

Межгодовая динамика высоты снежного покрова в Приэльбрусье и особенности лавинной активности

*Аджиев А.Х., д. физ.-мат. н., проф., ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», зав. отд. стихийных явлений,
г. Нальчик, Россия*

SPIN-код: 2674-6554

*Шидугов И.Ж., ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», инженер лаборатории гляциологии,
г. Нальчик, Россия*

SPIN-код: 8680-8743

*Юрченко Н.В., ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», м. н. с. лаборатории атмосферного электричества,
г. Нальчик, Россия*

SPIN-код: 3041-5040

Аннотация

Состояние снежного покрова является существенным фактором для определения готовности и лавинной безопасности в зимний сезон многочисленных горнолыжных трасс на южном склоне горы Эльбрус.

Для анализа и оценки многолетних изменений высоты снежного покрова в статье использовались данные наблюдений за осадками и снежным покровом (с 1951 по 2022 год) на ближайшей к курорту «Эльбрус» метеорологической станции «Терскол», расположенной на высоте 2100 м над уровнем моря.

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.

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

Введение

Район Приэльбрусье является одним из лавиноактивных на территории Российской Федерации [4], а также он относится к числу наиболее изученных районов России с точки зрения лавинной опасности. Первые работы по регистрации лавин в верховьях р. Баксан были начаты Гидрометслужбой СССР в 1950 годы. В 1955 году начато систематическое изучение условий формирования лавин в долинах рек Баксан, Азау, Терскол, Донгузорун, а с 1962 года — в долинах рек Адылсу, Шхельда, Юсеньга. Наземные и аэровизуальные измерения высоты снега в долине р. Баксан осуществлялись подразделениями Гидрометслужбы на стационарных маршрутах по снегомерным рейкам. Систематические наблюдения за снежными лавинами продолжили сотрудники Высокогорного геофизического института (Нальчик), организованного в 1961 году. В 1957 году в период проведения Международного геофизического года была создана Эльбрусская учебно-научная станция Географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, на которой проводились наблюдения за широким комплексом процессов, в том числе режимные наблюдения за лавинами в верховьях р. Баксан.

Результаты снеголавинных исследований в Приэльбрусье опубликованы в многочисленных работах. В первую очередь это труды Тушинского Г. К. [11, 12], Залиханова М. Ч. [4, 5], Трошкиной Е. С. [10], Золотарева Е. А. [6] и др. Выпущены три издания Кадастра лавин СССР (1984, 1986, 1989) [7], Кадастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа [8], сборник «Лавины Приэльбрусья» [10]. Полученные в ходе исследований данные о лавинах и снежном покрове Приэльбрусья использованы при создании «Карты лавиноопасных районов Советского Союза» [9], монографий «Лавиноопасные районы Советского Союза» [11], «География лавин» [3], ряда карт в «Атласе снежно-ледовых ресурсов мира» [1]. Сведения о снежном покрове Приэльбрусья содержатся в работах Погорелова А. В. [13].

Согласно ежегодным отчетам ФГБУ «Северо-Кавказская военная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы», ведущего постоянный мониторинг снегонакоплений и принудительного спуска снежных лавин, имеет место снижение активности лавинопроявлений. Так, за зимний сезон 2021/2022 годов зафиксировано 135 лавин, в том числе 113 самопроизвольно сошедших и 23 принудительно спущенных. За десятилетие эти цифры уменьшились на десять и пять, соответственно. Одной из причин таких изменений является режим снегонакопления в горах. Эта статья посвящена исследованию временной (межгодовой) динамики снегонакопления в районе Приэльбрусья.

Материалы и методы исследований

Для исследования многолетней (с 1951 по 2022 год) 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 горы Эльбрус проходит на высоте примерно 3600–3700 м, в течение всего года выпадают только твердые осадки и сход лавин возможен круглогодично. В сентябре и октябре в п. Терскол осадки выпадают в виде дождя. Однако на высоте 3000 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 3150 м над уровнем моря).

За год в п. Терскол в среднем наблюдается до 100 дней с осадками в твердом виде, а на пике горы 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 осадки с интенсивностью от 20 до 30 мм/сут. в зимний период 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 горы Эльбрус согласно многочисленным исследованиям (М. Ч. Залиханов, 2014; Н. А. Володичева, 1987 и др.) [2, 4] 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 высоте 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 год для каждого исследуемого ряда.

Результаты исследований и их обсуждение

Ввиду отсутствия фактических данных высоты снега с 1951 по 1980 год за основу были взяты данные о количестве осадков за холодный период года (с 1951 по 1980 год) по метеостанции «Терскол», которые в дальнейшем были переведены в высоту снега. Перевод количества осадков в высоту снежного покрова произведен по формуле:

$$H = (\rho_g / \rho) \cdot (W/10), \quad (1)$$

где:

H — высота снежного покрова, см;

W — количество осадков, мм;

ρ — плотность снега, г/см³;
 $\rho_в$ — плотность воды, г/см³.

В тихую погоду свежесыпавший сухой снег имеет плотность около 0,1г/см³, что в пересчете по формуле (1) на 1 мм осадков составляет 1 см толщины снега.

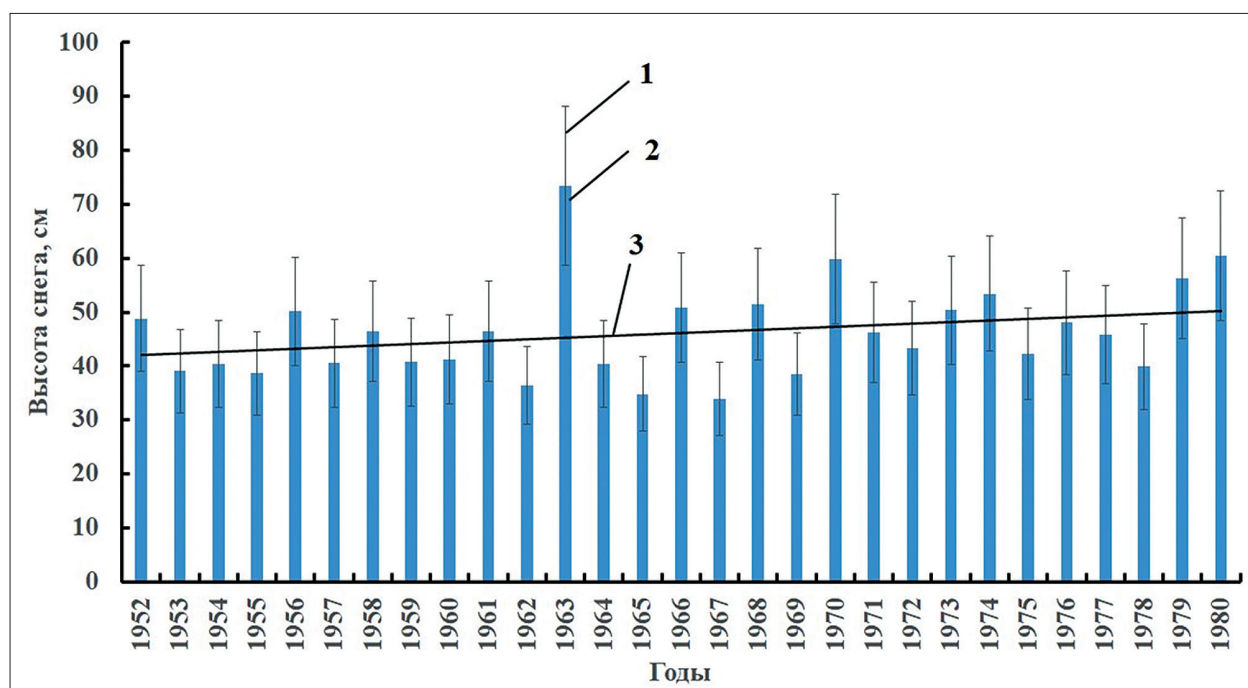
Плотность влажного снега — около 0,2÷0,3 г/см³, что в пересчете на 1 мм осадков высота снега составляет 0,5 ÷ 0,3 см.

При перерасчете количества осадков в высоту снежного покрова было взято усредненное значение плотности снега, равное 0,14 г/см³.

Количество осадков и расчетная высота снежного покрова (H) за период с 1952 по 1980 год, по данным метеостанции «Терскол», представлены в табл. 1.

Для анализа высоты снега с 1981 по 2022 год 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 рис. 1. Она составлена с учетом погрешности около 30% при расчете высоты снежного покрова.



Обозначение: 1 — разброс данных; 2 — высота снежного покрова;
 3 — линейный тренд.

Рис. 1. Расчетная среднемесячная высота снега по значениям количества осадков за период с 1952 по 1980 год

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 — 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 $0,29 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$.

Выражение для временного хода высоты снежного покрова имеет вид:

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

где t — номер года с 1952 по 1980 год.

Как видно из рис. 1, в период с 1952 года имел место ежегодный рост среднегодовых значений высоты снежного покрова. Этот факт также подтверждают результаты, представленные в работе [4]. 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 год представлен в табл. 2.

Таблица 1

**Количество осадков и расчетная высота снежного покрова (Н)
за период с 1952 по 1980 год, по данным метеостанции «Терскोल»**

Пара-метр	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															

Окончание табл. 1

Пара-метр	Годы																												
	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980														
W, мм	71	48	72	54	84	65	61	70	75	59	67	64	56	79	85														
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	60,5														

Таблица 2

Режим снегонакопления с 1981 по 2022 год, по данным метеостанции «Терскोल

Высота снежного покрова	Годы																				
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
H, 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	82,0	39,3		

Окончание табл. 2

Высота снежного покрова	Годы																		
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2019	2020	2021	2022
H, 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	38,8	42,2

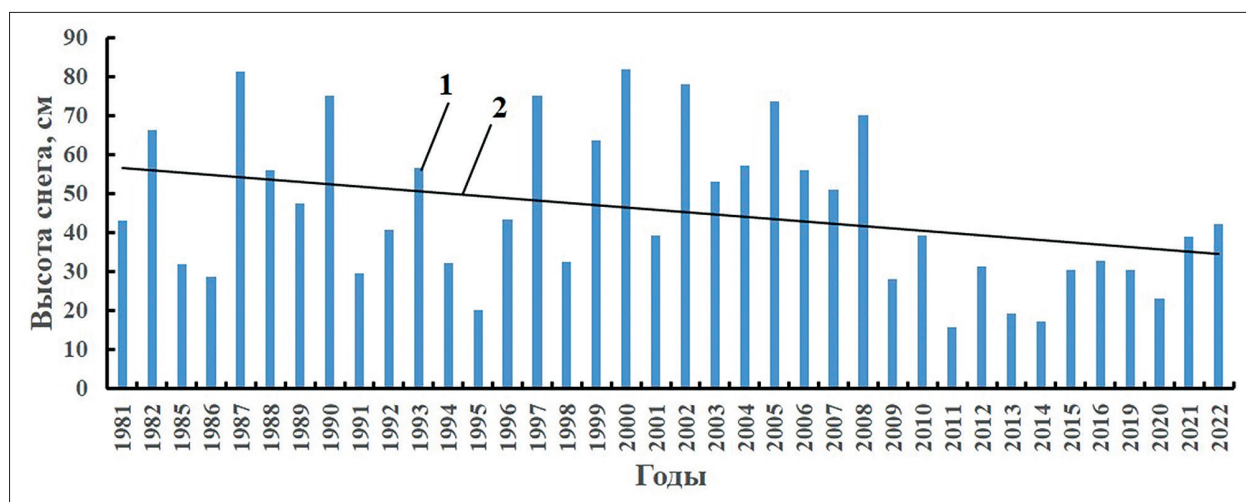
Ввиду имеющихся данных с метеостанции «Терскол» о высоте снега за период с 1981 по 2022 год, перевод количества осадков в высоту снега не потребовался.

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

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

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

где t — номер года с 1981 по 2022 год.



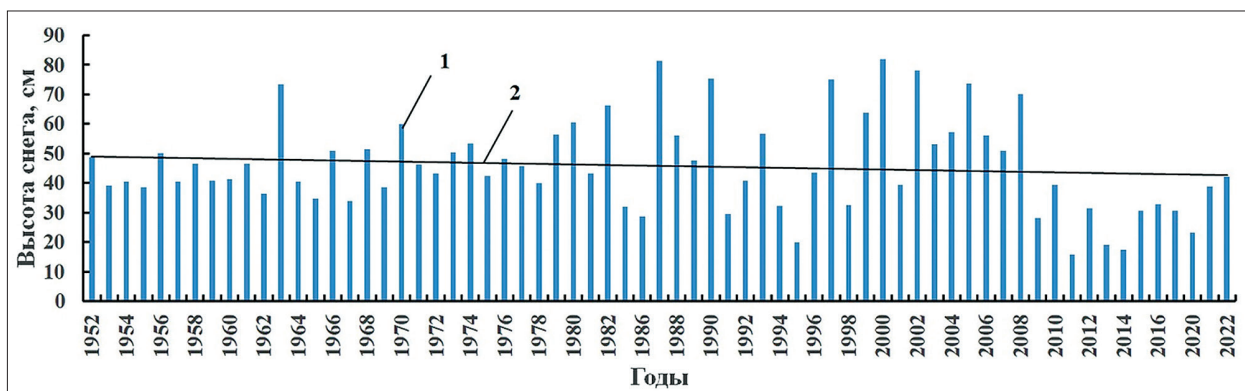
Обозначение: 1 — высота снежного покрова; 2 — тренд временного хода высоты снежного покрова

Рис. 2. Высота снега, по данным метеостанции «Терскол», за период с 1981 по 2022 год

Значение средней высоты снега в представленном временном ряду составляет 46 см, максимальное значение — 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 год, данные были объединены в одну диаграмму, представленную на рис. 3.



Обозначение: 1 — высота снежного покрова; 2 — тренд временного хода высоты снежного покрова

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

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

Как видно из рис. 3, в целом, временной ряд высоты снежного покрова характеризуется отрицательным трендом, выраженным зависимостью:

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

где t — номер года с 1952 по 2022 год.

На рис. 4 представлена сумма месячного количества осадков в различные месяцы за период наблюдения с 1952 по 2022 год. Из данного рисунка видно, что наибольшее количество снега в холодный период года выпадает в месяцы: февраль, март.

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

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

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

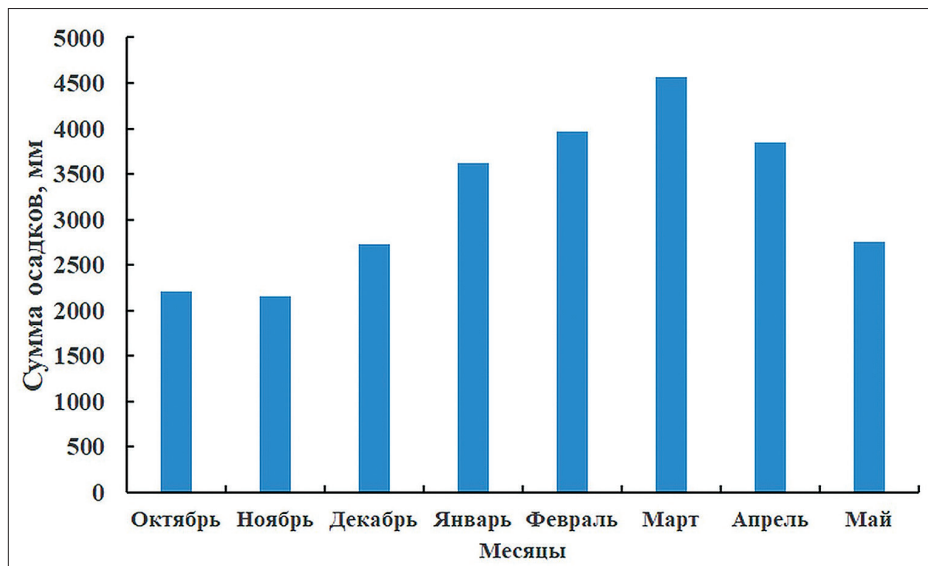
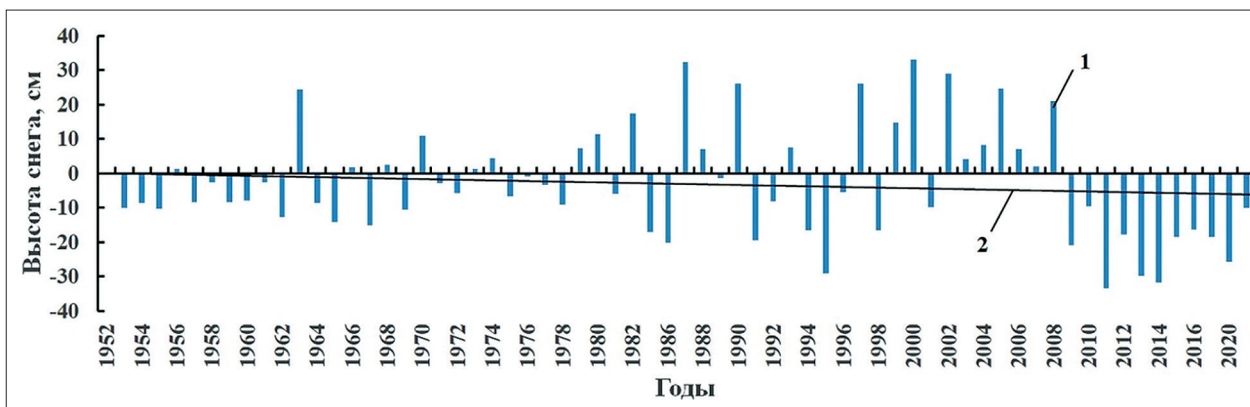


Рис. 4. Сумма месячного количества осадков в различные месяцы за период наблюдения с 1952 по 2022 год



Обозначение: 1 — аномалии снежности относительно климатической нормы;
2 — тренд временного хода высоты аномалий снежности

Рис. 5. Аномалии высоты снега с 1952 по 2022 год с отраженным линейным трендом

Выводы

Основным фактором лавинообразования является формирование снежного покрова. Наблюдаемое снижение лавинной активности в районе Приэльбрусье связано с межгодовым изменением высоты снежного покрова.

Для анализа и оценки многолетних изменений высоты снежного покрова в статье использовались данные наблюдений за осадками и снежным покровом (с 1951 по 2022 год) на метеорологической станции «Герскол», расположенной на высоте 2100 м над уровнем моря, у подножия южного склона горы Эльбрус.

Выявлено, что в период с 1951 по 2022 год среднегодовая высота снежного покрова убывала на 0,1 см в год. Получено выражение для временного хода высоты снежного покрова.

Для определения климатической нормы высоты снежного покрова по метеостанции «Терскол» произведен расчет величины средней высоты снега с 1961 по 1990 год, которая составила 49 см. Относительно полученного значения сформирована диаграмма аномалий снежности за период с 1951 по 2022 год, которая имеет отрицательный тренд с годовым коэффициентом $0,095 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$.

Список использованных источников

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. Т. 2. Кн. 1. М.: ИГ РАН, 1997. 264 с.
2. Володичева Н. А., Олейников А. Д. Зимы повышенной снежности и лавинной опасности на Большом Кавказе // Сб. статей: Снежный покров в горах и лавины. М.: Академиздатцентр «Наука», 1987. С. 118–125.
3. География лавин. М.: Изд-во МГУ, 1992. 334 с.
4. Залиханов М. Ч. Снежно-лавинный режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа. М.: «Официальная и деловая Россия», 2014. 612 с.
5. Залиханов М. Ч. Снежно-лавинный режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа. Ростов-на-Дону: ЮФУ, 1981. 376 с.
6. Золотарев Е. А. Эволюция оледенения Эльбруса. Картографо-аэрокосмические технологии гляциологического мониторинга. М.: Научный мир, 2009. 238 с.
7. Кадастр лавин СССР. Л.: Гидрометеиздат. Т. 8. 1984, 1986, 1989.
8. Кадастр лавинно-селевой опасности Северного Кавказа / Под ред. М. Ч. Залиханова. СПб.: Гидрометеиздат. 2001. 112 с.
9. Карты лавиноопасных районов Советского Союза / Под ред. Г. К. Тушинского. М.: Издательство МГУ, 1971.
10. Лавины Приэльбрусья: Сб. статей / МГУ им. М. В. Ломоносова; под ред. Е. С. Трошкиной. М.: Изд-во МГУ, 1980. 130 с.
11. Лавиноопасные районы Советского Союза / Под ред. Г. К. Тушинского. М.: Изд-во МГУ, 1970. 200 с.
12. Оледенение Эльбруса / Под ред. Г. К. Тушинского. М.: Изд-во МГУ, 1968. 345 с.
13. Погорелов А. В. Снежный покров Большого Кавказа: Опыт пространственно-временного анализа / Отв. ред.: д. г. н. А. Н. Божинский, д. г. н. Э. Г. Коломыц; Кубан. гос. ун-т, Сев.-Кавк. территор. упр. по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М.: Академкнига, 2002. 287 с.