

1.6.18.
УДК 551.578.42
DOI:

НАУКИ ОБ АТМОСФЕРЕ И КЛИМАТЕ
10.37493/2308-4758.2023.3.3

Аджиев А. Х.,
Кондратьева Н. В.,
Юрченко Н. В.,
Шидугов И. Ж.

Высокогорный геофизический институт,
г. Нальчик,
Россия

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ПРИЭЛЬБРУСЬЕ

Введение.

Режим снегонакопления является важным параметром в климатических моделях, в оценке влагозапасов в почве, при расчетах уровня стока, прогноза паводков, а также для изучения загрязнения атмосферы. В связи с глобальным потеплением, наблюдаемым в последние десятилетия, происходят заметные изменения климатических характеристик, влияющих на режим снегонакопления в горах.

Материалы и методы
исследований.

Для анализа и оценки многолетних изменений высоты снежного покрова в работе использовались данные наблюдений за осадками и снежным покровом (с 1951 по 2022 годы) на ближайшей к курорту «Эльбрус» метеорологической станции «Терскол», расположенной на высоте 2100 м над уровнем моря. Материалами исследования являлись многолетние наблюдения за количеством осадков в холодный период года и высотой снежного покрова на метеостанции «Терскол».

С использованием методов статистического анализа по многолетним данным высоты снега за холодный период года были рассчитаны: среднее значение высоты снежного покрова и стандартное отклонение. Получены линейные тренды временного ряда, скорость изменения метеопараметра (высоты снежного покрова), выявлены аномалии относительно среднего значения за 1961 ÷ 1990 годы для каждого исследуемого ряда.

Результаты исследований
и их обсуждение.

Результатами анализа являются закономерности временного хода высоты снежного покрова на метеостанции «Терскол» с 1951 по 2022 годы. Получено, что значение средней высоты снега в полном временном ряду составило 46 см, максимальное значение составило 82 см, минимальное 16 см, среднее отклонение – 15,65 см. Временной ряд высоты снежного покрова характеризуется отрицательным трендом, выраженным линейной зависимостью. Рассчитаны значения аномалий значений высоты снега в различные годы.

Выводы.

Показано, что период с 1951 по 2022 годы режим снегонакопления характеризовался ежегодным убыванием среднегодовой высоты снежного покрова на 0,1 см в год. Получены аномалии высоты снега в различные годы.

Ключевые слова:

снежный покров, осадки, динамика многолетних изменений, линейный тренд, стандартное отклонение, аномалии высоты снежного покрова, плотность снега, режим снегонакопления

Adzhiev A. Kh.,
Kondratieva N. V.,
Yurchenko N. V.,
Shidugov I. Zh.

High-Mountain Geophysical Institute Nalchik,
Russian

Long-Term Dynamics of Snow Cover in the Elbrus Region

Introduction. The snow accumulation regime is an important parameter in climate models, in assessing soil moisture reserves, in calculating the level of runoff, flood forecasting, and also for studying atmospheric pollution. In connection with global warming observed in recent decades, there are noticeable changes in climatic characteristics that affect the regime of snow accumulation in the mountains.

Materials and research methods. To analyze and evaluate long-term changes in snow cover height, we used data from observations of precipitation and snow cover (from 1951 to 2022) at the Terskol meteorological station closest to the Elbrus resort, located at the altitude of 2100 m above the sea level. The materials of the study were long-term observations of the amount of precipitation in the cold season and the height of the snow cover at the Terskol meteorological station. Using the methods of statistical analysis, according to long-term data on snow depth for the cold period of the year, the mean and the standard deviation were calculated. Linear trends were obtained, the rate of change of the meteorological parameter (snow depth), anomalies were revealed relative to the average value for 1961 ÷ 1990 for each of the studied series.

Research results and their discussion. The results of the analysis are the regularities of the temporal course of snow cover height at the Terskol meteorological station from 1951 to 2022. It was found that the value of the average snow depth in the full time series was 46 cm, the maximum value was 82 cm, the minimum – 16 cm, the average deviation was 15,65 cm. The time series of snow cover height is characterized by a negative trend expressed as a linear relationship. The values of anomalies of snow height values in different years are calculated.

Conclusions. It is shown that the period from 1951 to 2022, the snow accumulation regime was characterized by an annual decrease in the average annual snow cover height by 0,1 cm per year. Snow height anomalies were obtained in different years.

Keywords: snow cover, precipitation, long-term dynamics, linear trend, standard deviation, snow depth anomalies, snow density, snow accumulation regime

Введение

Снежный покров в горах является важным ресурсом стока воды в горных реках, а также развития горнолыжных курортов. Он формирует горное оледенение, климат в предгорных районах и оказывает существенное влияние на особенности движения фронтальных процессов. В настоящее время общепризнанными являются глобальные и региональные климатические изменения. Следствием этих изменений является увеличение среднегодовых температур, которые негативно воздействуют на режим снегонакопления. Высокогорным геофизическим институтом мониторинг снежного покрова в горах Центрального Кавказа осуществляется с 50-х годов прошлого столетия. Фундаментальные работы, касающиеся снежного покрова в горах, лавин, ледников и селей, выполнены исследователями института: Сулаквелидзе Г.К., 1960; Залиханов М.Ч., 1984, 2014; Болов В.Р., 1980, 1982, 1986; Багов М.М., 2002; Докукин М.Д., 2014, 2016; Кумукова О.А., 2002 и др. [1, 3-7, 9, 11-13].

В настоящее время идет интенсивное освоение района Приэльбрусье (Кабардино-Балкарская Республика) в рекреационных целях. На южном склоне горы Эльбрус функционирует четыре канатные дороги и более десяти лыжных трасс общей протяженностью 9 км, проектируются пять новых канатных дорог и восемь горнолыжных трасс на юго-восточном склоне Эльбруса. Основным фактором для их эффективного использования является снежный покров и продолжительность его залегания. Наблюдаемые в последние десятилетия заметные изменения климатических характеристик, влияющих на режим снегонакопления в горах, являются основным препятствием рекреационного освоения Приэльбрусья. По мере увеличения среднегодовой температуры воздуха происходит уменьшение среднегодовых снегонакоплений выше нулевой изотермы в горах (3600–3700 м над уровнем моря), что также оказывает негативное воздействие на горное оледенение.

В Докладах [10, 17] об особенностях климата на территории Российской Федерации приводятся результаты исследований по данным инструментальных наблюдений (температура приземного воздуха, атмосферные осадки, высота снежного покрова, протяженность морского льда и др.) за достаточно длительный период време-

ни, которые подтверждают реальность изменения климата и режима снегонакопления (Кешева Л.А., 2011; Ашабоков Б.А., 2018; Ташилова А.А., 2013, 2021) [2, 14-16].

В данной работе проведена оценка динамики многолетних изменений высоты снежного покрова по данным метеорологической станции «Терскол», расположенной у подножия южного склона г. Эльбрус, на высоте 2100 м над уровнем моря. Для анализа были использованы данные наблюдений за осадками и снежным покровом за период с 1951 по 2022 годы.

Материалы и методы исследований

Для исследования многолетней (с 1951 по 2022 годы) динамики снежного покрова использованы характеристики снежного покрова и количество осадков в холодный период года, полученные на метеорологической станции «Терскол».

Твердые осадки в п. Терскол выпадают с ноября по апрель, что определяет возможные сроки лавинной опасности, но с высотой время, когда возможно выпадение осадков в твердом виде, увеличивается. Выше снеговой границы, которая на южном склоне г. Эльбрус проходит на высоте примерно 3 600–3 700 м, в течение всего года выпадают только твердые осадки и сход лавин возможен круглогодично. С мая по октябрь в п. Терскол осадки выпадают в виде дождя. Однако на высоте 3 000 м с конца сентября осадки, как правило, выпадают в виде снега и уже в сентябре отмечается сход первых лавин. Наибольшая повторяемость снегопадов приходится на март – до 20 дней для п. Терскол и до 23 дней для пика Терскол (высота 3 150 м над уровнем моря).

За год в п. Терскол в среднем наблюдается до 100 дней с осадками в твердом виде, а на пике Терскол – 160 дней. Максимальная средняя интенсивность снегопадов достигает 2,5 см/час, что в мировой практике считается критерием возможности образования лавин.

На территории исследования согласно собранному материалу в среднем за зиму 70 дней выпадают твердые осадки. Из них в 90% случаев имеет место слабый снегопад с интенсивностью менее 10 мм/сут. При этом с интенсивностью от 20 до 30 мм/сут в зимний период осадки выпадают 2–3 раза. Чаще они наблюдаются в ноябре. В три

года один раз наблюдаются снегопады с интенсивностью от 30 до 40 мм/сут. Как правило, такие осадки наблюдаются в январе месяце.

На южном склоне г. Эльбрус согласно многочисленным исследованиям (М.Ч. Залиханов, 2014; Н.А. Володичева, 1987 и др.) [8, 12] высота снежного покрова увеличивается с высотой над уровнем моря, достигая значений 300 см, а на подветренных склонах в Приэльбрусье до 500–600 см.

Средняя максимальная высота снежного покрова на южном склоне Эльбруса отмечается с 10 по 20 марта в диапазоне высот 2350–2750 м, с 20 марта по 5 апреля на уровне 2750–3150 м, с 5 по 20 апреля на уровне 3150–3550 м, и примерно к началу мая в диапазоне высот 3550–3950 м. При этом продолжительность устойчивого снежного покрова на высотах выше 2000 м над уровнем моря составляет 6–8 месяцев в году. На высотах 2800–3000 м продолжительность устойчивого залегания снежного покрова доходит до 10 месяцев в году.

С использованием методов статистического анализа по многолетним данным высоты снега за холодный период года рассчитаны среднее значение высоты снежного покрова и его стандартное отклонение. Получены линейные тренды временного ряда высоты снежного покрова, выявлены ее аномалии относительно среднего значения за период с 1961 по 1990 годы для каждого исследуемого ряда.

Результаты исследований и их обсуждение

Ввиду отсутствия фактических данных высоты снега с 1951 по 1980 годы, за основу были взяты данные о количестве осадков за холодный период года (с 1951 по 1980 годы) по метеостанции «Терскол», которые в дальнейшем были переведены в высоту снега (табл. 1).

Перевод количества осадков в высоту снежного покрова произведен по формуле:

$$H = \frac{\rho_{\text{в}} W}{\rho 10}, \quad (1)$$

где H – высота снежного покрова, см;
 W – количество осадков, мм;
 ρ – плотность снега, г/см³;
 $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, г/см³.

Таблица 1. КОЛИЧЕСТВО ОСАДКОВ И РАСЧЕТНАЯ ВЫСОТА СНЕЖНОГО ПОКРОВА (H) ЗА ПЕРИОД С 1952 ПО 1980 ГОДЫ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ «ТЕРСКОЛ»
Table 1. Precipitation and estimated snow depth (H) for the period from 1952 to 1980 according to the Terskol meteorological station

Параметр	Годы													
	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965
W, мм	68	55	57	54	70	57	65	57	58	65	51	103	56	49
H, см	48,8	39,1	40,4	38,6	50,2	40,5	46,5	40,7	41,2	46,5	36,4	73,4	40,3	34,8

Продолжение таблицы 1. Table 1 continued

Параметр	Годы													
	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
W, мм	71	48	72	54	84	65	61	70	75	59	67	64	56	79
H, см	50,9	34,0	51,5	38,5	59,8	46,3	43,3	50,3	53,4	42,3	48,0	45,8	39,9	56,3

Высота снега, см

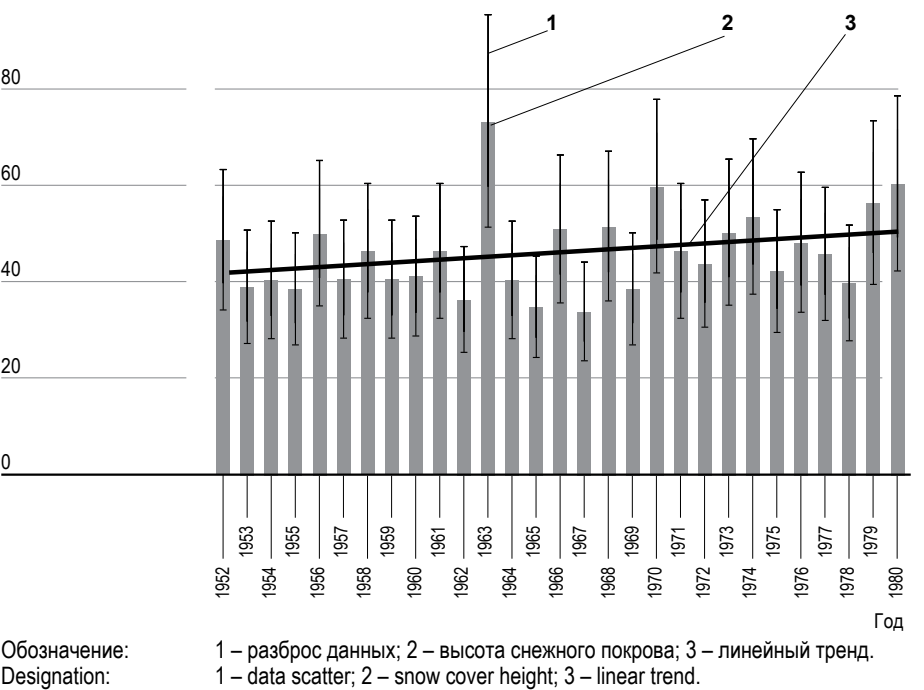


Рис. 1. Расчетная среднемесячная высота снега по значениям количества осадков за период с 1952 по 1980 год.
Fig. 1. Estimated snow height based on precipitation values from 1952 to 1980.

В тихую погоду свежеснег выпавший сухой снег имеет плотность около $0,1 \text{ г/см}^3$, что в пересчете по формуле (1) на 1 мм осадков составляет 1 см толщины снега.

Плотность влажного снега около $0,2 \div 0,3 \text{ г/см}^3$, что в пересчете на 1 мм осадков высота снега составляет $0,5 \div 0,3 \text{ см}$.

При перерасчете количества осадков в высоту снежного покрова было взято усреднённое значение плотности снега, равное $0,14 \text{ г/см}^3$.

Для анализа высоты снега с 1980 по 2022 годы использовались данные по метеостанции «Терскол» (ФГБУ «Северо-Кавказская ВС») (табл. 2).

Исходя из рассчитанных величин, построены диаграммы двух вышеописанных временных участков. Диаграмма первого временного участка представлена на рисунке 1. Она составлена с учетом погрешности около 30 % при расчете высоты снежного покрова.

Определив, что холодный период 1951–1952 гг. охватывает с октября 1951 года по май 1952 года, в дальнейшем для удобства период 1951/1952 гг. записан как 1952 год.

Значение средней высоты снега в представленном временном ряду составляет 46 см, максимальное значение составляет 73 см, минимальное 34 см. Стандартное отклонение расчетной высоты снега вычислялось по следующей формуле:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum (H - \bar{H})^2}{(n - 1)}}, \quad (2)$$

где $\bar{H}$ – выборочное среднее, а
 n – размер выборки.

Исходя из этой формулы, среднее отклонение имеет значение 8,74 см.

Линейный тренд рассчитывался по формуле:

$$H = at + b \quad (3)$$

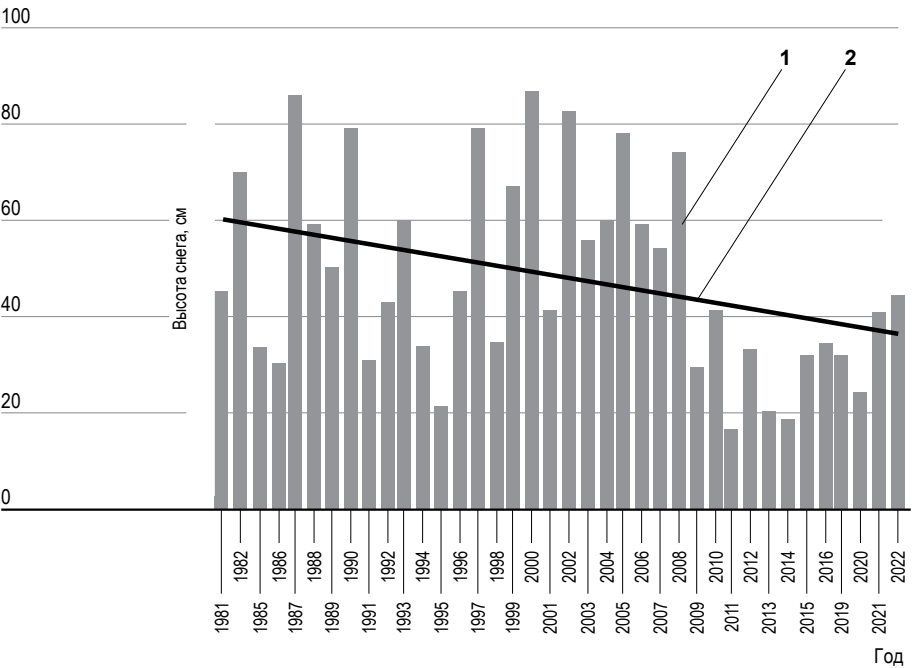
Расчеты показали, что тренд изменения среднесезонной высоты снежного покрова – положительный с коэффициентом $0,29 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$.

Таблица 2. РЕЖИМ СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ С 1981 ПО 2022 ГОДЫ ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ «ТЕРСКОЛ»
Table 1. Snow accumulation regime from 1981 to 2022 according to the Terskol weather station

Высота снежного покрова	Годы																
	1981	1982	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Н, см	43,2	66,3	32,0	28,8	81,3	56,1	47,6	75,2	29,5	40,9	56,7	32,3	20,0	43,5	75,0	32,5	63,8

Продолжение таблицы 2. Continuation of table 2

Высота снежного покрова	Годы																
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2019	2020
Н, см	78,0	53,2	57,2	73,7	56,1	51,0	70,0	28,0	39,4	15,7	31,3	19,2	17,3	30,5	32,7	30,5	23,2



Обозначение: 1 – высота снежного покрова; 2 – тренд временного хода высоты снежного покрова. Designation: 1 – snow cover height; 2 – trend of the temporal course of snow cover height.

Рис. 2. Высота снега по данным метеостанции «Терскол» за период с 1981 по 2022 годы.
Fig. 2. Snow height according to the Terskol weather station for the period from 1981 to 2022.

Выражение для временного хода высоты снежного покрова имеет вид:

$$H = 0,29t + 41,71 \quad (4)$$

где t – номер года с 1952 по 1980 г.

Как видно из рисунка 1, в период с 1952 года имел место ежегодный рост среднегодовых значений высоты снежного покрова. Этот факт также подтверждают результаты, представленные в работе [2]. В частности, в указанной работе отмечается, что в годы 1953, 1954, 1956, 1957, 1971, 1972 на Восточном Кавказе наблюдалось обильное выпадение снега.

Режим снегонакопления с 1981 по 2022 годы представлен в таблице 2.

Ввиду имеющихся данных с метеостанции «Терскол» о высоте снега за период с 1981 по 2022 годы, перевод количества осадков в высоту снега не потребовался.

Используя данные, представленные в таблице 2, построена диаграмма временного хода высоты снежного покрова за период с 1981 по 2022 годы (рис. 2).

Выполненный анализ показал, что данный период характеризуется уменьшением высоты снежного покрова. При этом коэффициент ежегодного уменьшения высоты снежного покрова составляет $-0,59 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$. За данный период уравнение тренда имеет вид:

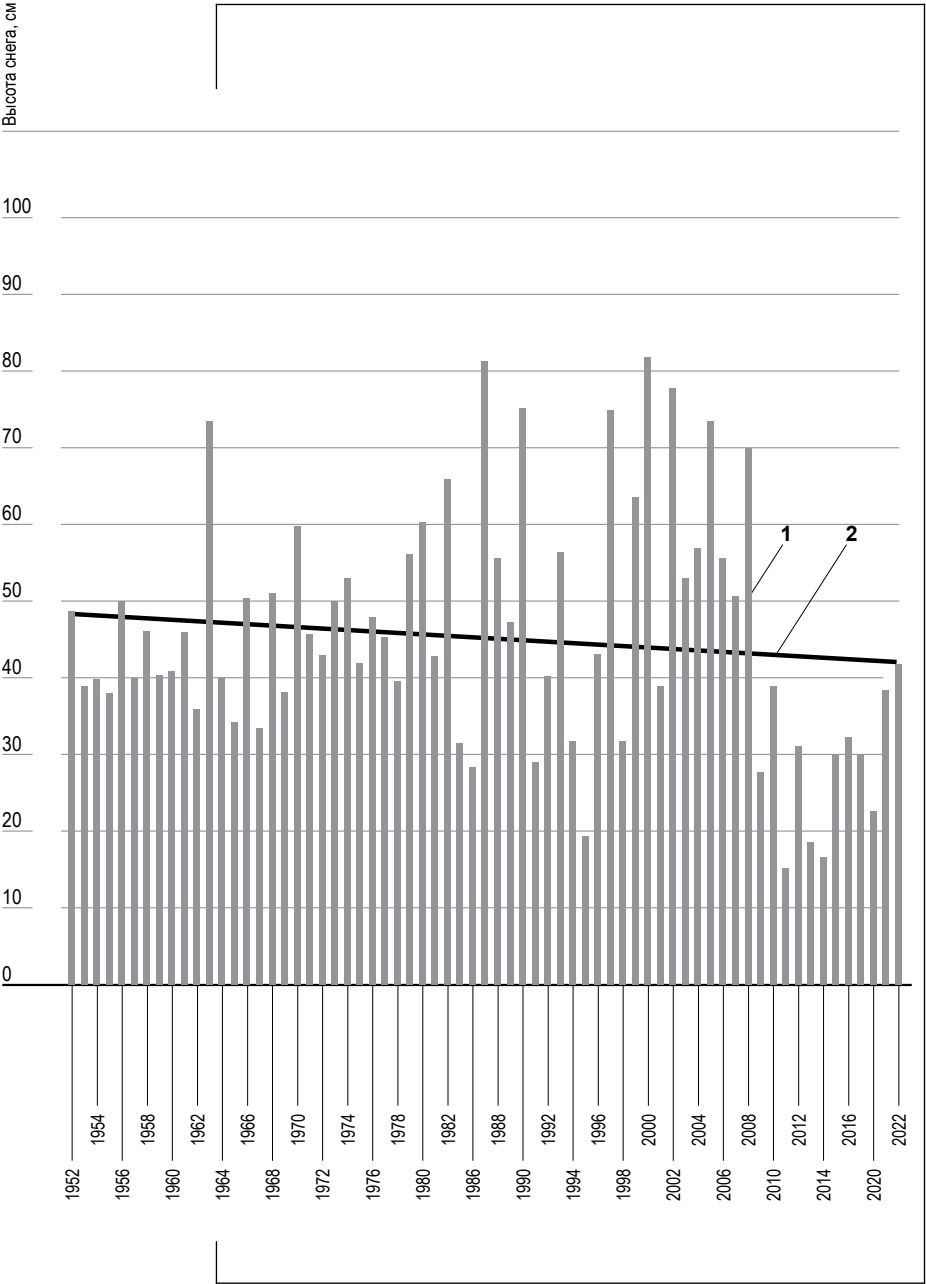
$$H = -0,59t + 57,17 \quad (5)$$

где t – номер года с 1981 по 2022 г.

Значение средней высоты снега в представленном временном ряду составляет 46 см, максимальное значение составляет 82 см, минимальное 16 см.

Стандартное отклонение высоты снежного покрова от среднего значения за этот период составило 19,47 см.

Для анализа полного временного ряда изменения высоты снежного покрова, начиная с 1952 по 2022 годы, данные были объединены в одну диаграмму, представленную на рисунке 3.



Обозначение: 1 – высота снежного покрова; 2 – тренд временного хода высоты снежного покрова. Designation: 1 – snow cover height; 2 – trend of the temporal course of snow cover height.

Рис. 3. Высота снега в полном временном ряду с 1952 по 2022 годы с отраженным линейным трендом.

Fig. 3. Snow depth in the full time series from 1952 to 2022 with a reflected linear trend.

При объединении данных значение средней высоты снега в полном временном ряду составило 46 см, максимальное значение составило 82 см, минимальное 16 см, среднее отклонение составило 15,65 см.

Как видно из рисунка 3, в целом, временной ряд высоты снежного покрова характеризуется отрицательным трендом, выраженной зависимостью:

$$H = -0,095t + 49,09 \quad (6)$$

где t – номер года с 1952 по 2022 г.

На рисунке 4 представлена сумма месячного количества осадков в различные месяцы за период наблюдения с 1952 по 2022 годы. Из данного рисунка видно, что наибольшее количество снега в холодный период года выпадает в феврале и марте.

Климатическая норма высоты снежного покрова, рассчитанная за период с 1961 по 1990 годы по данным метеостанции «Терскол», составила 49 см. Относительно определенного значения была сформирована диаграмма аномалий снежности (рисунок 5).

Как видно из рисунка 5, в целом, временной ряд снежности характеризуется отрицательным трендом, выраженным зависимостью:

$$H = -0,095t + 0,093 \quad (7)$$

Выводы

Определена межгодовая изменчивость среднегодовой высоты снежного покрова на южном склоне г. Эльбрус, которая характеризуется отрицательным значением тренда. Климатическая норма высоты снежного покрова, рассчитанная за период с 1961 по 1990 годы по данным метеостанции «Терскол», составила 49 см.

Относительно полученного значения сформирована диаграмма аномалий снежности, которая имеет отрицательный тренд с годовым коэффициентом $0,095 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$.

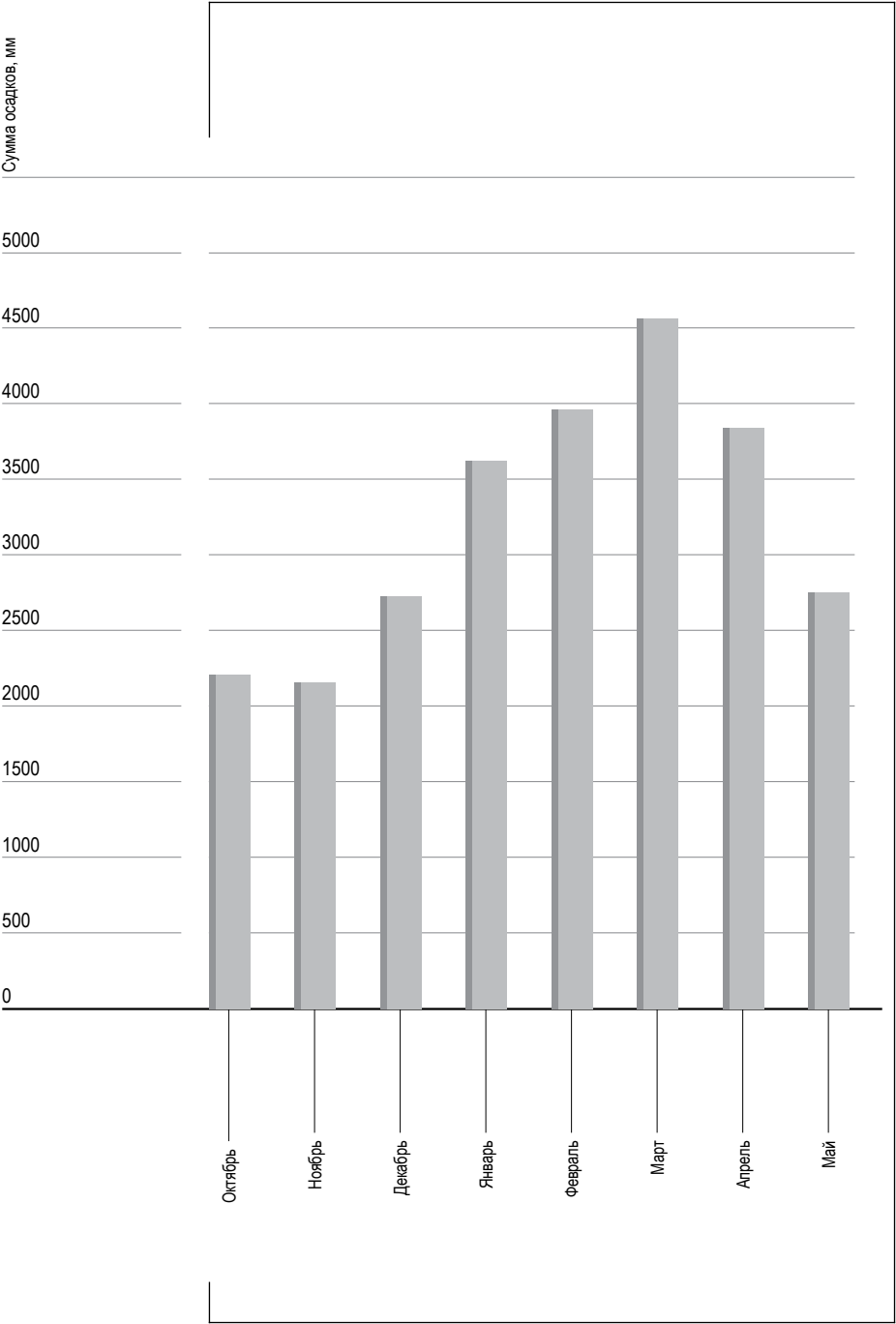
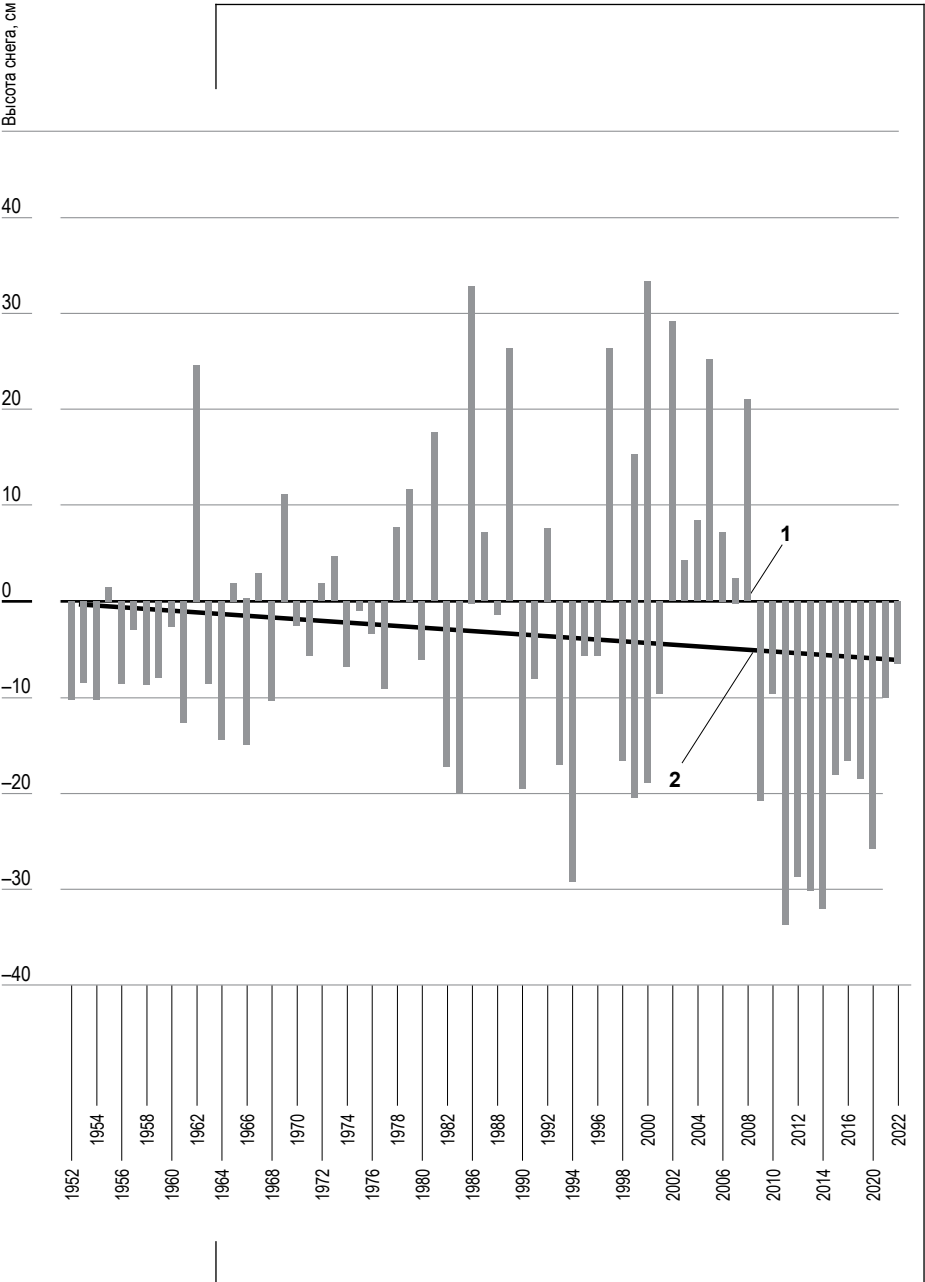


Рис. 4. Сумма месячного количества осадков в различные месяцы за период наблюдения с 1952 по 2022 годы.
Fig. 4. Sum of monthly precipitation in various months over the observation period from 1952 to 2022.



Обозначение: 1 – аномалии снежности, относительно климатической нормы; 2 – тренд временного хода высоты аномалий снежности. Designation: 1 – anomalies of snowiness, relative to the climatic norm; 2 – trend of the temporal course of the height of snow anomalies

Рис. 5. Аномалии высоты снега с 1952 по 2022 годы с отраженным линейным трендом.
Fig. 5. Snow height anomalies from 1952 to 2022 with a reflected linear trend.

Выявлено, что в период с 1952 по 2022 годы среднегодовая высота снежного покрова убывала на 0,1 см в год. Получено выражение для временного хода высоты снежного покрова. При этом наибольшее количество снега – до 82 см – за холодный период года выпадает в феврале и марте месяцев.

Библиографический список

1. Аджиев А.Х., Багов М.М., Докукин М.Д., Маркина Е.И., Теуважуков З.Н., Хаткутов А.В. Отчет по НИР на тему: «Физическое моделирование снежных лавин различных генетических типов и процессов их взаимодействия с препятствиями» // Высокогорный геофизический институт. 1 января 2014 г. 37 с.
2. Ашабоков Б.А., Крученицкий Г.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Шокуев Р.А. Моделирование сезонной и долговременной изменчивости снежного покрова южного федерального округа России // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. СПб., 2018. Вып. 662. С. 22–25.
3. Багов Аз.М., Докукин М.Д., Савернюк Е.А. Особенности деградации ледников Бирджалы-чиран и Чунгурчатчиран северо-восточного подножия Эльбруса и эволюция приледниковых озер за 50 лет // Гляциология в начале XXI века: материалы международной конференции. М.: Университетская книга, 2009. С. 156–161.
4. Багов М.М., Кумукова О.А., Хаджиев М.М. Научно-методическое руководство работами на снеголавинных станциях, наблюдениями за снежным покровом в горах / ГР. 01200304098 (заключительный отчет). Высокогорный геофизический институт. Нальчик, 2002. 11 с.
5. Болов В.Р. Специализированный прогноз лавинной опасности и возможности регулирования снеголавинных явлений // МГИ. 1986. Вып. 56. С. 171–176.
6. Болов В.Р. Структура снега и ее связь с лавинообразованием // МГИ. 1982. Вып. 43. С. 49–55.
7. Болов В.Р., Залиханов М.Ч., Шабельников В.А. О горизонтах разрыхления в толще снежного покрова и их значение в лавинообразовании // ВГИ, 1980. Вып. 46. С. 21–28.
8. Володичева Н.А., Олейников А.Д. Зимы повышенной снежности и лавинной опасности на Большом Кавказе // Снежный покров в горах и лавины. Москва: Академиздатцентр «Наука», 1987. С. 118–125.

9. Гуртовая Е.Е., Сулаквелидзе Г.К., Яшина А.В. Закономерности распределения снежного покрова на Большом Кавказе // География снежного покрова. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 7–19.
10. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. Москва, 2023. 104 с.
11. Докукин М.Д., Калов Х.М., Савернюк Е.А. Аэрокосмический мониторинг разрушительных склоновых и русловых процессов в ледниковой зоне Северного Кавказа // Материалы Международной научно-практической конференции «Влияние изменения климата на состояние ледников и водные ресурсы», приуроченной к проведению 26 сессии Межгосударственного совета по гидрометеорологии стран СНГ, 10–13 сентября 2014 г. Бишкек: КРСУ, 2014. С. 49–51.
12. Залиханов М.Ч. Снежно-лавинный режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа / Официальная и деловая Россия. М. 2014. 612 с.
13. Залиханов М.Ч., Коломыц Э.Г., Панов В.Д., Докукин М.Д. Прогноз изменения климата высокогорных ландшафтов и оледенения Большого Кавказа на ближайшие десятилетия // МГИ., 1984. Вып. 51. С. 152–159.
14. Кешева Л.А., Галаева А.А., Стасенко Д.В. Анализ изменения режима осадков в различных климатических зонах центральной части Северного Кавказа // Актуальные проблемы гидрометеорологии и экологии: Международная научно-техническая конференция, посвященная 90-летию со дня рождения академика Г.Г. Сванидзе (Грузия, 27–29 сентября 2011). Тбилиси, 2011. С. 76–79.
15. Ташилова А.А. Анализ изменений климата в Терсколе за последние 60 лет // Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы (Нальчик, 8-10 сентября 2021). Нальчик: Изд-во «Принт Центр». С. 468–474.
16. Ташилова А.А., Кешева Л.А., Балкарова С.Б., Шогенова М.М., Пшихачева И.Н., Таубекова З.А. Структурный анализ и прогноз зимних осадков методом «Caterpillar»-SSA // Доклады АМАН. 2013. Т. 15. № 1. С. 103–106.
17. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научно-технологии, 2022. 124 с.

References

1. Adzhiev A.Kh., Bagov M.M., Dokukin M.D., Markina E.I., Teuvazhukov Z.N., Khatkutov A.V. Research report on the topic: «Physical modeling of snow avalanches of various genetic types and the processes of their interaction with obstacles». Federal State Budgetary Institution "High Mountain Geophysical Institute" January 1, 2014. 37 p. (In Russ.).
2. Ashabokov B.A., Kruchenitsky G.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Shokuev R.A. Modeling of seasonal and long-term variability of the snow cover of the southern federal district of Russia. Proceedings of the VKA im. A.F. Mozhaisky. SPb., 2018. Issue. 662. P. 22–25. (In Russ.).
3. Bagov Az.M., Dokukin M.D., Savenyuk E.A. Degradation features of the Birdzhaly-chiran and Chungurchatchiran glaciers of the northeastern foot of Elbrus and the evolution of glacial lakes over 50 years. Glaciology at the beginning of the XXI century: materials of the international conference. M.: Universitetskaya kniga, 2009. P. 156–161. (In Russ.).
4. Bagov M.M., Kumukova O.A., Khadzhiev M.M. Scientific and methodological management of work at snow avalanche stations, observations of snow cover in the mountains. GR. 01200304098 (final report). Alpine Geophysical Institute. Nalchik, 2002. 11 p. (In Russ.).
5. Bolov V.R. Specialized forecast of avalanche danger and the possibility of regulating snow avalanches. MGI. 1986. Issue. 56. P. 171–176. (In Russ.).
6. Bolov V.R. The structure of snow and its connection with avalanche formation. MGI. 1982. Issue. 43. P. 49–55. (In Russ.).
7. Bolov V.R., Zalikhanov M.Ch. and Shabel'nikov V.A. On loosening horizons in the thickness of the snow cover and their significance in avalanche formation. VGI, 1980, Issue. 46. P. 21–28. (In Russ.).
8. Volodicheva N.A., Oleinikov A.D. Winters of increased snowiness and avalanche danger in the Greater Caucasus // Snow cover in the mountains and avalanches. Moscow: Akademizdatssentr «Nauka», 1987. P. 118–125. (In Russ.).
9. Gurtovaya E.E., Sulakvelidze G.K., Yashina A.V. Patterns of distribution of snow cover in the Greater Caucasus. Geography of snow cover. M.: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1960. P. 7–19. (In Russ.).
10. Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2022. Moscow, 2023. 104 p. (In Russ.).

11. Dokukin M.D., Kalov Kh.M., Savenyuk E.A. Aerospace monitoring of destructive slope and channel processes in the glacial zone of the North Caucasus. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «The Impact of Climate Change on the State of Glaciers and Water Resources», timed to coincide with the 26th session of the Interstate Council for Hydrometeorology of the CIS countries, 10–13 September, 2014. Bishkek: KRSU, 2014. P. 49–51. (In Russ.).
12. Zalikhanov M.Ch. Snow-avalanche regime and prospects for the development of the mountains of the Greater Caucasus. Official and Business Russia. M., 2014. 612 p. (In Russ.).
13. Zalikhanov M.Ch., Kolomyts E.G., Panov V.D., Dokukin M.D. Forecast of climate change in high-mountain landscapes and glaciation of the Greater Caucasus for the next decades. MGI., 1984. Issue. 51. P. 152–159. (In Russ.).
14. Kesheva L.A., Galaeva A.A., Stasenko D.V. Analysis of changes in the precipitation regime in different climatic zones of the central part of the North Caucasus. Svanidze (Georgia, September 27–29, 2011). Tbilisi, 2011. P. 76–79. (In Russ.).
15. Tashilova A.A. Analysis of climate change in Terskol over the past 60 years. Reports of the All-Russian Open Conference on Cloud Physics and Active Influences on Hydrometeorological Processes. Nalchik, September 8–10, 2021. Nalchik: Print Center Publishing House. P. 468–474. (In Russ.).
16. Tashilova A.A., Kesheva L.A., Balkarova S.B., Shogenova M.M., Pshikhacheva I.N., Taubekova Z.A. Structural analysis and forecast of winter precipitation using the Caterpillar-SSA method. Doklady AMAN. 2013. Vol. 15. No. 1. P. 103–106. (In Russ.).
17. Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary. St. Petersburg: Science-intensive technologies, 2022. 124 p. (In Russ.).

**Статья поступила в редакцию 20.03.2023,
статья одобрена после рецензирования 25.07.2023,
статья принята к публикации 26.08.2023.**

**The article was submitted to the editorial office 20.03.2023,
the article was approved after reviewing 25.07.2023,
the article was accepted for publication 26.08.2023.**

Информация об авторах

- Аджиев Анатолий Хабасович**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом стихийных явлений, Высокогорный геофизический институт, КБР, г. Нальчик, Scopus ID: 57204526436.
E-mail: adessa1@yandex.ru.
- Кондратьева Наталия Владимировна**, доктор географических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела стихийных явлений, Высокогорный геофизический институт, КБР, г. Нальчик. E-mail: kondratyeva_nat@mail.ru.
- Юрченко Наталья Владимировна**, младший научный сотрудник лаборатории атмосферного электричества, Высокогорный геофизический институт, КБР, г. Нальчик.
E-mail: ynatalya64@mail.ru.
- Шидугов Ислам Жирасланович**, инженер лаборатории гляциологии, Высокогорный геофизический институт, КБР, г. Нальчик. E-mail: shidugovislam@mail.ru.

Information about the authors

- Anatoly K. Adzhiev**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Natural Phenomena, High-Mountain Geophysical Institute, KBR, Nalchik, Scopus ID: 57204526436.
E-mail: adessa1@yandex.ru.
- Natalia V. Kondratyeva**, Doctor of Geography, Associate Professor, Senior Researcher, Department of Natural Phenomena, High-Mountain Geophysical Institute, KBR, Nalchik.
E-mail: kondratyeva_nat@mail.ru.
- Natalya V. Yurchenko**, Junior Researcher, Laboratory of Atmospheric Electricity, High-Mountain Geophysical Institute, KBR, Nalchik, E-mail: ynatalya64@mail.ru.
- Islam Z. Shidugov**, engineer of the laboratory of glaciology of the High-Mountain Geophysical Institute, KBR, Nalchik.
E-mail: shidugovislam@mail.ru.