



Научная статья

УДК 336.76

<https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.4.4>

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ЛЕДНИКА БОЛЬШОЙ АЗАУ (КАБАРДИНО-БАЛКАРИЯ) ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И МЕТЕОНАБЛЮДЕНИЙ (2018–2024 ГГ.)

Наталья Евгеньевна Рязанова^{1*},
Анастасия Дмитриевна Куракова²,
Айсылу Алмазовна Гайсина³

^{1,2,3} Московский государственный институт международных отношений
(д. 76/1 пр-т Вернадского, г. Москва, 119454, Россия)

¹ n.riazanova@inno.mgimo.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9439-0537>

² akurkova@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-8226-6517>

³ aisily.04@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-9632-8755>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация.

В данной статье представлено комплексное исследование, посвященное анализу многолетней динамики снежного покрова ледника Большой Азау, расположенного в Кабардино-Балкарской Республике. Исследование охватывает период с 2018 по 2024 год и основано на интеграции современных методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с глубоким статистическим анализом метеорологических данных. В ходе работы был проведен детальный расчет нормализованного разностного снежного индекса (NDSI), полученного из многолетних серий аэрофотоснимков и данных спутниковых систем. В результате была однозначно выявлена устойчивая негативная тенденция, характеризующаяся резким сокращением площади и продолжительности залегания зимнего снежного покрова. Установлено, что регрессия происходит со стабильной средней скоростью около 0,04 единицы NDSI в год, что свидетельствует об интенсивной абляции. При этом летние сезонные изменения не демонстрируют статистически значимой динамики, оставаясь в пределах межгодовой изменчивости. Климатический анализ параллельно показал значительный рост средних годовых и сезонных температур, особенно в критические летние месяцы, а также заметное снижение объемов зимних осадков, что нарушает баланс массы ледника. Эти взаимосвязанные климатические

факторы комплексно и необратимо влияют на ускорение темпов деградации ледника, сокращая его объем и площадь. Полученные результаты в очередной раз подчеркивают критическую важность организации непрерывного системного мониторинга криосферы и безотлагательной разработки стратегических адаптационных мер. Такие действия необходимы для смягчения растущих экологических и социально-экономических рисков, непосредственно связанных с интенсивным изменением ледникового покрова в уязвимой горной среде Северного Кавказа.

Ключевые слова: деградация ледников, ДЗЗ, лавины, климат, горные экосистемы, Кабардино-Балкария, Большой Азау

Для цитирования: Рязанова Н. Е., Куракова А. Д., Гайсина А. А. Анализ динамики снежного покрова ледника Большой Азау (Кабардино-Балкария) по данным дистанционного зондирования и метеонаблюдений (2018–2024 гг.) // Наука. Инновации. Технологии. 2025. №4. С. 85–104. <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.4.4>

Благодарности: авторы выражают благодарность благотворительному фонду «Возрождение природы» за финансовую поддержку исследования.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке благотворительного фонда «Возрождение природы».

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 09.08.2025;
одобрена после рецензирования 27.11.2025;
принята к публикации 12.12.2025.

1.6.21. Geocology (Geographical Sciences)

Research article

Analysis of snow cover dynamics of the Bolshoy Azau glacier (Kabardino-Balkaria) using remote sensing and meteorological data (2018–2024)

Natalia E. Ryazanova^{1*},
Anastasia D. Kurakova^{2*},
Aislyu A. Gaisina^{3*}

^{1, 2, 3} Moscow State Institute of International Relations (76/1 Vernadskogo Ave., Moscow, 119454, Russia)

¹ n.riazanova@inno.mgimo.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9439-0537>

² akurkova@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0002-8226-6517>

³ aisily.04@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0003-9632-8755>

* Corresponding author

Abstract.

The study analyzes the long-term dynamics of the snow cover of the Bolshoy Azau Glacier, located in the

Kabardino-Balkarian Republic. The research covers the period from 2018 to 2024 and is based on the integration of modern methods of remote sensing (RS) with in-depth statistical analysis of meteorological data. The work involved a detailed calculation of the Normalized Difference Snow Index (NDSI), derived from long-term series of aerial photographs and satellite system data. As a result, a clear and persistent negative trend was identified, characterized by a sharp reduction in the area and duration of winter snow cover. It was established that the regression occurs at a stable average rate of approximately 0.04 NDSI units per year, indicating intensive ablation. At the same time, summer seasonal changes do not show statistically significant dynamics, remaining within the limits of interannual variability. Parallel climatic analysis revealed a significant increase in average annual and seasonal temperatures, particularly during the critical summer months, as well as a notable decrease in winter precipitation volumes, which disrupts the mass balance of the glacier. These interconnected climatic factors comprehensively and irreversibly influence the acceleration of glacier degradation, reducing its volume and area. The obtained results once again underscore the critical importance of establishing continuous systematic cryospheric monitoring and the urgent development of strategic adaptation measures. Such actions are necessary to mitigate the growing environmental and socio-economic risks directly associated with the intense transformation of the glacial cover in the vulnerable mountain environment of the North Caucasus.

- Keywords:** glacier degradation, remote sensing, avalanches, climate, mountain ecosystems, Kabardino-Balkaria, Bolshoy Azau
- For citation:** Riazanova NE, Kurakova AD, Gaisina AA. Analysis of Snow Cover Dynamics of the Bolshoy Azau Glacier (Kabardino-Balkaria) Using Remote Sensing and Meteorological Observation Data (2018–2024). *Science. Innovations. Technologies.* 2025;(4): 85–104. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2308-4758.2025.4.4>
- Funding:** this study was performed with the financial support of the Revival of Nature Charitable Foundation.
- Acknowledgments:** the authors express their gratitude to the Nature Revival Charitable Foundation for the financial support of this research.
- Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 09.08.2025;
approved after reviewing 27.11.2025;
accepted for publication 12.12.2025.

Введение

По данным Росгидромета за период с 1957 по 2023 годы, одним из наиболее интенсивно деградирующих ледников на территории Северного Кавказа является ледник Большой Азау, расположенный на южных склонах Эльбруса (Геогр. координаты: 43.28° с.ш., 42.44° в.д.) [1]. Этот ледник, являющийся крупнейшим в Кабардино-Балкарской Республике, представляет собой значимый природный объект, а также популярную туристическую зону региона [2]. Однако в последние десятилетия наблюдается ускорение динамики сокращения его снежного покрова. В ряду последствий этого выделяется рост случаев обвально-осыпных процессов. Обвально-осыпные процессы широко распространены в пределах Приэльбрусья, особенно на большей части склонов долин рек Баксан, Азау, Адыл-Су, Юсенги [3]. Опасность этих явлений для местного населения и туристов обуславливает необходимость в изучении причин изменения горных экосистем.

С начала 1960-х годов фиксируются многочисленные крупномасштабные лавинные процессы на леднике Большой Азау [4], отличающиеся высокой степенью непредсказуемости по шкале, скорости и периодичности проявлений [4], что усложняет разработку эффективных профилактических и защитных мер. Так, в 2005 году сход лавины привёл к разрушению электроподстанции «Терскол» ОАО «Каббалкэнерго», вызвав длительные перебои в энергоснабжении региона с материальным ущербом свыше 10 млн рублей [5]. В 2015 году произошло крупное отложение рыхлообломочного материала в долине реки Терскол площадью около 2800 тыс. м² и высотой насыпи 150–170 м [6].

Летние и зимние температурные условия и осадочный режим являются факторами лавинообразования [4, 6, 7, 8]. В рамках данного исследования рассматривается связь между приведенными климатическими факторами и деградацией ледникового покрова, в целях оценки лавинопасности района. На основании этого основная цели настоящей работы:

- определить изменение площади снежного покрова ледника Большой Азау за период 2018–2024 гг. с использованием аэрофотоснимков и спутниковых данных;

- сопоставить данные изменения площади ледника с данными климатических параметров региона за период с 2020–2024 гг. и обсудить возможную связь между ними.

По данным мониторинга Росгидромета, за период с 2011 по 2021 год площадь ледника Большой Азау уменьшилась на 2,21 км² с первоначальной площади 18,4 км² и длиной 9,2 км (рис. 1) [1]. Исторические данные фиксируют максимальное продвижение языка ледника в долине реки Баксан в период 1849–1876 гг., когда нижняя граница достигла отметки ниже 2300 м над уровнем моря [7, 8]. За период 1957–1978 гг. ледник отступил более чем на 1300 м, а с 1986 по 2000 год – на 1200 м [8].

В этом контексте дополнительно важны геохимические процессы, подчеркивающие роль химического состава и свойств горных пород и почв в формировании устойчивости ледникового покрова. Геохимические поля почв и горных пород Большого Кавказа отражают длительную эволюцию ландшафта, которая оказывает влияние на гидрологические условия и скорость деградации ледников. Изменения в химическом составе почвы и литогенных компонентов влияют на водный баланс, регулируя процессы водопроницаемости и аккумуляции влаги, что, в свою очередь, влияет на темпы таяния и накопления льда [9].

Статистические исследования климатических условий региона фиксируют тенденцию к росту средних температур и экстремальных значений. В частности, с 1961 по 2020 годы летняя средняя температура в поселке Терскол увеличилась на 0,31 °C за десять лет, что влияет на динамику ледников [10] [11] [12]. Период с 2001–2021 гг. характеризовался развитием деградацией оледенения ледника, а также ростом скоростью годовой температуры в Терсколе увеличилась (0,70°C/10 лет) [11]. В том числе наблюдался рост зимних (0,16°C/год) и весенних (0,08°C/10 лет) температур [10]. Анализ продолжения деградации ледникового покрова в рамках международного проекта GLIMS показал, что средняя скорость сокращения площади ледников Эльбруса возросла с 0,034 км²/год (1986–2000 гг.) до 0,16 км²/год (2000–2014 гг.), свидетельствуя о значительном ускорении процессов таяния [12]. Древние оледенения и трансфор-

мация высотной поясности связаны с ростом природных опасностей, таких как лавины и сели, что подтверждает данные об ухудшении состояния ледника Большой Азау [13].

Исследование данной проблематики является актуальной не только с теоретической точки зрения, но и с позиции разработки практических мер по снижению экологических и инфраструктурных рисков, обеспечению безопасности населения и устойчивого развития горных территорий.

Материалы и методы исследований

В данном исследовании использованы методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и комплексный анализ метеорологических данных с целью создания картографических материалов, отражающих динамику снежного покрова ледника Большой Азау за период 2018–2024 гг. В качестве источника данных применены аэрофотоснимки, космоснимки платформы Google Earth Pro и мультиспектральные снимки Landsat-9 (USGS). Критерии отбора изображений включали: 1) высокое пространственное разрешение (≤ 10 м), 2) наличие атмосферной коррекции уровня L2A, 3) облачность не более 20%, 4) даты съёмки с 1 января 2018 г по 1 января 2024 г.

Для анализа сезонной динамики снежного покрова для каждого года исследования отбирались снимки за летний (июнь–август) и зимний (декабрь–февраль) периоды. Обработка данных выполнена с использованием ГИС-пакета QGIS версии 3.42.1 с применением полуавтоматизированных методов классификации. Выделение снежного покрова на космоснимках осуществлено посредством нормализованного разностного снежного индекса (NDSI), рассчитанного по формуле:

$$\text{NDSI} = (\text{BAND 3} - \text{BAND 6}) / (\text{BAND 3} + \text{BAND 6}),$$

где BAND 3 – зелёная зона спектра (560 нм);

BAND 6 – SWIR-канал (1610 нм).

Для корреляции изменений снежного покрова с климатическими параметрами результаты расчёта NDSI сопоставлены

с данными гидрометеорологической службы посёлка Терскол за 2020–2024 гг. [14].

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе выполнения исследования был сформирован комплект из 20 картографических материалов, отображающих распределение NDSI на леднике Большой Азау за период 2018–2024 гг. Значения NDSI варьируются в диапазоне от -1 до $+1$, где показатели выше $0,4$ указывали на наличие снежного покрова, а отрицательные значения сигнализировали о его отсутствии. Примеры таких материалов, отражающих распределение индекса NDSI с использованием комбинаций каналов 7–5–3 и 3–2–1 за летний и зимний периоды 2018 года, представлены на рисунках 2, 3, 4.

Полученные данные продемонстрировали колебания NDSI в диапазоне от $0,50$ до $-0,25$, что свидетельствует о сохранении снежного покрова, однако с тенденцией к его постепенному сокращению. Линейный тренд изменения зимних значений индекса ($y = -0,0435x + 0,1971$) отражает устойчивое снижение со средней скоростью около $0,04$ единицы в год. Если в период 2015–2017 гг. зимние значения NDSI превышали $0,25$, то к 2024 году они приблизились к нулевой отметке, указывая на деградацию снежного покрова. Коэффициент корреляции Пирсона (r) между значениями зимнего NDSI и временным рядом (годы 2018–2024) оказался равен $-0,89$, что свидетельствует о сильной обратной связи между временем и индексом снежного покрова. Полученный коэффициент $p=0,005$ подтверждает статистическую значимость отрицательного тренда снижения зимних значений NDSI на уровне значимости $0,01$.

Летние значения индекса преимущественно находились в отрицательной области (от $0,40$ до $-0,60$), что соответствует типичному сезонному таянию снега. Несмотря на формально наблюдаемый положительный тренд летних значений ($y = 0,033x - 0,05$), он не носит климатически значимого характера, поскольку значения остаются в отрицательном диапазоне. Для летних значений NDSI коэффициент корреляции был заметно ниже – $r = 0,18$, при $p = 0,67$, что указывает на отсутствие статистически значимой тенденции изменения снежного покрова летом на исследуемом промежутке.

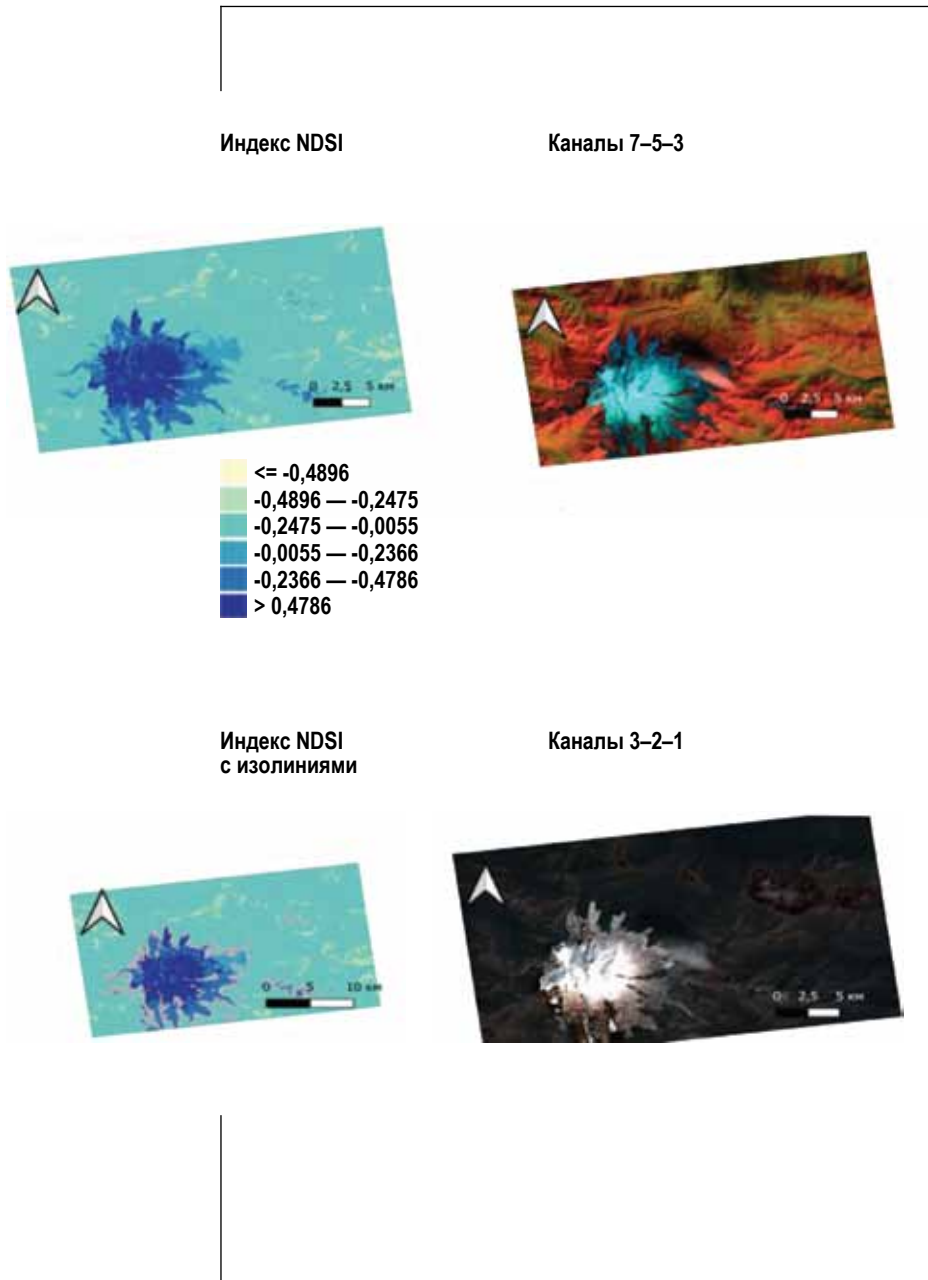


Рис. 2.

Картографический материал с индексом NDSI (комбинации каналов 7-5-3 и 3-2-1) за летний период 2018 г.

Fig. 2. Cartographic material with the Normalized Difference Snow Index (NDSI) (band combinations 7-5-3 and 3-2-1) for the summer period of 2018.

Источник: составлено авторами в приложении "Qgis".

Source: compiled by the authors in the Qgis app.

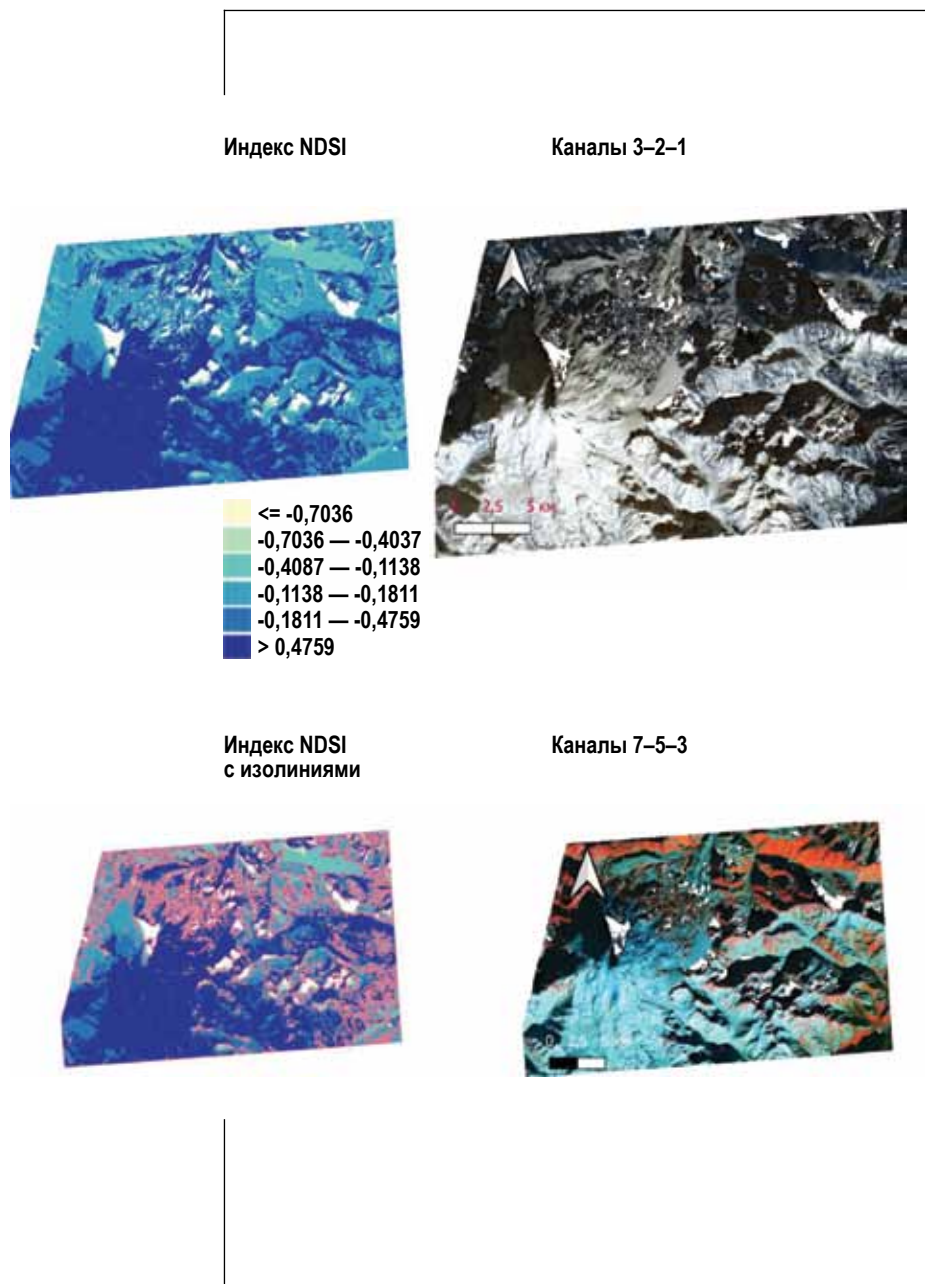


Рис. 3. Картографический материал с индексом NDSI (комбинации каналов 7-5-3 и 3-2-1) за зимний период 2018 г.

Fig. 3. Cartographic material with the Normalized Difference Snow Index (NDSI) (band combinations 7-5-3 and 3-2-1) for the winter period of 2018.

Источник: составлено авторами в приложении "Qgis".

Source: compiled by the authors in the Qgis app.

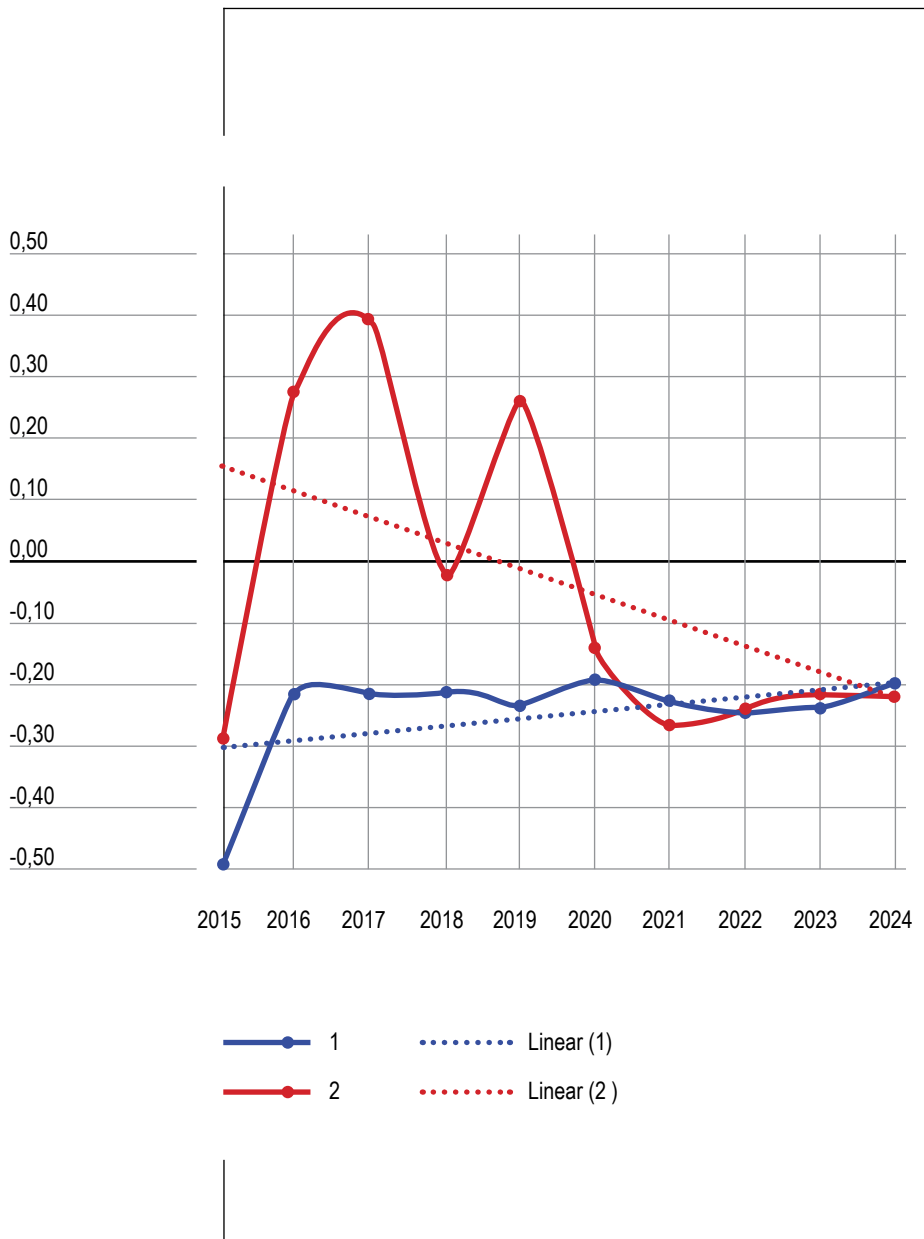


Рис. 4. Изменение средних значений индекса NDSI в зимнее (1) и летнее (2) время с 2018 по 2024 г.

Fig. 4. Changes in average values of the NDSI during the winter (1) and summer (2) periods from 2018 to 2024.

Источник: составлено авторами.
Source: compiled by authors.

Особое значение имеют снежный и ледниковый покров, регулирующие водный баланс горных территорий, а также формирующие микроклимат и обеспечивающие устойчивость экосистем. Сокращение снежного покрова и деградация ледников приводит к изменениям в гидрологическом режиме – например, к снижению летних стоков, изменению плоскостных и селевых процессов, что непосредственно влияет на традиционные методы землепользования и облик культурных ландшафтов. Природные факторы воздействуют не только на ландшафтную структуру и функции, но и тесно связаны с этнокультурным развитием населения, так как традиционные хозяйственные практики адаптированы к естественным условиям. [15]

Для оценки связи между динамикой снежного покрова и температурным режимом был проведён анализ сезонного хода температуры воздуха в поселке Терскол за период 2020–2024 гг. (табл. 1, рис. 5).

Таблица 1. СЕЗОННЫЙ ХОД СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В ПОСЕЛКЕ ТЕРСКОЛ (2020–2024 ГГ.). ДАННЫЕ СОСТАВЛЕНЫ АВТОРАМИ НА БАЗЕ ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ [15]
Table 1. Seasonal variation of mean air temperatures in the settlement of Terskol (2020–2024). Data compiled by the authors based on open sources

Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Среднее значение по году	Максимальные значения	Минимальные значения
2020	-7,5	-6,4	0,0	0,8	7,6	11,6	13,9	10,8	11,2	7,1	-2,2	-5,6	3,4	13,9	-6,4
2021	-4,6	-4,2	-5,9	3,1	8,7	12,3	13,2	13,3	7,2	2,5	-0,3	-4,7	3,4	13,3	-5,9
2022	-6,8	-5,1	-7,3	3,7	5,9	11,2	12,6	14,8	10,0	4,3	0,5	-4,9	3,2	14,8	-7,3
2023	-7,0	-8,2	0,4	3,1	6,6	11,1	13,0	15,1	9,6	5,0	1,4	-1,5	4,1	15,1	-8,2
2024	-6,4	-3,5	-1,5	7,4	5,7	13,0	13,2	13,6	10,2	3,2	-2,1	-5,5	4,0	13,6	-5,5
Среднее значение по месяцам	-6,4	-5,5	-2,9	3,6	6,9	11,8	3,2	13,5	9,6	4,4	-0,5	-4,4	3,6	14,1	-6,7

Источник: составлено авторами.
Source: compiled by the authors.

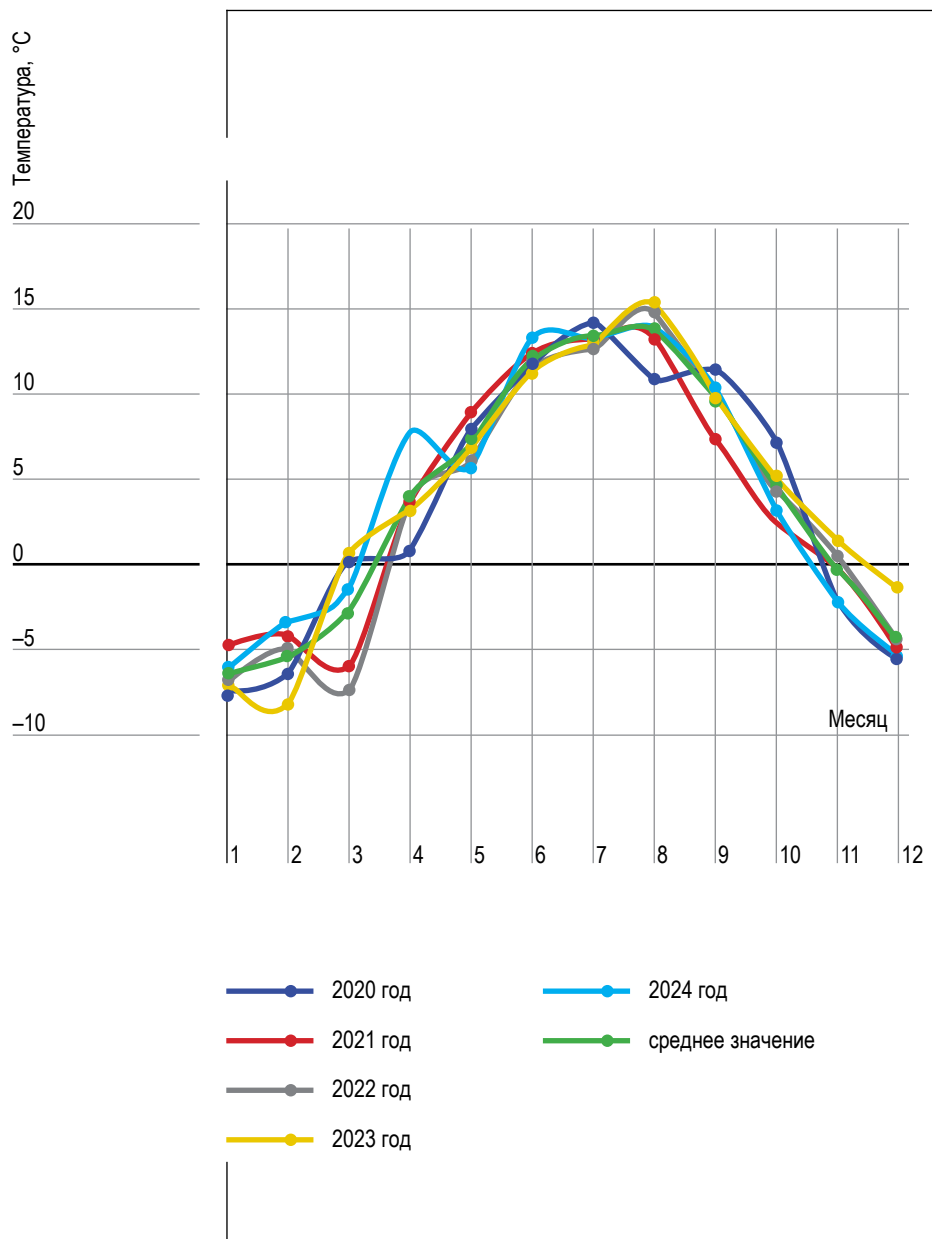


Рис. 5.

Графическое отображение температурного хода в поселке Терскол за 2020–2024 гг., составлено авторами на основе данных [13].

Fig. 5. Graphical representation of the temperature trend in the settlement of Terskol for 2020–2024, compiled by the authors based on data.

Источник: составлено авторами.

Source: compiled by the authors.

Сопоставление данных показывает значительный рост средних температур в августе – с $+13,3^{\circ}\text{C}$ в 2021 году до рекордных $+15,1^{\circ}\text{C}$ в 2023 году, причём максимальное значение августа 2023 года совпадает с минимальным летним показателем NDSI, достигшим $-0,40$ (рис. 4). Анализ данных Росгидромета за период 1991–2020 гг. фиксирует зимние температурные аномалии в районе посёлка Терскол порядка $+1,6^{\circ}\text{C}$ относительно многолетней нормы [1]. Такие тенденции указывают на значительное зимнее потепление, способствующее сокращению снежного покрова. При этом в последние пять лет не наблюдается заметных отрицательных температурных отклонений в зимние месяцы (январь $-6,4^{\circ}\text{C}$, декабрь $-4,4^{\circ}\text{C}$), несмотря на стабильное уменьшение снежного покрова (рис. 4). Это позволяет предположить, что отрицательная динамика индекса NDSI может быть связана преимущественно с сокращением количества осадков. В рамках настоящего исследования отсутствуют данные о динамике сумм осадков из-за их труднодоступности, однако имеющиеся данные Росгидромета по пос. Терскол фиксируют отрицательный тренд зимних осадков ($-0,33$ мм/10 лет) [1]. На основе этого делается вывод, что значимым фактором деградации снежного покрова ледника Большой Азау за последние выступает уменьшение объёма зимних осадков, что в совокупности с повышением температуры ускоряет процессы таяния ледникового покрова.

Заключение

В заключение отметим, что проведенное исследование продемонстрировало тенденцию устойчивого сокращения снежного покрова ледника Большой Азау в период 2018–2024 годов. Анализ результатов NDSI показал значимое снижение зимнего снежного покрова со средней скоростью около 0,04 единицы в год, что статистически подтверждается высокой отрицательной корреляцией ($r = -0,89$, $p = 0,005$). Летние значения NDSI не отличаются аномалиями и оставались преимущественно в отрицательной зоне, отражая традиционный сезонный процесс таяния снега. Анализ гидрометеорологических данных выявил рост средних температур, особенно в августе, где максимальные значения 2023 года ($+15,1^{\circ}\text{C}$) совпали с минимальными летними показателями снежного покро-

ва (-0,40). Таким образом, на основе полученных данных, а также долгосрочных данных Росгидромета и данных других научных исследований можно предполагать комплексное воздействие увеличения температуры воздуха и сокращения зимних осадков на деградацию ледникового покрова Большого Азау. Результаты исследования подчеркивают необходимость продолжения мониторинга и разработки адаптационных мер для смягчения негативных последствий климатических изменений в горной среде Северного Кавказа. Сравнительный анализ социально-экономического развития регионов Северного Кавказа подчеркивает необходимость комплексного управления природными рисками и адаптации к экологическим вызовам [16]

Таяние ледников традиционно вызывает увеличение рисков возникновения лавин, селевых потоков и камнепадов, что существенно повышает угрозу безопасности людей и инфраструктуры в горных районах [17]. Быстрая деградация ледника Большой Азау сопровождается потенциальной угрозой гляциальных селей из-за отколов мертвого льда и активизации опасных природных явлений, усугубленных потеплением и изменением гидрологического режима региона [18]. Кроме того, уменьшение ледникового покрова снижает водные запасы, что влияет на водоснабжение и экосистемы ниже по течению рек, создавая долгосрочные социально-экологические вызовы [19]. Таким образом, результаты подчеркивают важность учета этой взаимосвязи при разработке стратегий адаптации и управления природными рисками в Северном Кавказе, обеспечивая комплексный подход к контролю изменений в горной среде и повышению устойчивости к природным опасностям [20].

Список источников

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. М.: Изд-во МГУ, 2025. 104 с.
2. Мельник А. В., Рототаев Ю. Г., Котляков В. М. Современное состояние и динамика ледников Эльбрусского района по данным дистанционного зондирования // Криосфера Земли. 2021. Т. 25. № 3. С. 56–67.
3. Сейнова И. Б., Золотарев Е. А. Ледники и сели Приэльбрусья (эволюция опеденения и селевой активности). М.: Научный мир, 2001. 203 с.

4. Олейников А. Д., Володичева Н. А. Зимы лавинного максимума на Большом Кавказе за период инструментальных наблюдений (1968–2016 гг.) // Лёд и Снег. 2020. Т. 60, № 4. С. 567–578. <https://doi.org/10.31857/S2076673420040057>
5. Акимов В. А., Соколов Ю. И. Наиболее крупные чрезвычайные ситуации в России и мире в 2005 году // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2014. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/naibolee-krupnye-chrezvychaynye-situatsii-v-rossii-i-mire-v-2005-godu> (дата обращения: 10.09.2025).
6. Активность и опасность проявления обвально-осыпных процессов на территории Кабардино-Балкарской республики / В. В. Разумов, Р. О. Калов, Н. Д. Богданова, Н. В. Разумова, Н. Г. Лиховид // Наука. Инновации. Технологии. 2023. № 4. С. 119–153.
7. Васильчук Ю. К., Чижова Ю. Н., Буданцева Н. А. Быстрое сокращение ледника Большой Азау в Приэльбрусье на фоне стабильных климатических условий и возникающие при этом риски // Геориск. 2010. Вып. 2. С. 16–29.
8. Tashilova A. Analysis of climate change in Terskol over the last 60 years // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 840. 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/840/1/012038>.
9. Дегтярева Т. В., Шальнев В. А., Лысенко А. В. Геохимические поля горных пород и почв Большого Кавказа: эволюционный подход и методы исследования // Устойчивое развитие горных территорий. Владикавказ: Изд-во СКГМИ, 2017. С. 219–230.
10. Современная деградация долинных ледников Центрального Кавказа / М. Ю. Беккиев, М. Д. Докукин, Р. Х. Калов, А. А. Ташилова // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 8. № 3. С. 113–141. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2021-3-113-141>.
11. Возраст морен ледника Большой Азау в верховьях долины реки Баксан по дендрохронологическим данным / О. Н. Соломина, И. С. Бушуева, Н. А. Володичева, Е. А. Долгова // Лёд и Снег. 2021. Т. 61. № 2. С. 271–290. <https://doi.org/10.31857/S2076673421020088>.
12. Strong acceleration of glacier area loss in the Greater Caucasus between 2000 and 2020 / L. G. Tielidze, G. A. Nosenko, T. E. Khromova, F. Paul // The Cryosphere. 2022. Vol.16. P.489–504. <https://doi.org/10.5194/tc-16-489-2022>.

13. Ретроспективная оценка изменений баланса массы ледника Азау (Центральный Кавказ) за 150 лет / В. В. Васюченко, Ю. А. Чижова, А. К. Буданов, М. В. Мухаметов // Лёд и снег. 2010. № 1 (109). С. 19–32.
14. Лысенко А. В. Природные факторы формирования культурных ландшафтов Северного Кавказа // Вестник АПК Ставрополя. 2013. Вып. 4(12). С. 190–193.
15. Официальная страница сайта компании (ООО) «Расписание Погоды» [Электронный ресурс]. URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Терсколе (дата обращения: 09.06.2025).
16. Щитова Н. А., Чихичин В. В. Сравнительный анализ социально-экономического развития регионов Северного Кавказа // Наука. Инновации. Технологии. 2014. № 1. С. 161–174.
17. Всемирная метеорологическая организация (ВМО). Таяние ледников вызовет лавину каскадных последствий [Электронный ресурс] // WMO News. 2025. URL: <https://wmo.int/ru/news/media-centre/tayanie-lednikov-vyzovet-lavinu-kaskadnykh-posledstviy> (дата обращения: 26.11.2025).
18. Васильчук В. В., Чиж В. И., Будько М. В. Быстрое сокращение ледника Большой Азау в Приэльбрусье на фоне стабильных климатических условий и возникающие при этом риски // Геориск. 2010. №2. С. 10–14.
19. Останин Е. А. Экологические последствия деградации ледников Кавказа // Экологический вестник Северного Кавказа. 2025. № 3. С. 45–52. URL: <https://www.geoinfo.ru/product/sluzhba-novostej-geoinfo/kakie-ehkologicheskie-posledstviya-vlechet-za-soboj-ischeznovenie-lednik> (дата обращения: 26.11.2025).
20. Иванов Т. П. Уменьшение водных ресурсов региона как проблема устойчивого развития // Международный исследовательский журнал. 2023. Вып. 1. С. 102-109. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.70>.

References

1. Report on the Features of the Climate on the Territory of the Russian Federation for 2024. M.: Moscow State University Publishing House; 2025. 104 p. (In Russ.).
2. Melnik AV, Rototaev YuG, Kotlyakov VM. Current State and Dynamics of the Glaciers in the Elbrus Region According to

- Remote Sensing Data. *Earth's Cryosphere*. 2021;25(3):56-67. (In Russ.).
3. Seinova IB, Zolotarev EA. Glaciers and Mudflows of the Elbrus Region (Evolution of Glaciation and Mudflow Activity). M.: Nauchnyy Mir; 2001. 203 p. (In Russ.).
 4. Oleinikov AD, Volodicheva NA. Winters of Avalanche Maximum in the Greater Caucasus over the Period of Instrumental Observations (1968-2016). *Ice and Snow*. 2020;60(4):567-578. <https://doi.org/10.31857/S2076673420040057>. (In Russ.).
 5. Akimov VA, Sokolov Yul. The Largest Emergencies in Russia and the World in 2005. *Civil Protection Strategy: Problems and Research*. 2014. No. 1. Available from: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/naibolee-krupnye-chrezvychaynye-situatsii-v-rossii-i-mire-v-2005-godu> (Accessed 10 September 2025). (In Russ.).
 6. Razumov VV, Kalov RO, Bogdanova ND, Razumova NV, Likhovid NG. Activity and Hazard of Rockfall and Talus Processes in the Kabardino-Balkarian Republic. *Science. Innovations. Technologies*. 2023;(4): 119–153. (In Russ.).
 7. Vasilchuk YuK, Chizhova YuN, Budantseva NA. Rapid Reduction of the Bolshoy Azau Glacier in the Elbrus Region Against the Background of Stable Climatic Conditions and the Associated Risks. *Georisk*. 2010;(2):16-29. (In Russ.).
 8. Tashilova A. Analysis of climate change in Terskol over the last 60 years. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 840. 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/840/1/012038>.
 9. Degtyareva TV, Shalnev VA, Lysenko AV. Geochemical Fields of Rocks and Soils of the Greater Caucasus: An Evolutionary Approach and Research Methods. *Sustainable Development of Mountain Territories*. Vladikavkaz: SKGMI Publishing House; 2017. P. 219-230. (In Russ.).
 10. Bekkiev MYu, Dokukin MD, Kalov RKh, Tashilova AA. Modern Degradation of Valley Glaciers of the Central Caucasus. *Fundamental and Applied Climatology*. 2021;8(3):113-141. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2021-3-113-141>. (In Russ.).
 11. Solomina ON, Bushuyeva IS, Volodicheva NA, Dolgova EA. Age of the Bolshoy Azau Glacier Moraines in the Upper Baksan River Valley Based on Dendrochronological Data. *Ice and Snow*. 2021;61(2):271-290. <https://doi.org/10.31857/S2076673421020088>. (In Russ.).

12. Tielidze LG, Nosenko GA, Khromova TE, Paul F. Strong acceleration of glacier area loss in the Greater Caucasus between 2000 and 2020. *The Cryosphere*. 2022;(16):489-504. <https://doi.org/10.5194/tc-16-489-2022>.
13. Vasyuchenko VV, Chizhova YuA, Budanov AK, Mukhametov MV. Retrospective assessment of mass balance changes of the Azau glacier (Central Caucasus) over 150 years. *Ice and Snow*. 2010;109(1):19-32. (In Russ.).
14. Lysenko AV. Natural Factors in the Formation of Cultural Landscapes of the North Caucasus. *Bulletin of APC Stavropol*. 2013;4(12):190-193. (In Russ.).
15. Official website of the company "Raspisanie Pogody" LLC Available from: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Терсколе (Accessed 09 June 2025). (In Russ.).
16. Shchitova NA, Chikhichin VV. Comparative Analysis of Socio-Economic Development of the North Caucasus Regions. *Science. Innovations. Technologies*. 2014;(1):161-174. (In Russ.).
17. World Meteorological Organization (WMO). Melting Glaciers Will Cause an Avalanche of Cascading Consequences WMO News. 2025. Available from: <https://wmo.int/ru/news/media-centre/tayanie-lednikov-vyzovet-lavinu-kaskadnykh-posledstviy> (Accessed 26 November 2025). (In Russ.).
18. Vasilchuk VV, Chizh VI, Budko MV. Rapid Reduction of the Bolshoy Azau Glacier in the Elbrus Region against the backdrop of stable climatic conditions and the risks that arise. *Georisk*. 2010;(2):10-14. (In Russ.).
19. Ostanin EA. Environmental Consequences of the Degradation of the Caucasus Glaciers. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*. 2025;(3):45-52. URL: <https://www.geoinfo.ru/product/sluzhba-novostej-geoinfo/kakie-ehkologicheskie-posledstviya-vlechetsa-soboj-ischeznovenie-lednik> (Accessed 26 November 2025). (In Russ.).
20. Ivanov TP. Reduction of Water Resources in the Region as a Problem of Sustainable Development. *International Research Journal*. 2023;(1):102-109. – <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.70>. (In Russ.).

Информация об авторах

Наталья Евгеньевна Рязанова – кандидат географических наук, доцент кафедры международных комплексных проблем природопользования и экологии МГИМО МИД России.

Анастасия Дмитриевна Куракова – студент 3 курса МГИМО МИД России направления «Экология и природопользования», обладательница гранта «Возрождение природы».

Айсылу Алмазовна Гайсина – студент 3 курса МГИМО МИД России направления «Экология и природопользования», обладательница гранта «Возрождение природы».

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Natalia E. Ryazanova, Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor of the Department of International Complex Problems of Environmental Management and Ecology, MGIMO University

Anastasia D. Kurakova, 3rd year student, Ecology and Environmental Management program, MGIMO University, Russian Federation, holder of the Nature Revival grant

Aisylu A. Gaisina, 3rd year student, Ecology and Environmental Management program, MGIMO University, Russian Federation, holder of the Nature Revival grant

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.