водность неоднородно и проявляется в различных изменениях речного стока на небольших участках реки, вблизи ледников. Увеличение стока, наблюдаемое в последние десятилетия, объясняется не только таянием ледников, но и ростом количества выпадающих осадков [4].

Основными факторами формирования поверхностного стока для горных рек являются изменения режимов температуры воздуха и выпадения осадков. Температурный режим воздуха сказывается на таянии снега, который выпадает в зимний период, также формирует таяние ледников, расположенных в высокогорных частях водосборных бассейнов, которые являются одним из источников речного стока. Поверхностный сток напрямую зависит от режима выпадения осадков. Таким образом, динамика гидрологического режима горных рек Северного Кавказа является следствием современных изменений климатических условий данной территории. В статье рассмотрены изменения расходов воды рек Чегем, Черек Балкарский и Черек Безенгийский, связанные с изменением климатических характеристик (температуры и осадков) на исследуемых водосборных бассейнах.

Объекты и методы исследования

Главными реками Кабардино-Балкарского высокогорного заповедника являются верховья р. Чегем, р.Черек Балкарский и р.Черек Безенгийский (рис.1). Река Чегем берет начало на северном склоне Бокового хребта в районе вершин Адырсубаши (4342 м), Тихтенген (4613 м) и Салынантау (4514 м), составляющими р. Чегем являются р. Башиль-Аузусу и р. Гара-Аузусу, общая площадь бассейна составляет 964 км^2. Правая составляющая р. Черек — река Черек Балкарский. Бассейн р. Черек Балкарский расположен на северном склоне Главного хребта, массиве Бокового хребта (Дыхтау-Каштантау) и хребте Суган с отрогами в Скалистом хребте. За исток р. Черек Балкарский принята р. Карасу (левая составляющая р. Черек Балкарский), берущая начало из ледника Штулу, общая площадь водосбора р. Черек Балкарский 701 км^2. Река Черек Безенгийский — левая ледниковая составляющая р. Черек. За исток р. Черек Безенгийский принят ледник Безенги, общая площадь водосборного бассейна р. Черек Безенгийский равна 627 км^2 [6].

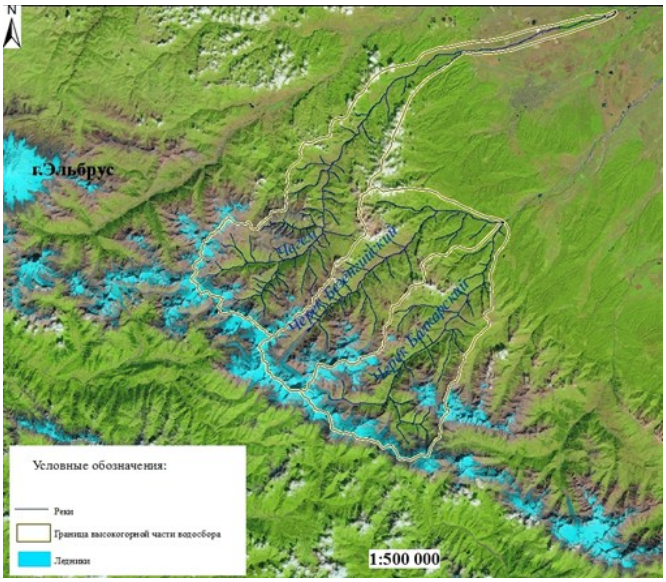

Рисунок 1 - Карта-схема расположения водосборов рек Чегем, Черек Безенгийский и Черек Балкарский
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.1.1

Изменения гидрологического режима для исследуемых рек в период с 1961 по 2021 гг. проводился по данным 3 гидрологических постов: р. Чегем — с. Н. Чегем, р. Черек Балкарский — с. Бабугент, р. Черек Безенгийский — с. Бабугент. Характеристика климатических изменений для исследуемых бассейнов проводилась по данным о температуре воздуха и сумме осадков. Температура воздуха с метеостанции Терскол (2140 м) была проинтерполирована на высоту гидрологических постов (таблица 1), сумма осадков осреднялась по бассейнам выше постов по данным реанализа ERA5-Land за 1961–2021 гг. Метод исследования гидрологических и метеорологических изменений — множественный регрессионный анализ и методы математической статистики.

Таблица 1 - Характеристика гидрологических постов

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.1.2

№	Река	Пост	Широта (с.ш.)	Долгота (в.д.)	Высота над уровнем моря, м
1	Чегем	с. Н. Чегем	43°29´32.0´´	43°17´28.1´´	596
2	Черек Безенгийский	с. Бабугент	43°16´57.4´´	43°33´14.0´´	1006
3	Черек Балкарский	с. Бабугент	43°15´56.0´´	43°32´39.4´´	1232

Результаты исследования и их обсуждение

Гидрологический режим исследованных рек формируется в зависимости от типа питания. Наиболее широко для характеристики водного режима и питания рек с ледниковым питанием используется классификация В.Л. Шульца [10], основанная на соотношении объёма стока за периоды с июля по сентябрь и с марта по июнь (коэффициент δ). Коэффициент δ рассчитывается по формуле:

$$\delta = \frac{W_{VII-IX}}{W_{III-VI}} \quad (1)$$

где W_{VII-IX} — объем стока за июль-сентябрь, W_{III-VI} — за март-июнь.

На рисунке 2 представлен график изменения коэффициента Шульца для рек Чегем, Черек Балкарский и Черек Безенгийский. За период наблюдений с 1961 по 2021 гг. коэффициент δ варьирует для исследуемых рек следующим образом:

- р. Чегем — от 1 до 2,82;
- р. Черек Балкарский — от 0,86 до 2,41;
- р. Черек Безенгийский — от 0,54 до 2,50.

В соответствии с классификацией В.Л. Шульца исследованные реки имеют ледниково-снеговое питание (δ ≥ 1,0), за исключением 3 лет для р. Черек Балкарский (1984, 1997, 2014 гг.) и 10 лет (1964, 1667, 1968, 1977, 1979, 1985, 1990 – 1992 и 1997 гг.) для Черек Безенгийского, когда тип питания можно охарактеризовать как снегово-ледниковое (0,27 < δ ≤ 1,00).

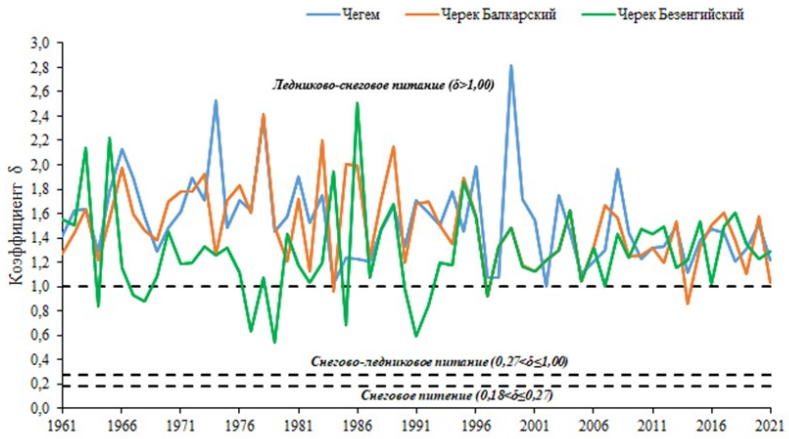

Рисунок 2 - Многолетняя динамика значений коэффициента Шульца δ по гидрологическим постам р. Чегем – с. Н. Чегем, р. Черек Балкакрский – с. Бабугент, р. Черек Безенгийский – с. Бабугент

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.1.3

Распределение стока в течение года отражает характерные особенности водного режима реки и зависит от источников питания. Влияние неметеорологических факторов на колебания стока сводится к воздействию этих факторов главным образом на накопление и расходование влаги в бассейне и проявляется преимущественно в сглаживании колебаний годового стока, которые обусловлены метеорологическими факторами. Особенно это заметно в горах, где реки питаются ледниками и вечными снегами: таяние этих запасов влаги зависит от солнечного тепла и температуры воздуха. В итоге, в высокогорных районах, где ледники и снега — главные источники питания, годовой ход стока обычно повторяет годовой ход температуры воздуха. Можно сказать, что неметеорологические факторы играют роль стабилизатора в годовом режиме стока, особенно там, где существенная часть воды поступает от таяния льда и снега (рис. 3).

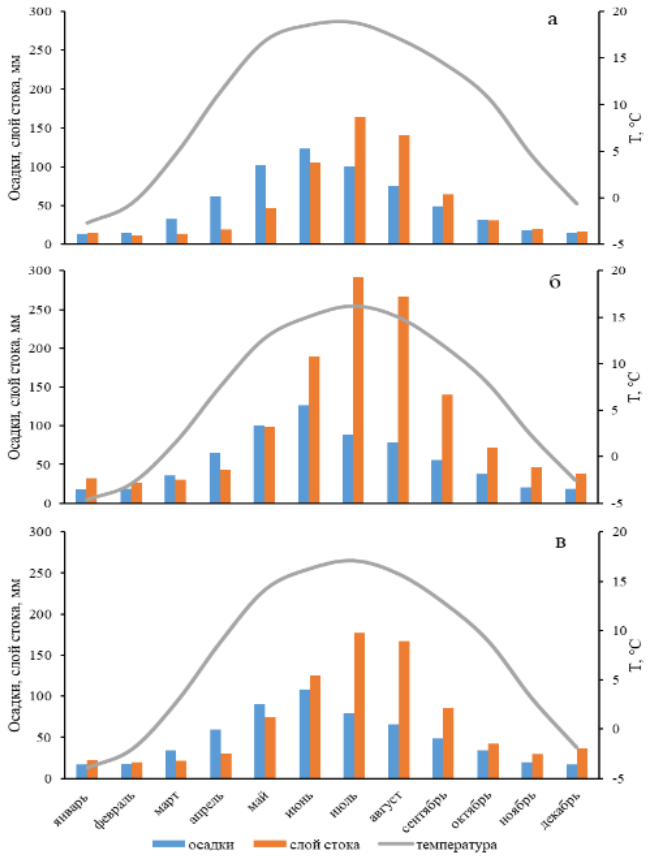

Рисунок 3 - Внутригодовое распределение осадков, стока и температуры воздуха в бассейнах р. Чегем *(а)*, р. Черек Балкарский *(б)*, р. Черек Безенгийский *(в)*

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.1.4

Многолетние изменения расходов воды рассмотрены за 60 лет, для выделения многоводных и маловодных периодов были построены разностно-интегральные кривые среднегодовых расходов с 1961 по 2021 гг. (рис. 4). За период с 1961 по 2021 гг. для всех исследуемых рек характерно увеличение стока. Максимальным увеличением стока характеризуется р. Черек Безенгийский более чем на 7 м^3/с, далее р. Чегем — почти на 4 м^3/с и Черек Балкарский – 3 м^3/с. Кроме того, увеличение стока 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%).

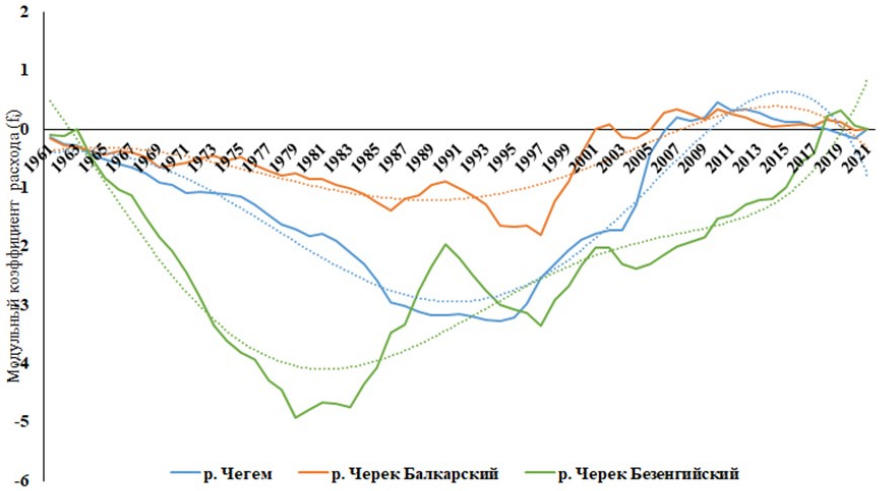

Рисунок 4 - Разностно-интегральные кривые среднегодовых расходов воды р. Чегем, р. Черек Балкарский, р. Черек Безенгийский

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.1.5

В многолетних изменениях стока исследованных рек прослеживается чередование многоводных и маловодных периодов (таблица 2), связанное с изменениями климата [3]. Повышение летней температуры воздуха на значимом уровне приводит к усилению таяния ледников, что также сказывается и на стоке рек. Водность в исследуемых реках начала увеличиваться после 1980-го года, что связано с увеличением глобальной температуры воздуха особенно в Северном полушарии с начала 70-х гг., а также на Кавказе летней температуры с начала 90-х гг. которое привело к ускоренному таянию ледников [1], [2], [8].

Таблица 2 - Параметры рядов среднегодовому стоку для р. Чегем – с. Н. Чегем, р. Черек Балкарский – с. Бабугент, р. Черек Безенгийский – с. Бабугент

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.1.6

Параметры рядов	р. Чегем	р. Черек Балкарский	р. Черек Безенгийский
$Q_{ср}$	15,1	27,7	16,4
Число лет с повышенными расходами n_1	22	25	30
Число лет с пониженными расходами n_2	39	36	31
Общее число лет n	61	61	61
Число многоводных серий U_0	8	11	5
Число маловодных серий U_1	8	12	6
Общее число серий U	16	23	11

Многолетние колебания температуры воздуха имеют тенденцию к увеличению, для всех исследуемых бассейнов характерно увеличение среднегодовой на 0,6 ºС и летней температуры от 2,4 до 3ºС, в зимний период температура уменьшается на 0,6 ºС (рис. 5). Изменение суммы осадков на основе данных реанализа ERA5-Land по бассейнам показало, что для исследуемых бассейнов годовая и летняя сумма осадков имеет тенденцию к уменьшению, а зимняя — к увеличению (рис. 6).

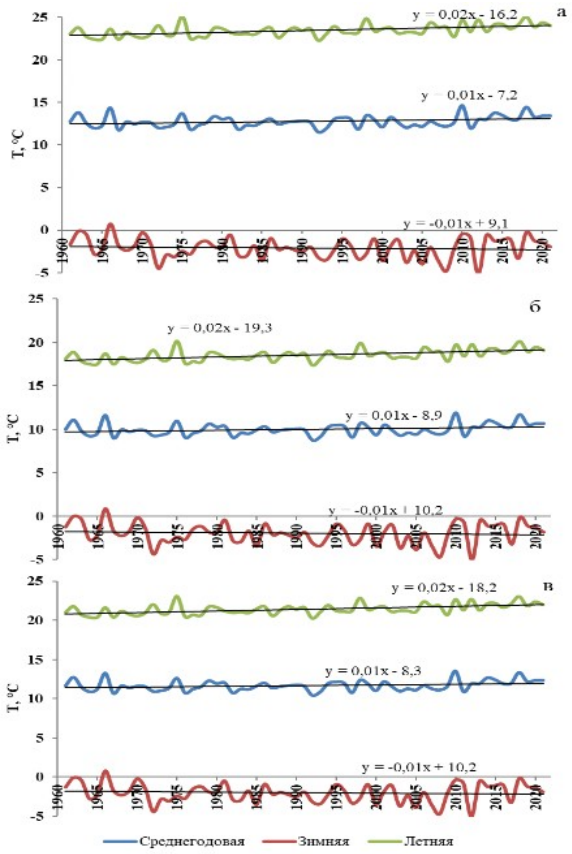

Рисунок 5 - Изменение среднегодовой, зимней и летней температуры воздуха в период с 1961 по 2021 гг. для гидрологических постов: р. Чегем – с. Н. Чегем *(а)*, р. Черек Балкарский – с. Бабугент *(б)* и р. Черек Безенгийский – с. Бабугент *(в)*

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.1.7

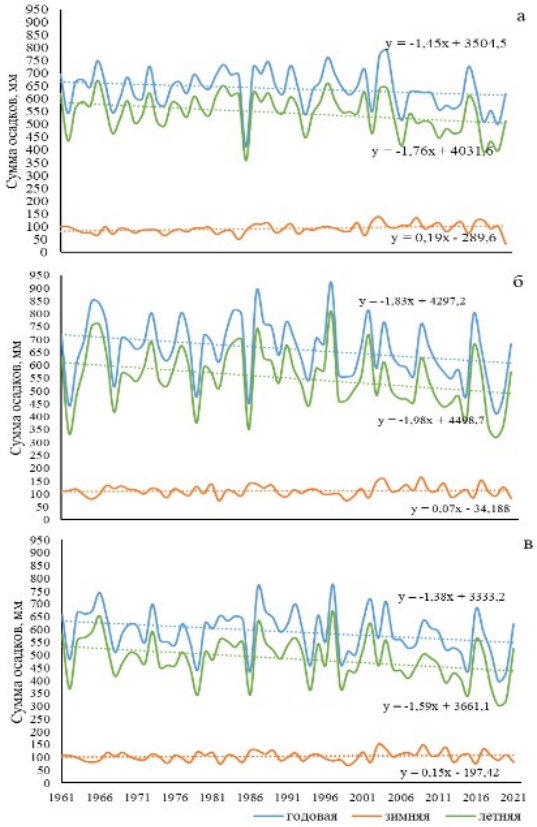

Рисунок 6 - Изменение годовой, зимней и летней суммы осадков в период с 1961 по 2021 гг. для бассейнов р. Чегем *(а)*, р. Черек Балкарский *(б)* и р. Черек Безенгийский *(в)*

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.1.8

Заключение

Регрессионный анализ показывает взаимосвязь многолетних изменений среднегодовых расходов воды с такими метеопараметрами как среднегодовая температура и годовой суммы осадков. В результате анализа для р. Чегем, р. Черек Балкарский и р. Черек Безенгийский получены эмпирические зависимости следующего вида:

– для р. Чегем $Q\ (T, \sum_{осадков}) = 0{,}498\ T + 0{,}014\ \sum_{осадков}$

– для р. Черек Балкарский $Q\ (T, \sum_{осадков}) = 2{,}288\ T + 0{,}018\ \sum_{осадков}$

– для р. Черек Безенгийский $Q\ (T, \sum_{осадков}) = 1{,}437\ T + 0{,}009\ \sum_{осадков}$

Значения коэффициентов множественной детерминации (R^2) для полученных выражений варьируют от 0,93 до 0,97 при уровне значимости 0,05, коэффициент корреляции от 0,96 до 0,99, это означает что для исследованных рек (р. Чегем, р. Черек Балкарский и р. Черек Безенгийский) более 90% изменений показателя многолетнего среднегодового расхода воды обусловлено изменением среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы осадков.

На изменение величины расходов воды исследованных рек влияет деградация ледников, которая характеризуется наибольшей чувствительностью к летним температурам и зимним осадкам в связи с климатическими изменениями. Ускоренное таяние ледников может быть объяснено устойчивым повышением летних температур и увеличением зимних осадков, связанное с современными изменениями климата [7], [9].

Результаты анализа пространственно-временного изменения гидрологического режима в высокогорной части рек Чегем, Черек Балкарский и Черек Безенгийский показали, за период с 1961 г. по 2021 г. происходит увеличение расходов воды, которое можно объяснить устойчивым повышением летних температур и увеличением зимних осадков, связанное с современными изменениями климата.

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. Ашабоков Б.А. Анализ изменения приземной температуры воздуха и количества осадков в предгорной зоне Северо-Кавказского региона за период 1961-2019 гг.. / Б.А. Ашабоков, Л.М. Федченко, Л.А. Кешева и др. // Учёные записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. — 2021. — 3. — С. 230–240.

2. 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. — 3. — С. 113–141.

3. Бубин М.Н. Ритмичность многолетних колебаний стока рек как интегральный показатель изменчивости климата / М.Н. Бубин. — Томск: Томский политехнический университет, 2013. — 279 с.

4. Виноградова О.В. Реакция горных рек Кавказа на изменения климата. / О.В. Виноградова, Н.Н. Виноградова // Вестник Московского университета. — 2013. — 4. — С. 44–48.

5. Давыдов Л.К. Общая гидрология / Л.К. Давыдов, А.А. Дмитриева, Н.Г. Конкина. — Ленинград: Гидрометеоздат, 1973. — 464 с.

6. Панов В.Д. Река Терек. Гидрография и режим стока / В.Д. Панов, А.А. Базелюк, П.М. Лурье. — Ростов-На-Дону: Донской издательский дом, 2015. — 608 с.

7. Рототаева О.В. Изменения баланса массы ледника Карабаши, гора Эльбрус на рубеже 20 и 21 веков. / О.В. Рототаева, Г.А. Носенко, А.М. Керимов и др. // Лед и снег. — 2019. — 5. — С. 5–22.

8. 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. — URL: https://research-journal.org/archive/1-127-2023-january/10.23670/IRJ.2023.127.70 . (дата обращения: 02.01.25) doi: 10.23670/IRJ.2023.127.70

9. Шахгеданова М. Взаимодействие баланса массы, атмосферной циркуляции и недавних изменений климата на леднике Джанкуат. / М. Шахгеданова, К.Р. Стоукс, С.Д. Герни и др. // Геофизика. — 2005. — 6. — С. 110–125.

10. Шульц В.Л. Реки средней Азии / В.Л. Шульц. — Ленинград: Гидрометеоздат, 1965. — 170 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Ashabokov B.A. Analiz izmeneniya prizemnoj temperatury' vozduxa i kolichestva osadkov v predgornoj zone Severo-Kavkazskogo regiona za period 1961-2019 gg. [Analysis of changes in surface air temperature and precipitation in the foothill zone of the North Caucasus region for the period 1961-2019]. / B.A. Ashabokov, L.M. Fedchenko, L.A. Kesheva et al. // Scientific Notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. — 2021. — 3. — P. 230–240. [in Russian]

2. Bekkiev M.Yu. Sovremennaya degradaciya dolinny'x lednikov Central'nogo Kavkaza [Modern degradation of valley glaciers in the Central Caucasus]. / M.Yu. Bekkiev, M.D. Dokukin, R.X. Kalov et al. // Fundamental and Applied Climatology. — 2021. — 3. — P. 113–141. [in Russian]

3. Bubin M.N. Ritmichnost' mnogoletnix kolebanij stoka rek kak integral'ny'j pokazatel' izmenchivosti klimata [Rhythmicality of long-term fluctuations in river flow as an integral indicator of climate variability] / M.N. Bubin. — Tomsk: Tomskij politexnicheskij universitet, 2013. — 279 p. [in Russian]

4. Vinogradova O.V. Reakciya gorny'x rek Kavkaza na izmeneniya klimata [The response of Caucasus mountain rivers to climate change]. / O.V. Vinogradova, N.N. Vinogradova // Bulletin of Moscow University. — 2013. — 4. — P. 44–48. [in Russian]

5. Davy'dov L.K. Obshhaya gidrologiya [General hydrology] / L.K. Davy'dov, A.A. Dmitrieva, N.G. Konkina. — Leningrad: Gidrometeozdat, 1973. — 464 p. [in Russian]

6. Panov V.D. Reka Terek. Gidrografiya i rezhim stoka [Terek River. Hydrography and flow regime] / V.D. Panov, A.A. Bazelyuk, P.M. Lure. — Rostov-Na-Donu: Donskoy Publishing House, 2015. — 608 p. [in Russian]

7. Rototaeva O.V. Izmeneniya balansa massy' lednika Karabashi, gora E'l'brus na rubezhe 20 i 21 vekov [Changes in the mass balance of the Karabashi glacier, Mount Elbrus at the turn of the 20th and 21st centuries]. / O.V. Rototaeva, G.A. Nosenko, A.M. Kerimov et al. // Ice and snow. — 2019. — 5. — P. 5–22. [in Russian]

8. Tashilova A.A. Umen'shenie vodny'x resursov regiona kak sledstvie degradacii lednikov Severnogo Kavkaza pod vozdejstviem klimaticheskix izmenenij [The decline of water resources in the region as a result of the degradation of glaciers in the North Caucasus under the influence of climate change] / A.A. Tashilova, L.A. Kesheva, N.V. Teunova // International Research Journal. — 2023. — №1. — URL: https://research-journal.org/archive/1-127-2023-january/10.23670/IRJ.2023.127.70 . (accessed: 02.01.25) doi: 10.23670/IRJ.2023.127.70 [in Russian]

9. Shaxgedanova M. Vzaimodejstvie balansa massy', atmosfernoj cirkulyacii i nedavnix izmenenij klimata na lednike Dzhankuat [Interaction of mass balance, atmospheric circulation and recent climate change at Djankuat Glacier]. / M. Shaxgedanova, K.R. Stouks, S.D. Gerni et al. // Geophysics. — 2005. — 6. — P. 110–125. [in Russian]

10. Shul'cz V.L. Reki srednej Azii [Rivers of Central Asia] / V.L. Shul'cz. — Leningrad: Gidrometeozdat, 1965. — 170 p. [in Russian]