

УДК 911.2, 504.05, 551.582
DOI: 10.46698/VNC.2026.54.86.001

Оригинальная статья

Многолетние тренды температуры и осадков в горных и предгорных районах Северного Кавказа (на примере Северной Осетии)

В.Б. Заалишвили^{ORCID}, В.Ю. Тимченко^{ORCID}

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН,
Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а,
e-mail: timchenko.vasily@mail.ru

Статья поступила: 14.01.2026, доработана: 23.03.2026, принята к публикации: 25.03.2026

Резюме: Актуальность работы. Глобальные климатические изменения, анализируемые во всем мире, обуславливают научный интерес к различным характеристикам окружающей среды. Изменение температуры в горных районах увеличивает таяние ледников и ведет к изменению водного баланса в предгорьях и на равнинах. Многолетние изменения климатических условий Северной Осетии проявляются в увеличении средних значений температуры, изменении объема осадков. Такие сдвиги непосредственно влияют на общее состояние приземных слоев атмосферы, содержание в ней аэрозолей и многолетние вариации объемов растительной биомассы. **Целью** исследования является изучение свойств многолетних рядов температуры и количества осадков в горных, предгорных и равнинных районах Северной Осетии. **Методы.** Используется геопространственный отбор и статистическая обработка многолетних данных реанализа температуры и количества осадков. Анализируется отношение темпов изменения температуры к темпам изменения количества осадков. Определяется взаимосвязь отношения статистических параметров и высоты подстилающего ландшафта. **Результаты.** Показано, что для ряда районов на территории Северной Осетии отношение темпов изменения температуры к темпам изменения количества осадков варьируется в зависимости от высоты локации над уровнем моря. Для горных территорий это отношение самое высокое по модулю, при этом уклоны трендов температуры больше уклонов трендов количества осадков. Для равнинных районов Осетинской наклонной равнины и лесостепных ландшафтов в районе г. Моздока это отношение близко к единице. Полученное отношение может служить дополнительным параметром при идентификации горных, предгорных и равнинных районов и анализе геоэкологических изменений.

Ключевые слова: температура, количество осадков, статистические параметры, тренды, многолетние изменения, Северная Осетия.

Для цитирования: Заалишвили В.Б., Тимченко В.Ю. Многолетние тренды температуры и осадков в горных и предгорных районах Северного Кавказа (на примере Северной Осетии). *Геология и геофизика Юга России*. 2026. 16(1): 180-188. DOI: 10.46698/VNC.2026.54.86.001

DOI: 10.46698/VNC.2026.54.86.001

Original paper

Long-term trends in temperature and precipitation in the mountainous and foothill regions of the North Caucasus (case study of the North Ossetia)

V.B. Zaalishvili^{ORCID}, V.Yu. Timchenko^{ORCID}

Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences,
93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation,
e-mail: timchenko.vasily@mail.ru

Received: 14.01.2026, revised: 23.03.2026, accepted: 25.03.2026

Abstract: Relevance. Global climate change, analyzed worldwide, leads to scientific interest in various environmental characteristics. Temperature changes in mountainous areas increase the melting of glaciers and lead to changes in the water balance in the foothills and plains. Long-term changes in the climatic conditions of North Ossetia are manifested in an increase in average temperatures and changes in precipitation. Such shifts directly affect the general condition of the surface layers of the atmosphere, its aerosol content and long-term variations in plant biomass volumes. **The aim** of this research is to study the properties of long-term temperature and precipitation ranges in mountainous, foothill and lowland regions of North Ossetia. **Methods.** Geospatial sampling and statistical processing of long-term temperature and precipitation reanalysis data are used. The ratio of the rate of temperature change to the rate of precipitation change is analyzed. The relationship between the ratio of statistical parameters and the height of the underlying landscape is determined. **Results.** It is shown that for a number of areas in North Ossetia, the ratio of the rate of temperature change to the rate of precipitation varies depending on the altitude of the location above sea level. For mountainous areas, this ratio is the highest in modulus, while the slopes of temperature trends are greater than the slopes of precipitation trends. For the lowland areas of the Ossetian sloping plain and forest-steppe landscapes in the Mozdok area, this ratio is close to unity. The obtained ratio can serve as an additional parameter in the identification of mountainous, foothill and lowland areas and the analysis of geoecological changes.

Keywords: temperature, precipitation, statistical parameters, trends, long-term changes, North Ossetia.

For citation: Zaalishvili V.B., Timchenko V.Yu. Long-term trends in temperature and precipitation in the mountainous and foothill regions of the North Caucasus (case study of the North Ossetia). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2026. 16(1): 180-188. DOI: 10.46698/VNC.2026.54.86.001

Введение

В последние десятилетия проблема изменений климата [Abbass et al., 2022; Asadi, 2005], которые на территории России протекают быстрее, чем в среднем по миру, сопряжена со значительным потенциальным ущербом для населения и экономики [Malhi, 2021].

В соответствии с данными доклада Росгидромета оценки линейного тренда температуры приземного воздуха, осредненной за 2024 год для Северо-Кавказского региона, составили $+0.51^{\circ}\text{C}/10$ лет. Потепление продолжалось по всей России в целом за 2024–2025 годы и во все сезоны. При этом в Южном федеральном округе преобладал дефицит осадков – он составил 74 % (Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год, Москва, Росгидромет, 2025). Предварительный анализ показал, что имеются такие же тенденции для всех районов Се-

верного Кавказа [Виноградова и др., 2015; Корчагина, 2019, 2024]. Более детальные исследования нами приведены для территории Северной Осетии.

Важным фактором, обуславливающим межгодовую динамику условий вегетации на Северном Кавказе, является фактор осадков [Ашабоков и др., 2021; Бисчоков, 2018]. Отмечается тесная зависимость между величиной межгодовой вариативности осадков [Zhu et al., 2022] и степенью их влияния на динамику растительного покрова.

Изменения прогнозов по температуре и количеству осадков учитываются при расчете экономической эффективности и отдачи мелиоративных мероприятий [Дезфули и др., 2020; Керимов и др., 2024 а,б; Бекмурзаева и др., 2025 а,б; Атаев, 2025; Мухартова и др., 2025], обеспечивающих воспроизводство и повышение плодородия при возрастающих геоэкологических рисках [Петрушина, 2023; Мячина и др., 2024; Аджиев, 2025].

Важную роль в понимании теплового баланса в атмосфере играет исследование содержания аэрозолей [Гинзбург и др., 2008; Floutsi et al., 2016; Levy et al., 2023]. Аэрозоли заметно рассеивают энергию излучения Солнца, являются важным регулятором радиационного баланса системы «атмосфера–подстилающая поверхность» [Чубарова и др., 2011]. Приоритетной задачей является определение тенденции многолетних изменений различных характеристик атмосферы с учетом пространственного распределения и сезонности [Кузьмина, 2007; Shivanna, 2023].

Настоящая работа является естественным развитием исследований, приведенных в работах [Каменецкий и др., 2021 а,б; Каменецкий, Радионов, 2024], для описания особенностей геоэкологического состояния Северной Осетии, где исследуется взаимосвязь параметров линейных моделей для температуры и количества осадков.

Методология и методы исследования

В качестве источника данных использованы многолетние ряды температуры и количества осадков по данным NASA POWER Data Access Viewer (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer>). Ряды температуры и количества осадков состояли из ежедневных значений за многолетний период 2000–2019 гг. Для каждого года вычислялись интегральные характеристики I_n для температуры и количества осадков [Каменецкий и др., 2021 а,б]. Изучался ряд районов в горной, предгорной и равнинной части, имеющих различные типы ландшафтов (высокогорный, горно-лесистый, лесостепной и степной), для выявления вариаций индексов вегетации и аэрозольной оптической толщины в зависимости от температуры и количества осадков в зависимости от удаленности от горных хребтов.

Для выявления многолетних изменений проверялось предположение о линейной зависимости ряда I_n от времени в виде:

$$I_n = a \cdot t + b \quad (1)$$

где a – темпы изменения (уклон линии тренда), b – многолетнее среднее значение (y -пересечение линии), t – время от начала исследуемого периода.

Нами введен температурно-осадковый коэффициент, равный отношению уклона тренда I_n температуры к уклону тренда I_n осадков для исследуемого района.

Результаты и обсуждение

На основе таблиц интегральных характеристик для температуры и осадков из работ [Каменецкий и др., 2021 а,б] составлена таблица отношений уклонов тренда интегральной характеристики температуры к соответствующим уклонам тренда интегральной характеристики количества осадков (табл. 1). Упорядочим районы измерений по высоте над уровнем моря. Для наглядности отношения уклонов трендов

температуры к уклонам трендов количества осадков приведены в виде гистограммы на рисунке 1.

Можно отметить, что имеет место взаимосвязь между типом ландшафта и характерными для этого ландшафта значениями отношения уклонов трендов температуры к уклонам трендов количества осадков, которая формирует т.н. температурно-осадковый коэффициент.

Таблица 1 / Table 1

**Сводные значения отношений уклонов трендов Т к уклонам трендов осадков /
Summary values of the ratio of T trend slopes to precipitation trend slopes**

Локация / Location	Высота района/ Height of the area	Наклон линии регрессии Т / Slope of the regression line T	Наклон линии регрессии осадков/ Slope of the precipitation regression line	Отношение уклонов Т/осадки / Slope ratio T/ precipitation
Цей / Tsey	1900–2200	0,0926	-0,0352	-2,6306
Фиэгдон / Fiagdon	1200–1600	0,0769	-0,0307	-2,5049
Чикола / Chikola	650–1100	0,055	-0,0309	-1,7799
Гизель / Gizel	600–800	0,0445	-0,0294	-1,5136
Беслан / Beslan	500	0,0445	-0,0294	-1,5136
Владикавказ / Vladikavkaz	600–700	0,0445	-0,0294	-1,5136
Русское / Russkoe	130–160	0,0322	-0,0283	-1,1378
Виноградное / Vinogradnoye	130–160	0,025	-0,0276	-0,9058
Моздок / Mozdok	130	0,0251	-0,0277	-0,9061

Исходя из данных реанализа и спутниковых данных, тренды количества осадков по таблице 1 имеют отрицательный уклон. Тренды температуры по нашим расчетам имеют положительный уклон для всего Северо-Кавказского региона. Отсюда, температурно-осадковый коэффициент имеет отрицательный знак и его следует анализировать по модулю.

Для анализа данных в горной части республики выбран горнолыжный высокогорный курорт Цей, на высоте 1900–2200 м (над уровнем моря) и с. Фиэгдон с координатами 42°48'00" с.ш., 44°12'00" в.д. на высоте 1200–1600 м (над уровнем моря), расположенные на северных склонах Большого Кавказа. Для локаций, имеющих горный ландшафт, температурно-осадковый коэффициент наибольший по величине и составляет порядка 2,5.

Территории в районе с. Гизель и г. Владикавказа, расположены на 43°00'00" с.ш., 44°30'00" в.д.; высота над уровнем моря 600 ÷ 800 метров, растительность – смешанный хвойный и широколиственный лес. Территория в районе селения Чикола, РСО-Алания, 43°10'00" с.ш., 44°00'00" в.д.; высота составляет 650–1100 метров над уровнем моря; растительность – смешанные хвойные и широколиственные леса и сельхозугодья травянистых культур.

Локация на равнинной части вблизи г. Беслана, координаты 43°10'00" с.ш., 44°40'00" в.д., местность частично с холмистым и равнинным лесостепным ландшафтом. Высота над уровнем моря составляет около 500 метров.

Для районов, расположенных в предгорьях северной Осетии (Владикавказ, Чикола, Беслан) и имеющих горно-лесистый ландшафт, температурно-осадковый коэффициент по величине, варьирует в пределах порядка от 1,5 до 1,8.

Для Моздокского района (г. Моздок, с. Виноградное, с. Русское) температурно-осадковый коэффициент наименьший по величине и составляет порядка 0,9. Район с. Русское имеет координаты 43°50'00" с.ш., 44°20'00" в.д.; расположен на равнинной территории. Рельеф местности степной, высота над уровнем моря около 160 метров. Село Виноградное имеет координаты 43°40'00" с.ш., 44°40'00" в.д. Рельеф местности степной, высота над уровнем моря около 160 метров. Температурно-осадковый коэффициент для этих населенных пунктов составляет 0,9–1,1.

Анализ статистических взаимосвязей трендов температуры, трендов количества осадков с многолетними характеристиками аэрозольной оптической толщины, индексами вегетации формирует их корреляционные зависимости и приводится в соответствующих работах [Каменецкий и др., 2021 а,б]. Учитывая введенный температурно-осадковый коэффициент (рис. 1), характеризующий тот или иной тип ландшафтов, имеется возможность связывать уклоны трендов АОТ и NDVI напрямую со значениями этого коэффициента для выбранного ландшафта. Этот метод сократит количество параметров используемых линейных моделей, а также даст дополнительный критерий отнесения ландшафта вблизи горных хребтов к тому или иному типу.

Изменение со временем значения температурно-осадкового коэффициента является возможной причиной геоэкологической трансформации ландшафта, вызванной изменением климатических условий, сдвига баланса «изменение температуры – изменение количества осадков», что в многолетнем периоде характеризует изменение условий для благоприятного развития фитоценозов. При этом изменение трендов индекса вегетации при неизменном температурно-осадковом коэффициенте показывает наличие внешних причин для такого изменения, в том числе – наличие негативного антропогенного воздействия или деградацию растительного покрова.



Рис. 1. Температурно-осадковый коэффициент для горных, предгорных и равнинных районов РСО-Алания, иллюстрирующий таблицу 1 /

Fig. 1. Temperature-precipitation coefficient for mountainous, foothill and lowland regions of North Ossetia-Alania, illustrating Table 1

Вариативность многолетних значений аэрозольной оптической толщины имеет корреляционные связи с температурой, корреляция с количеством осадков для разных ландшафтов разнонаправлена [Каменецкий и др., 2021 а]. Следовательно, уклоны трендов АОТ также можно классифицировать по температурно-осадковому коэффициенту.

Температурно-осадковый коэффициент, как правило, строится на основе уклонов многолетних трендов интегральных характеристик температуры и количества осадков. При этом исследований по усредненным данным только одного года этого отношения явно недостаточно. В этой связи для выявления возможного изменения температурно-осадковых условий для ландшафта будет перспективным брать отношения уклонов трендов многолетнего ряда, например, за 20–25 лет или, в крайнем случае, за относительно короткий период, например, за 5 лет.

Выводы

На основе установленной взаимосвязи между типом ландшафта и характерными для этого ландшафта значениями отношения уклонов трендов температуры к уклонам трендов количества осадков введено понятие, т.н. температурно-осадкового коэффициента.

Установлена взаимосвязь между высотой ландшафта над уровнем моря и характерными для этого ландшафта значениями температурно-осадкового коэффициента. Показано, что температурно-осадковый коэффициент убывает с уменьшением высоты района над уровнем моря.

Для локаций, имеющих горный ландшафт, температурно-осадковый коэффициент наибольший по величине и составляет порядка 2,5. Для локаций, расположенных в предгорьях Северной Осетии и имеющих горно-лесистый ландшафт, температурно-осадковый коэффициент по величине варьирует порядка от 1,5 до 1,8. Для равнинных локаций температурно-осадковый коэффициент наименьший по величине и варьирует в пределах порядка от 0,9 до 1,0.

Температурно-осадковый коэффициент дает дополнительное описание геоэкологического состояния ландшафта и дополнительный критерий при геоэкологическом районировании. Изменение значения температурно-осадкового коэффициента произойдет в соответствии с вариациями климатических условий, когда тренды температур изменятся в ту или другую сторону по отношению к наблюдаемому количеству осадков в данном районе.

Литература

1. Аджиев А.Х., Кондратьева Н.В., Разумов В.В., Керефова З.М. Анализ многолетней динамики границ ледника Гарабаши. // Геология и геофизика Юга России. – 2025. – Т. 15. № 4. – С. 17–27. DOI: 10.46698/e6858-2115-8370-e.
2. Атаев З.В. Теоретико-методологические основы и региональные особенности выделения предгорных ландшафтов как самостоятельных геосистем. // Геология и геофизика Юга России. – 2025. – Т. 15. № 4. – С. 151–168. DOI: 10.46698/o0195-2486-7930-v.
3. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Изменения температурного режима и режима осадков теплого и холодного периодов в различных климатических зонах Северо-Кавказского региона. // Наука. Инновации. Технологии. – 2021. – № 3. – С. 55–72. DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.4.
4. Бекмурзаева Р.Х., Бекмурзаева Л.Р., Братков В.В. Террасирование склонов Макажойской котловины: оценка влияния рельефа методами лазерного сканирования. // Геология и геофизика Юга России. – 2025а. – Т. 15. № 4. – С. 169–183. DOI: 10.46698/v6676-0090-5271-g.
5. Бекмурзаева Л.Р., Братков В.В., Керимов И.А. Оценка изменения селитебной нагрузки на ландшафты Чеченской Республики по материалам дистанционного зондирования Земли.

// Геология и геофизика Юга России. – 2025б. – Т. 15. № 4. – С. 184–196. DOI: 10.46698/y5264-2026-3522-г.

6. Бисчоков Р.М. Прогнозирование изменений режима атмосферных осадков на Северном Кавказе. // Вестник Курганской ГСХА. – 2018. – № 1. – С. 14–17.

7. Виноградова В.В., Титкова Т.Б., Белоновская Е.А., Грачева Р.Г. Воздействие изменения климата на горные ландшафты Северного Кавказа. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12. № 6. – С. 35–47.

8. Гинзбург А.С., Губанова Д.П., Минашкин В.М. Влияние естественных и антропогенных аэрозольных на глобальный и региональный климат. // Российский химический журнал. – 2008. – Т. 52. № 5. – С. 112–119.

9. Дезфули Э.Д., Зохраби Н., Розбахани М.М. Влияние изменения климата на температуру в провинции Хузестан. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2020. – № 2. – С. 33–37.

10. Каменецкий Е.С., Радионов А.А. Математическое моделирование аэродинамики идеализированных горных ущелий. // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 3. – С. 174–190. DOI: 10.46698/r8904-0498-0722-у.

11. Каменецкий Е.С., Радионов А.А., Тимченко В.Ю. Анализ спутниковых измерений вегетационного индекса в предгорных и равнинных районах РСО-Алания. // Мелиорация и водное хозяйство. – 2021 а. – № 4. – С. 32–38. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-32-38.

12. Каменецкий Е.С., Радионов А.А., Тимченко В.Ю., Панаэтова О.С. Изменчивость аэрозольной оптической толщины в горных и предгорных районах Северной Осетии по данным спутниковых измерений. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2021 б. – № 3(211). – С. 51–63. DOI: 10.18522/1026-2237-2021-3-51-63.

13. Керимов И.А., Братков В.В., Бекмурзаева Л.Р. Динамика агроклиматических показателей степных ландшафтов Северного Кавказа по данным наземных наблюдений. // Геология и геофизика Юга России. – 2024а. – Т. 14. № 2. – С. 219–230. DOI: 10.46698/VNC.2024.92.31.017.

14. Керимов И.А., Эльжаев А.С., Додуев А.А. Дистанционный мониторинг лесных территорий (на примере эталонного участка «Рошни-Чу»). // Геология и геофизика Юга России. – 2024б. – Т. 14. № 4. – С. 180–191. DOI: 10.46698/VNC.2024.85.96.015.

15. Корчагина Е.А. Долгосрочные изменения режима атмосферных осадков как фактора формирования опасностей гидрологического характера в горной зоне Республики Дагестан. // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 4. – С. 192–205. DOI: 10.46698/VNC.2024.81.30.016.

16. Корчагина Е.А. Исследование температурного режима в горных районах Кабардино-Балкарии и Карачаево-Черкесии в 1951–2015 гг. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2019. – Т. 11. № 4(42). – С. 449–458.

17. Кузьмина Ж.В. Анализ многолетних метеорологических трендов на юге России и Украины (от лесостепи до пустынь). // Аридные экосистемы. – 2007. – Т. 13. № 32. – С. 47–61.

18. Мухартова Ю.В., Ольчев А.В., Керимов И.А., Обаев Е.С. Усовершенствованный инверсионный метод восстановления потоков CO₂ над территориями со сложным рельефом на основе атмосферных измерений. // Геология и геофизика Юга России. – 2025. – Т. 15. № 4. – С. 235–248. DOI: 10.46698/v6610-9093-2069-х.

19. Мячина К.В., Керимов И.А., Ряхов Р.В., Дубровская С.А. Изучение поглотительной способности ландшафтов в отношении диоксида углерода с помощью ДДЗ (на примере степных, лесостепных и горнолесных регионов юга России). // Геология и геофизика Юга России. – 2024. – Т. 14. № 1. – С. 141–151. DOI: 10.46698/VNC.2024.41.38.010.

20. Петрушина М.Н., Гуня А.Н., Колбовский Е.Ю., Пуреховский А.Ж., Динамика горных ландшафтов Северного Кавказа при современном изменении климата и усилении антропогенного воздействия. // Известия РАН. Серия Географическая. – 2023. – Т. 87. № 7. – С. 1032–1049.

21. Чубарова Н.Е., Горбаренко Е.В., Незваль Е.И., Шиловцева О.А. Аэрозольные и радиационные характеристики атмосферы во время лесных и торфяных пожаров в 1972, 2002 и 2010 гг. в Подмоскowie. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 47. № 6. – С. 790–804.

22. Abbass K., Qasim M.Z., Song H., Murshed M., Mahmood H., Younis I. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. // Environmental Science and Pollution Research. – 2022. – Vol. 29. – pp. 42539–42559. DOI: 10.1007/s11356-022-19718-6.

23. Asadi M.E. Effects of global climate change on water resources. // *Journal of Agricultural Meteorology*. – 2005. – Vol. 60. No. 5. – pp. 637–640. DOI: 10.2480/agrmet.637.

24. Floutsi A.A., Korras-Carraca M.B., Matsoukas C., Hatzianastassiou N., Biskos G. Climatology and trends of aerosol optical depth over the Mediterranean basin during the last 12 years (2002–2014) based on Collection 006 MODIS-Aqua data. // *Science of The Total Environment*. – 2016. – Vol. 551. No. 552. – pp. 292–303.

25. Levy R.C., Remer L.A., Shi Y., Kleidman R.G., The Dark Target Team. Characterizing aerosol from space with the moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS) on the Terra and Aqua Satellites. In: *Handbook of Air Quality and Climate Change*. / Eds. H. Akimoto, H. Tanimoto. – Singapore: Springer, – 2023. pp. 271–294. DOI: 10.1007/978-981-15-2760-9_60.

26. Malhi G.S., Kaur M., Kaushik P. Impact of climate change on agriculture and Its mitigation strategies: a review. // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 13. Issue 3. – pp. 1318–1339. DOI: 10.3390/su13031318.

27. Shivanna KR. Climate change and its impact on biodiversity and human welfare. // *Proceedings of the Indian National Science Academy*. – 2022. – Vol. 88. Issue 2. – pp. 160–71. DOI: 10.1007/s43538-022-00073-6.

28. Zhu W., Wang S., Luo P., Zha X., Cao Z., Lyu J., Zhou M., He B., Nover D. A quantitative analysis of the influence of temperature change on the influence of temperature change on the extreme precipitation. *Atmosphere*. 2022. Vol. 13. Issue 4. Art. No. 612. DOI: 10.3390/atmos13040612.

References

1. Adzhiev A.Kh., Kondratieva N.V., Razumov V.V., Kerefova Z.M. Analysis of the long-term Dynamics of the Garabashi glacier boundaries. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025. Vol. 15. No. 4. pp. 17–27. DOI: 10.46698/e6858-2115-8370-e. (In Russ.)

2. Ataev Z.V. Theoretical and methodological foundations and regional specifics of delineating foothill landscapes as independent geosystems. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025. Vol. 15. No. 4. 151–168. DOI: 10.46698/o0195-2486-7930-v. (In Russ.)

3. Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Kesheva L.A., Teunova N.V. Changes in temperature and precipitation regimes during warm and cold periods in various climatic zones of the North Caucasus region. *Science. Innovations. Technologies*. 2021. No. 3. pp. 55–72. DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.4. (In Russ.)

4. Bekmurzaeva R.Kh., Bekmurzaeva L.R., Bratkov V.V. Terracing of the Makazhoy basin slopes: assessing the impact of relief using laser scanning methods. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025a. Vol. 15. No. 4. pp. 169–183. DOI: 10.46698/v6676-0090-5271-g. (In Russ.)

5. Bekmurzaeva L.R., Bratkov V.V., Kerimov I.A. Assessment of changes in the residential load on the landscapes of the Chechen Republic based on the remote sensing data. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025b. Vol. 15. No. 4. pp. 184–196. DOI: 10.46698/y5264-2026-3522-r. (In Russ.)

6. Bischokov R.M. Forecasting changes in the atmospheric precipitation regime in the North Caucasus. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2018. No. 1. pp. 14–17. (In Russ.)

7. Vinogradova V.V., Titkova T.B., Belonovskaya E.A., Gracheva R.G. Impact of climate change on mountain landscapes of the North Caucasus. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space*. 2015. Vol. 12. No. 6. pp. 35–47. (In Russ.)

8. Ginzburg A.S., Gubanov D.P., Minashkin V.M. Influence of natural and anthropogenic aerosols on global and regional climate. *Russian Chemical Journal*. 2008. Vol. 52. No. 5. pp. 112–119. (In Russ.)

9. Dezfuli E.D., Zohrabi N., Rozbakhani M.M. Impact of climate change on temperature in Khuzestan province. *Land Reclamation and Water Management*. 2020. No. 2. pp. 33–37. (In Russ.)

10. Kamenetsky E.S., Radionov A.A. Numerical study of the idealized mountain gorges atmosphere. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 3. pp. 174–190. DOI: 10.46698/r8904-0498-0722-u. (In Russ.)

11. Kamenetsky E.S., Radionov A.A., Timchenko V.Yu. Analysis of satellite measurements of the vegetation index in the foothill and plain regions of the Republic of North Ossetia–Alania. *Land Reclamation and Water Management*. 2021a. No. 4. pp. 32–38. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-6-32-38. (In Russ.)

12. Kamenetsky E.S., Radionov A.A., Timchenko V.Yu., Panaetova O.S. Variability of aerosol

optical depth in the mountain and foothill regions of North Ossetia based on satellite measurements. *University News. North-Caucasian Region. Natural Sciences Series*. 2021b. No. 3(211). pp. 51–63. DOI: 10.18522/1026-2237-2021-3-51-63. (In Russ.)

13. Kerimov I.A., Bratkov V.V., Bekmurzaeva L.R. Dynamics of agroclimatic indicators of steppe landscapes of the North Caucasus according to ground observations. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024a. Vol. 14. No. 2. pp. 219–230. DOI: 10.46698/VNC.2024.92.31.017. (In Russ.)

14. Kerimov I.A., Elzhaev A.S., Doduev A.A. Remote monitoring of forest areas (using the example of the reference site “Roshni-Chu”). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024b. Vol. 14. No. 4. pp. 180–191. DOI: 10.46698/VNC.2024.85.96.015. (In Russ.)

15. Korchagina E.A. Long-term changes in the precipitation regime as a factor of the hydrological hazards’ formation in the mountainous zone of the Dagestan Republic. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 4. pp. 192–205. DOI: 10.46698/VNC.2024.81.30.016. (In Russ.)

16. Korchagina E.A. Study of the temperature regime in the mountainous regions of Kabardino-Balkaria and Karachay-Cherkessia in 1951–2015. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2019. Vol. 11. No. 4(42). pp. 449–458. (In Russ.)

17. Kuzmina Zh.V. Analysis of long-term meteorological trends in the south of Russia and Ukraine (from forest-steppe to deserts). *Arid Ecosystems*. 2007. Vol. 13. No. 32. pp. 47–61. (In Russ.)

18. Mukhartova I.V., Olchev A.V., Kerimov I.A., Obaev E.S. An improved inversion method for recovering CO₂ fluxes over complex terrain areas based on atmospheric measurements. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2025. Vol. 15. No. 4. pp. 235–248. DOI: 10.46698/v6610-9093-2069-x. (In Russ.)

19. Myachina K.V., Kerimov I.A., Rakhov R.V., Dubrovskaya S.A. Study of the landscape absorption capacity regarding to carbon dioxide using remote sensing data (steppe, forest-steppe and mountain-forest regions of Southern Russia as examples). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2024. Vol. 14. No. 1. pp. 141–151. DOI: 10.46698/VNC.2024.41.38.010. (In Russ.)

20. Petrushina M.N., Gunya A.N., Kolbovsky E. Yu., Purehovskiy A.Zh. Dynamics of mountain landscapes of the North Caucasus under modern climate change and increased anthropogenic impact. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2023. Vol. 87. No. 7. pp. 1032–1049. (In Russ.)

21. Chubarova N.E., Gorbarenko E.V., Nezval E.I., Shilovtseva O.A. Aerosol and radiation characteristics of the atmosphere during forest and peat fires in 1972, 2002, and 2010 in the region of Moscow. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2011. Vol. 47. No. 6. pp. 790–804. (In Russ.)

22. Abbass K., Qasim M.Z., Song H., Murshed M., Mahmood H., Younis I. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. pp. 42539–42559. DOI: 10.1007/s11356-022-19718-6.

23. Asadi M.E. Effects of global climate change on water resources. *Journal of Agricultural Meteorology*. 2005. Vol. 60. No. 5. pp. 637–640. DOI: 10.2480/agrmet.637.

24. Floutsi A.A., Korras-Carraca M.B., Matsoukas C., Hatzianastassiou N., Biskos G. Climatology and trends of aerosol optical depth over the Mediterranean basin during the last 12 years (2002–2014) based on Collection 006 MODIS-Aqua data. *Science of The Total Environment*. 2016. Vol. 551. No. 552. pp. 292–303.

25. Levy R.C., Remer L.A., Shi Y., Kleidman R.G., The Dark Target Team. Characterizing aerosol from space with the moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS) on the Terra and Aqua Satellites. In: *Handbook of Air Quality and Climate Change*. Eds. H. Akimoto, H. Tanimoto. Singapore. Springer. 2023. pp. 271–294. DOI: 10.1007/978-981-15-2760-9_60.

26. Malhi G.S., Kaur M., Kaushik P. Impact of climate change on agriculture and its mitigation strategies: a review. *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Issue 3. pp. 1318–1339. DOI: 10.3390/su13031318.

27. Shivanna KR. Climate change and its impact on biodiversity and human welfare. *Proceedings of the Indian National Science Academy*. 2022. Vol. 88. Issue 2. pp. 160–71. DOI: 10.1007/s43538-022-00073-6.

28. Zhu W., Wang S., Luo P., Zha X., Cao Z., Lyu J., Zhou M., He B., Nover D. A quantitative analysis of the influence of temperature change on the extreme precipitation. *Atmosphere*. 2022. Vol. 13. Issue 4. Art. No. 612. DOI: 10.3390/atmos13040612.