

Метеорология
Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Научная статья

УДК 551.58

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-134-146

**ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА СНЕЖНОГО ПОКРОВА
ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ НАЛЬЧИК**

**Борис Азреталиевич Ашабоков¹, Алла Амарбиевна Ташилова², Лара Асировна Кешева³,
Наталия Вячеславовна Теунова⁴**

^{1, 2, 3, 4} Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт»,
г. Нальчик, Россия

¹ ashabokov.boris@mail.ru

² tashilovaa@mail.ru

³ kesheva.lara@yandex.ru

⁴ nata0770@yandex.ru

Аннотация. Целью исследования является анализ многолетних изменений среднедекадной толщины снежного покрова на метеостанции Нальчик (Кабардино-Балкарская республика) холодного сезона (октябрь-апрель) за период с 1960/1961 по 2017/2018 гг. и прогноз до 2037/2038 гг. Представлены результаты, полученные при обработке рядов данных м/станции с помощью статистического пакета STATISTICA 10.0 и SPSS 21.0.

По результатам исследований выяснено, что среднедекадная толщина снежного покрова составила 3,95 см при норме 3,8 см (1961–1990 гг.), размах между минимальным и максимальным значениями достаточно большой – $R = 14$ см. За период 1961–2018 гг. квантильным методом были определены 3 экстремальных значения – 10 (1992/93 гг.), 11 (1973/74 гг.) и 15 см (2011/12 гг.).

Исследования периодических компонент толщины снежного покрова, проведенные с помощью статистического пакета STATISTICA 10.0 и методом сингулярно-спектрального анализа, показали, что максимальные пики приходятся на периоды $T_1 \approx 10$, $T_2 \approx 19$ и $T_3 \approx 5$ лет.

Были построены графики с ходом осредненных значений среднедекадной толщины снежного покрова с 1-й по 21-ю декаду холодного сезона 1961–2018 гг., из которых видно, что максимальное значение толщины снежного покрова из осредненных многолетних $h=6$ см определено для 14 декады холодного сезона (2 декада февраля).

Прогноз среднедекадной толщины снежного покрова до 2038 г., проведенный методом сингулярно-спектрального анализа, показал, что периоды уменьшения толщины снежного покрова ожидаются с 2023 по 2025 г. и с 2030 по 2034 г., а периоды увеличения с 2025 по 2030 г. и с 2035 по 2038 г.

Ключевые слова: толщина снежного покрова, статистический анализ, метод сингулярно-спектрального анализа, экстремальные значения, прогноз

Для цитирования: Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева А.А., Теунова Н.В. Долговременные изменения режима снежного покрова по данным метеостанции Нальчик // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 134–146. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-134-146

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-134-146

**LONG-TERM CHANGES IN THE SNOW COVER REGIME ACCORDING
TO DATA OF THE NALCHIK WEATHER STATION**

Boris A. Ashabokov¹, Alla A. Tashilova², Lara A. Kesheva³, Nanaliya V. Teunova⁴

^{1, 2, 3, 4} Federal State Budgetary Institution «High Mountain Geophysical Institute», Nalchik, Russia

¹ ashabokov.boris@mail.ru

² tashilovaa@mail.ru

³ kesheva.lara@yandex.ru

⁴ nata0770@yandex.ru

Abstract. The study aims to analyze long-term changes in the average ten-day thickness of snow cover at the Nalchik weather station (Kabardino-Balkarian Republic) during the cold season (October-April) for the period from



© 2025 Эта работа Ашабокова Б.А., Ташиловой А.А., Кешевой Л.А., Теуновой Н.В. лицензирована по CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Метеорология*Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.*

1960/1961 to 2017/2018 and to make a forecast until 2037/2038. The paper presents the results obtained by processing data series from the station using STATISTICA 10.0 and SPSS 21.0 statistical packages.

The average ten-day thickness of snow cover was found to be 3.95 cm, with a norm of 3.8 cm (1961-1990); the range between the minimum and maximum values for the period 1961-2018 is quite large $R=14$ cm. Using the quantile method, 3 extreme values were determined – 10 cm (1992/93), 11 cm (1973/74), and 15 cm (2011/12).

Studies of the periodic components of snow cover thickness, carried out using STATISTICA 10.0 statistical package and the method of singular spectrum analysis, have shown that the maximum peaks fall within periods $T_1 \approx 10$ years, $T_2 \approx 19$ years, and $T_3 \approx 5$ years.

Graphs were constructed showing variations in the averaged values ten-day thickness of snow cover from the 1st to the 21st decade of the cold season of 1961-2018, from which it is clear that the maximum snow cover thickness ($h = 6$ cm) from the long-term average values was determined for the 14th decade of the cold season (2nd decade of February).

According to the forecast of the average ten-day snow thickness until 2038, carried out using singular spectrum analysis, periods of decreasing snow cover thickness are expected from 2023 to 2025 and from 2030 to 2034, and periods of increasing thickness – from 2025 to 2030 and from 2035 to 2038.

Keywords: snow cover thickness, statistical analysis, singular spectrum analysis, extreme values, forecast

For citation: Ashabokov, B.A., Tashilova, A.A., Kesheva, L.A., Teunova, N.V. (2025). Long-term changes in the snow cover regime according to data of the Nalchik weather station. *Geographical Bulletin*. No. 1(72). Pp. 134–146. doi: 10.17072/2079-7877-2025-1-134-146

Введение

Проблема изменения климата является составляющей частью устойчивого развития современного общества. С каждым годом изменения климата становятся все более очевидными и нередко влекут за собой необратимые экологические последствия.

Во многих исследованиях приводится анализ изменения глобального климата [11, 17, 27] и климата на территории России [5, 7, 8, 10, 22, 26], сезонных особенностей и тенденций его изменения в течение всего прошлого и начала текущего столетия. Подтверждается факт значительного потепления климата в последние десятилетия и уменьшения числа дней с экстремально низкими температурами воздуха, что является преобладающим на большей части страны во все сезоны года; на территории России возрастает число дней с аномально высокими температурами зимой.

Наряду с общим трендом повышения средних значений температур отмечается увеличение амплитуды кратковременных температурных колебаний и повторяемость аномальных явлений, связанных с сильными морозами и высокими положительными температурами, штормовыми ветрами, снегопадами, ливневыми дождями и т.д.

Одной из сложных и важных задач в проблеме изменения климата является прогнозирование метеопараметров, для чего используются различные физико-статистические методы и методы с использованием численных моделей [1, 24].

На фоне глобального потепления, наблюдаемого в последние десятилетия, происходят изменения в режиме снежного покрова, который является одной из важнейших характеристик регионального климата [4]. Снежный покров существенно меняет радиационный и тепловой баланс подстилающей поверхности, предохраняя почву от выхолаживания, а зимующие культуры от вымерзания, аккумулирует зимние осадки, весной выполняя роль одного из основных источников водного питания почвы [19].

В последние годы опубликовано большое количество работ, посвященных изучению изменения характеристик снежного покрова, таких как среднедекадная высота снежного покрова, число дней с устойчивым снежным покровом, начало и конец схода снежного покрова в различных регионах России [12, 18, 19, 23, 25].

В ежегодном докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 г. отмечается, что на значительной части РФ сохраняется тенденция уменьшения продолжительности залегания снежного покрова, при этом на большей части страны наблюдается увеличение максимальной за зиму толщины снежного покрова [16].

Прогноз изменений толщины снежного покрова является не менее важной проблемой, чем прогноз изменений климата (температуры и осадков), поскольку изменение характеристик снежного покрова может считаться комплексным индикатором климата холодного сезона, отражающим трансформации режима температуры, режима осадков, частоты оттепелей и т.д.

Материалы и методы

В качестве источника данных были использованы ряды среднедекадной толщины снежного покрова (ТСП) метеостанции Нальчик в холодный сезон (октябрь-апрель) с 1960/1961 по 2017/2018 гг. (далее 1961–2018 гг.), предоставленные ФГБУ «Северо-Кавказское УГМС». Наблюдения за снежным покровом проводятся по установленным стационарно (постоянным) рейкам и с помощью снегосъемок. Для характеристики среднедекадной толщины снежного покрова вычисляют ее средние значения по декадам месяцев холодного сезона. По отсчетам трех реек ежедневно вычисляется среднее значение снежного покрова. Среднедекадные значения толщины снежного покрова были получены исходя из среднедекадных значений в месяцы с устойчивым снежным покрытием.

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Анализ рядов метеопараметров имеет две основные цели: определение внутренней структуры ряда (статистические и спектральные характеристики) и на ее основе – прогнозирование. Обе эти цели требуют, чтобы модель ряда была идентифицирована и формально описана.

В работе по данным метеостанции Нальчик (Кабардино-Балкарская республика, 500 м н.у.м.) приведены результаты статистического анализа среднедекадной толщины снежного покрова за период 1961–2018 гг., его трендов, выявление квазициклических периодичностей внутри временного ряда и прогноз значений толщины снежного покрова до 2038 г.

При исследовании временных рядов были использованы универсальные и специализированные статистические пакеты: SPSS 21.0, STATISTICA 10.0 [6, 9]. Целью описательного анализа, проведенного с помощью SPSS 21.0, является систематизация имеющихся данных. К нему относится создание частотной таблицы, вычисление статистических характеристик: среднее, дисперсия, стандартное отклонение, медиана, мода, минимум, максимум, размах, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса, экстремальные значения (выбросы и экстремумы). Тест Колмогорова-Смирнова определяет нормальность кривой распределения, *t*-тест – статистически значимое равенство/неравенство двух средних значений [9]. Спектральный анализ рядов был проведен с помощью статистического пакета STATISTICA 10.0 [6].

Для прогноза толщины снежного покрова был применен метод сингулярно-спектрального анализа (SSA-Singular Spectrum Analysis) с использованием программного обеспечения Caterpillar-SSA [14, 15]. Метод основан на переходе от одномерного временного ряда длиной *n* с равномерным шагом ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) к многомерным рядам, построенным из исходного одномерного. Caterpillar-SSA позволяет выделить интересующие компоненты временных рядов, в частности, линейный и нелинейный тренд, компоненты с заранее известным и заранее не известным периодом, сгладить исходные данные, сделать прогноз ряда.

Техническую основу метода составляет сингулярное разложение матрицы, столбцами которой являются вектора – отрезки ряда длины *L*, основного параметра метода, называемого шириной окна. Вторым параметром метода является количество главных компонент (ГК), соответствующих *i*-ой тройке собственных чисел матрицы после ее сингулярного разложения [14, 15]. Для того чтобы выделить какую-то составляющую ряда или отделить сигнал от шума, необходимо найти соответствующие искомой составляющей компоненты разложения, сгруппировать их и восстановлением получить искомый ряд.

Качество прогноза проверялось с использованием фактического ряда (1998–2018 гг.) по расчетам следующих критерии:

1) стандартное отклонение и максимальное отклонение прогнозных значений от фактических;

2) *t*-тест для получения статистически значимой разницы (или равенства) между средними значениями фактического ряда (20-летнего исторического, 1998–2018 гг.) и прогнозного ряда (1998–2018 гг.);

3) относительная ошибка прогноза δ (%):

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_{\phi} - y_{\text{пр}}}{y_{\phi}} \right| \cdot 100\% \quad (1)$$

где $y_{\text{пр}}$ – прогнозные значения на интервале 1998–2018 гг.; y_{ϕ} – фактические значения на интервале 1998–2018 гг.

Результаты и обсуждения

Описательные статистики среднедекадной толщины снежного покрова за исследуемый период 1961–2018 гг. для метеостанции Нальчик были определены с помощью статистического анализа программы SPSS [9] и представлены в табл. 1. Для проведения анализа использовались следующие статистические характеристики: средние значения, среднеквадратичные отклонения (меры рассеивания), максимальные и минимальные значения и их разбросы, значения коэффициентов асимметрии и эксцесса [13].

Среднедекадная толщина снежного покрова составила 3,95 см при норме 3,8 см (1961–1990 гг.), нижняя и верхняя границы среднего равнялись 3,29 и 4,66 см соответственно. Из табл. 1 видно, что размах между минимальным $h_{\min} = 1$ см (2014/2015 гг.) и максимальным $h_{\max} = 15$ см (2011/2012 гг.) значениями высоты снега составил $R = 14$ см. Среднее и медиана описывают положение центра выборки, вокруг которого группируются значения переменной. Однако среднее чувствительно к выбросам, которые вносят в нее сдвиг. В нашем случае среднее и медиана принимают значения 3,95 и 3,0 см соответственно, при этом имеются 3 экстремальных значения в ряду – 10 (1992/93 гг.), 11 (1973/74 гг.) и 15 см (2011/12 гг.) (рис. 1). Очевидно, среднее значение высоты снежного покрова 3,95 см получается завышенным и не характерным для всего ряда, что подтверждает 5 %-ное усеченное среднее (среднее за исключением 5 % минимальных и максимальных значений ряда). В качестве средней характеристики ТСП для практических целей, например для прогнозирования урожайности на равнинных и предгорных территориях Северного Кавказа, лучше брать медиану 3,0 см. Неравенство медианы и среднего является следствием несимметричного расположения данных выборки вокруг среднего (отклонение от нормального распределения). В качестве показателей, характеризующих распределение величин относительно среднего \bar{x} , в настоящей работе используются коэффициенты асимметрии As и эксцесса E . Асимметрия иллюстрирует скос распределения случайной величины в смысле тенденции частоты появления исходов $x_k > \bar{x}$ или $x_k < \bar{x}$; эксцесс – крутость (островершинность) или расплывчатость (плосковершинность) распределения случайной величины x .

Метеорология
Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Как известно [13], $As=0$ характеризует нормальное распределение величин, возрастание коэффициента асимметрии ($As>0$) означает появление во временном ряду тенденции увеличения вероятности появления значений x_k , превосходящих величину математического ожидания (или среднего арифметического \bar{x}), а убывание ее величины имеет обратный смысл – увеличивается вероятность появления во временном ряду значений x_k , меньших \bar{x} . Из табл. 1 видно, что коэффициент асимметрии положительный ($As=1,648$), следовательно, можно сделать вывод, что имеется вероятность появления во временном ряду элементов, значения которых выше среднего. Такое заключение, на наш взгляд, согласуется с диаграммой частоты распределения значений толщины снежного покрова на рис. 2.

Таблица 1

Описательная статистика толщины снежного покрова (Нальчик, 1961–2018 гг.)
Descriptive statistics of snow thickness (Nalchik, 1961–2018)

	Статистика	Стд. ошибка
Количество наблюдений, N	58	–
Климатическая норма (1961–1990 гг.)	3,8	–
Среднее	3,95	0,364
95 % доверительный интервал для среднего, нижняя граница	3,29	–
верхняя граница	4,66	–
5 % усеченное среднее	3,66	–
Медиана	3,0	–
Дисперсия	7,7	–
Стандартное отклонение	2,78	–
Минимум	1,00	–
Максимум	15,00	–
Размах	14,00	–
Коэффициент асимметрии	1,648	0,314
Коэффициент эксцесса	3,723	0,618

Коэффициент эксцесса большой и положительный ($E=3,723$), что говорит об остром пикообразном распределении и группировке большого количества данных вокруг среднего значения, концы хвостов x_{\min} и x_{\max} не достигают значений $x_{cp} \pm 3\sigma$ (при 99,7 %-ном доверительном интервале).

На гистограмме (рис. 2) видно, что эмпирическое распределение данных соответствует вышеописанному с большой правосторонней асимметрией и высоким эксцессом и значительно отличается от нормального распределения, представленного плавной кривой на гистограмме.

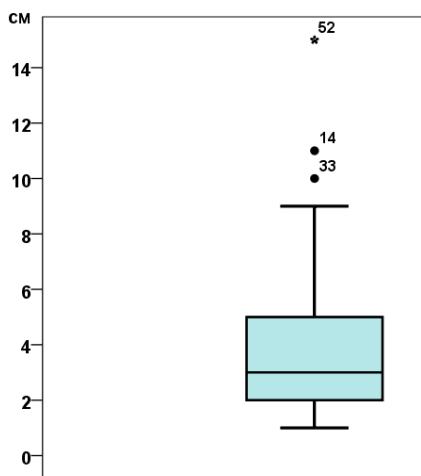


Рис. 1. Коробчатая диаграмма с медианой и экстремумами

Fig. 1. Box plot with the median and extremes

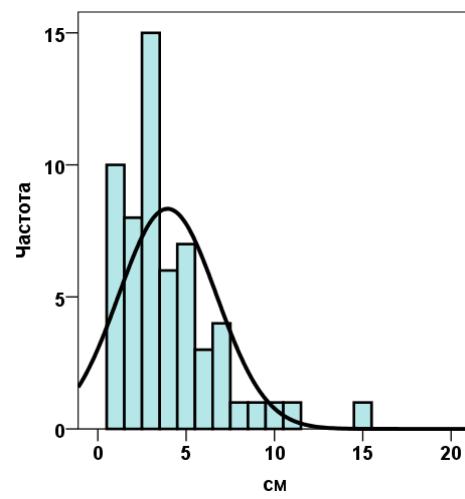


Рис. 2. Гистограмма частоты распределения толщины снежного покрова

Fig. 2. Frequency histogram of snow thickness distribution

Аномальные элементы, превосходящие рассчитанные нижние и верхние границы, были определены квантильным методом. Выбросы и экстремумы (точки и звездочка на рис. 1) – это значения, удаленные более чем на полторы разницы (и более) между 75 и 25 % квантилями ранжированного ряда. Для ряда ТСП выявлены два выброса, соответствующие порядковым номерам $nn = 14$ и 33 и один экстремум с $n = 52$, что соответствует $h = 10$ (1992/93 гг.), $h = 11$ (1973/74 гг.) и $h = 15$ см (2011/12 гг.).

Метеорология
Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Для временного ряда толщины снежного покрова построены тренды – линейный и полином 3-й степени с уравнениями и коэффициентами детерминации R^2 . Однонаправленный линейный тренд отсутствует, поскольку $R^2 = 0,0006$ ($D = 0,06\%$).

На рис. 3 из графика с полиномом 3-й степени видно, что периоды роста толщины снежного покрова сменяются периодами уменьшения, то есть имеются квазициклические периодичности, которые возможно выявить с помощью спектрального анализа.

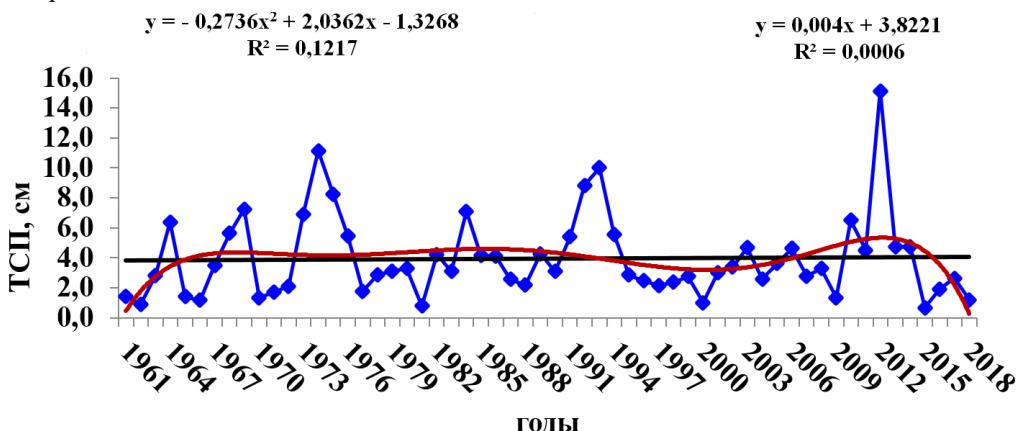


Рис. 3. Ход изменения толщины снежного покрова с уравнениями трендов, Нальчик 1961–2018 гг.
Fig. 3. Changes in snow cover thickness with trend equations, Nalchik, 1961–2018

Исследование периодических компонент природных процессов является одной из основных задач климатологии. Важность их выделения и изучения имеет как теоретическое (построение моделей природных процессов), так и практическое (прогноз природных явлений) значение.

На рис. 4 представлена периодограмма временного ряда толщины снежного покрова, полученная с помощью статистического пакета STATISTICA 10.0 [6].

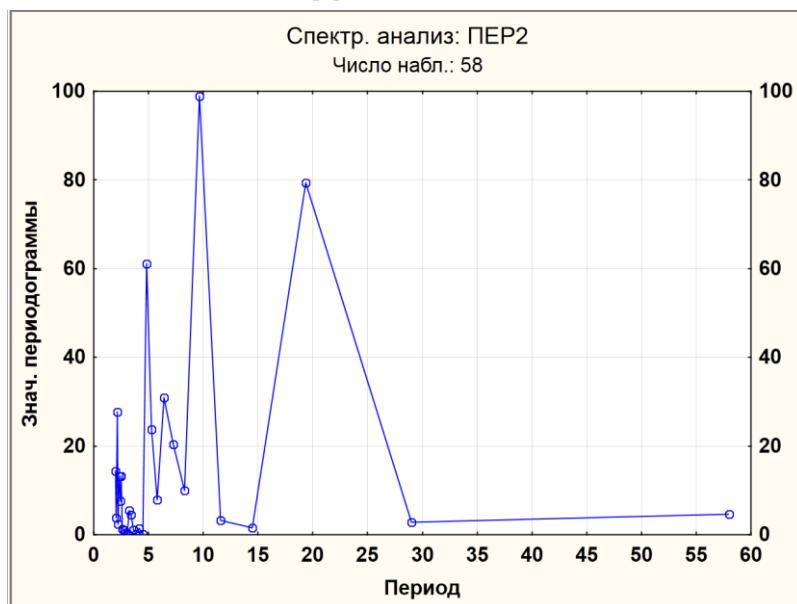


Рис. 4. Периодограмма ряда толщины снежного покрова
Fig. 4. Periodogram of a snow cover thickness series

Если временной ряд имеет спектральное разложение вида, то периодограмма на рис. 4 состоит из точек $(\omega_n, a_{ik}^2 + b_{ik}^2)$. Величина $(a_{ik}^2 + b_{ik}^2)$, квадрат модуля, характеризует мощность соответствующей гармоники. При анализе периодограммы нужно обращать особое внимание на ее пики. Большой пик в области некоторой частоты ω_0 указывает на то, что в спектральном разложении автокорреляционной функции присутствует соответствующая гармоническая компонента. Чем выше и резче выделен пик, тем большая часть мощности сосредоточена около частоты ω_0 и тем большую роль играет эта частота в описании соответствующего случайного процесса или временного ряда [6]. Из рис. 4 и табл. 2 видно, что максимальные пики приходятся на периоды $T_1 = 9,67$, $T_2 = 19,3$ и $T_3 = 4,83$ года.

Метеорология
Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Таблица 2

Спектральный анализ
Spectrum analysis

Частота	Период, годы	Косинус коэффициент	Синус коэффициент	Периодограмма	Плотность
0,000		0,000	0,000	0,000	2,002
0,017	58,000	-0,234	0,267	3,653	5,487
0,034	29,000	-0,256	-0,225	3,369	22,110
0,052	19,333	-1,466	-0,815	81,589	37,862
0,069	14,500	-0,071	0,223	1,591	24,934
0,086	11,600	-0,304	0,126	3,135	29,876
0,103	9,667	-0,979	1,610	103,002	49,850
0,121	8,286	0,342	-0,468	9,743	35,393
0,138	7,250	0,778	0,275	19,748	24,193
0,155	6,444	1,110	-0,249	37,524	24,706
0,172	5,800	-0,368	0,397	8,507	20,964
0,190	5,273	-0,876	-0,020	22,270	27,165
0,207	4,833	-1,180	-0,765	57,313	31,406
0,224	4,462	-0,072	0,101	0,445	15,086
0,241	4,143	-0,139	-0,142	1,142	2,711
0,259	3,867	-0,017	0,009	0,011	0,705
0,276	3,625	0,039	-0,204	1,248	1,489
0,293	3,412	0,300	0,121	3,033	2,724
0,310	3,222	0,317	-0,228	4,418	2,792
0,328	3,053	-0,041	-0,040	0,095	1,408
0,345	2,900	-0,026	-0,140	0,588	0,815
0,362	2,762	-0,201	0,093	1,422	1,462
0,379	2,636	0,150	0,075	0,812	4,253
0,397	2,522	0,325	0,603	13,623	8,449
0,414	2,417	0,055	0,481	6,790	9,711
0,431	2,320	0,538	0,421	13,552	9,832
0,448	2,231	0,169	-0,259	2,778	11,554
0,466	2,148	0,015	-0,977	27,691	14,730
0,483	2,071	-0,310	-0,168	3,607	10,843
0,500	2,000	-0,577	0,000	9,661	8,030

Полученные периоды формируются под воздействием различных климатообразующих факторов (установленных и предполагаемых), таких как метеорологические (циркуляционные процессы атмосферы), геофизические и астрономические. На формирование периода $T_1 = 9,67$ года, возможно, влияет солнечная активность со средней периодичностью $T \approx 11$ лет. На формирование второго выделенного периода $T_2 = 19,3$ года, по результатам наших предыдущих исследований [2, 3], влияют приливные силы за счет воздействия Луны и других крупных планет, действующие на различные геосфера Земли. Выявление связей и зависимостей между указанными факторами – отдельная задача исследования.

По результатам разработанной авторами базы данных климатических норм среднедекадной толщины снежного покрова [20] построена регрессионная модель основных климатических показателей для м/станции Нальчик, в том числе толщины снежного покрова, в условиях сезонной изменчивости. Сезонная изменчивость – ежегодно повторяющаяся на протяжении холодного сезона, с октября по апрель включительно.

Одна из возможных регрессионных моделей построения сезонной изменчивости – это гармоническое разложение ряда с периодичностью $T = 21$ декада. Модель сезонной изменчивости строится по формуле:

$$X(t) = \sum_{k=0}^3 a_k \cos(kt) + b_k \sin(kt), \quad (2)$$

где $w = \frac{2\pi}{T}$; $T = 21$ декада; $X(t)$ – ТСП на станции во время t .

Для визуализации сезонного хода ТСП строятся графики значений толщины снежного покрова для 21 декады холодного сезона (октябрь-апрель) на предгорной м/станции Нальчик. На рис. 5 представлен ход среднедекадной толщины снежного покрова, построенный по осредненным значениям ТСП за весь период (точки, отсчеты 1961–2018 гг.), за период 2009–2018 гг. (треугольники, отсчеты 2009–2018 гг.) и по гармонической модели (сплошная линия на графике, модель 1961–2018 гг.). Как видно из рис. 5, максимальная высота 6 см (осредненное

Метеорология
Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

многолетнее значение) наблюдалась в 14-й декаде (2-я декада февраля). За период 2009–2018 гг. происходил рост среднедекадной ТСП, особенно в первую половину холодного сезона (со 2-й декады ноября по 2-ю декаду февраля), в остальные декады величина ТСП близка к среднему значению за 1961–2018 гг. На рис. 5 видно, что значение ТСП в третьей декаде декабря ($h= 3,63$ см) незначительно превышает значение ТСП первой декады января ($h= 3,34$ см). Причины данного распределения нужно искать во внешних природных факторах, которые формируют такой режим выпадения осадков.

В целом высокое значение коэффициента детерминации $R^2= 98,8\%$ подтверждает хорошее согласие модели с реальными данными. Это совпадает с выводами, сделанными нами в предыдущих исследованиях толщины снежного покрова на юге России [2, 3, 21].

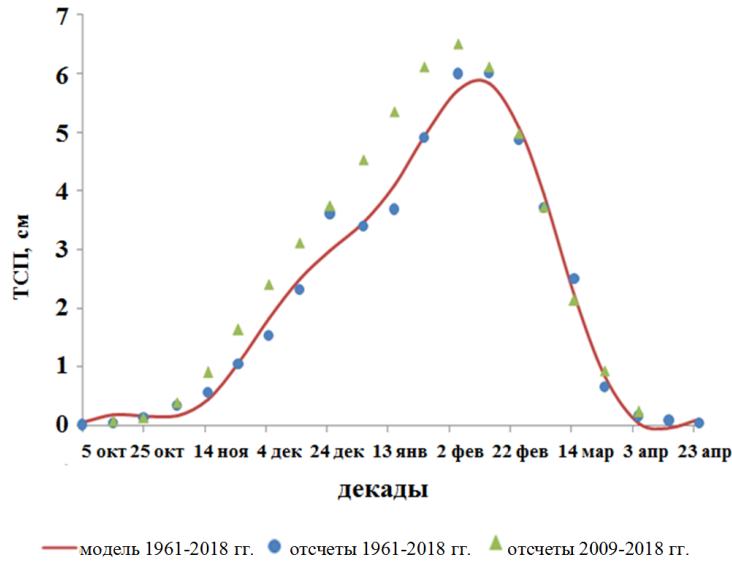


Рис. 5. Ход среднедекадной толщины снежного покрова
Fig. 5. Variations in the average ten-day snow cover thickness

Методом сингулярно-спектрального анализа было проведено исследование структуры ряда среднедекадной ТСП за период 1961–2018 гг. и осуществлен прогноз на последующие двадцать лет (2019–2038 гг.) с использованием соответствующего программного обеспечения Caterpillar-SSA [28]. Для этого было проведено преобразование, разложение, группировка и восстановление ряда. Рассмотрена периодограмма среднедекадной толщины снежного покрова за исследуемый период и выделены наиболее значительные периоды ряда, соответствующие максимальным мощностям: ≈ 10 , ≈ 19 , ≈ 5 лет (рис. 6). Большой пик в области некоторой частоты ω_0 (или периода T) указывает на то, что в спектральном разложении присутствует соответствующая гармоническая компонента. Такие же периоды были выделены при использовании статистического пакета STATISTICA 10.0.

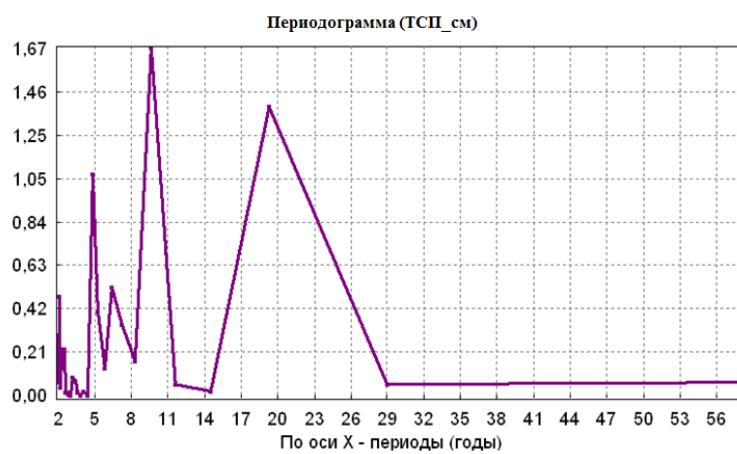
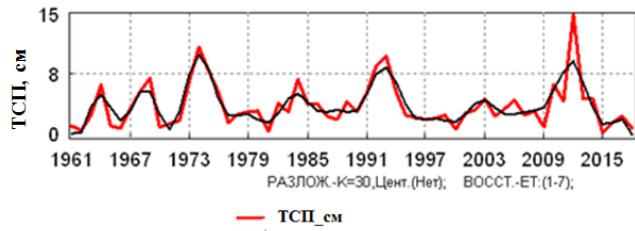


Рис. 6. Периодограмма среднедекадной толщины снежного покрова за 1961–2018 гг.
Fig. 6 Periodogram of the average ten-day thickness of snow cover for 1961–2018

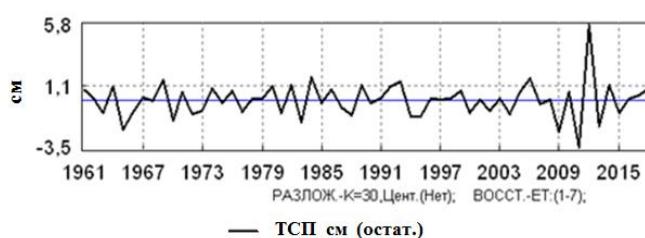
Метеорология
Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

На этапе «группировки» из 30 главных компонент выбирается ГК 1–7 главных компонент для восстановления ряда. На рис. 7а для исходного ряда (красный) представлены результаты восстановления (черный) по семи главным компонентам. Выбор ГК7 демонстрирует максимальную точность восстановленного ряда. Имеется разброс в остатках (разница между исходным и восстановленным рядом) $\Delta h = -3,5$ см в 2011 г. и $\Delta h = 5,8$ см в 2012 г. (рис. 7б).

а)



б)



а) исходный и восстановленный ряды; б) ряд остатков восстановленного ряда

Рис. 7. Восстановление ряда среднедекадной толщины снежного покрова
Fig. 7. Reconstruction of the series of the average ten-day snow cover thickness

После восстановления и аппроксимации ряда линейно-рекуррентной формулой можно осуществить прогнозирование ряда (рис. 8). Для проверки качества прогноза использовался 20-летний период упреждения (1998–2018 гг.), то есть начало прогноза было установлено с 1999 г. Восстановив ряд с 1999 по 2018 г., был продолжен прогноз на последующие двадцать лет – с 2019 по 2038 г. Вертикальная черная линия отделяет начало прогноза от фактических данных. Таким образом, можно считать, что структура ряда выявлена и восстановлена, что позволило продолжить ее, то есть прогнозировать временной ряд на двадцать лет вперед.

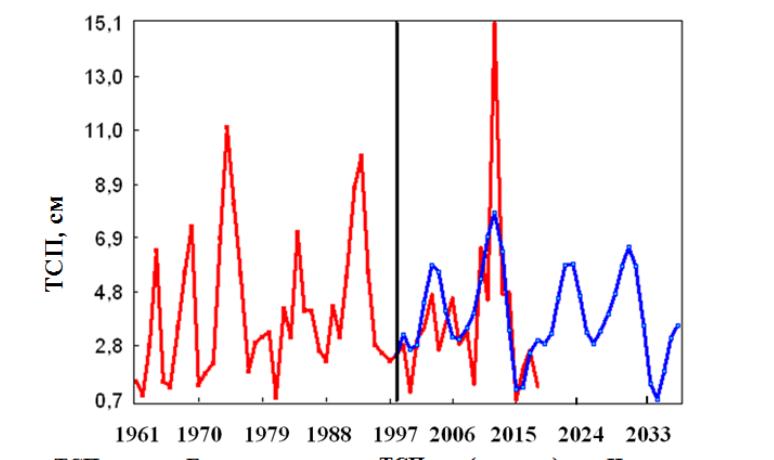


Рис. 8. Прогноз среднедекадной толщины снежного покрова на 2019–2038 гг. (1998–2018 гг. – упреждающий интервал) рекуррентным способом ($L = 31$, ГК5)

Fig. 8 Forecast of the average ten-day snow cover thickness for 2019–2038 (1998–2018 – the leading interval) by the recurrence method ($L = 31$, MC5)

Неоднородность ряда (наличие трех экстремальных значений) создает трудности при построении прогнозируемого ряда с помощью линейно-рекуррентной формулы, учитывающей линейные и нелинейные тенденции, периодичности, но не экстремальные значения реального ряда.

Для определения качества прогноза были рассчитаны следующие характеристики: статистики парных выборок, t -критерий парных выборок, ошибка прогноза.

Статистики парных выборок (табл. 3), рассчитанные с использованием программы SPSS [9], показали высокую корреляцию между реальным и прогнозируемым рядами ($r = 0,708$, $Sig. = 0,00$). Критерий парных выборок (t -тест) определил статистически значимое равенство между средними реального ряда (3,691 см) и прогнозируемого (3,91 см) на 5 %-ном уровне при степени свободы $df = 20$ на интервале 1998–2018 гг. (табл. 4).

Относительная ошибка прогноза составила 50 %, максимальное отклонение прогнозируемых значений от реальных – $\Delta h = 7,28$ см, что значительно превышает стандартное отклонение $\sigma = 2,17$ см (табл. 5).

Метеорология
Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Таблица 3

Статистики парных выборок
 Paired samples statistics

Ряды	Среднее, см	N	Стд. отклонение, см	Стд. ошибка среднего, см	Парная корреляция r (знач. $Sig.$)*
Реальный	3,691	21	3,004	0,656	0,708 (0,00)
Прогнозируемый	3,91	21	1,797	0,392	

*Статистически значимая корреляция при $Sig.<0,05$

Таблица 4

Критерий парных выборок
 Paired samples test

Ряды	Парные разности, см					t	df	Знач., $Sig.$.*			
	Среднее	Стд. откл.	Стд. ошибка среднего	95 % доверит. интервал разности средних							
				Нижняя граница	Верхняя граница						
Реальный	-0,219	2,146	0,468	-1,196	0,758	-0,47	20	0,599			
Прогнозируемый											

*Статистически значимое равенство при $Sig.>0,05$

Из-за наличия экстремальных значений в реальном ряду при аппроксимации и прогнозировании ряда появляются отрицательные значения ТСП в 2034 г. ввиду большого размаха амплитуд, что недопустимо. Поэтому мы остановились на выборе пяти главных компонент (ГК= 5) в ущерб точности прогноза ($\delta= 50\%$). В этом случае можно говорить о прогнозе увеличения и уменьшения ТСП до 2038 г. с некоторой периодичностью, что видно на рис. 8.

Таблица 5

Прогноз среднедекадной толщины снежного покрова
 Forecast of the average ten-day snow thickness

nn	Годы	Реальный ряд, см	Прогнозируемый ряд, см	Точность прогноза	Периодичности изменения ряда за 1961–2018 гг.
1	1961	1	-	-	Стандартное отклонение $\sigma= 2,17$ см
...	-		
38	1998	2,4	2,4		
39	1999	2,8	3,2		Максимальное отклонение $\Delta h= 7,28$ см
40	2000	1,0	2,6		
41	2001	3,0	2,8		
42	2002	3,4	4,4		Относительная ошибка $\delta= 50\%$
43	2003	4,7	5,8		
44	2004	2,6	5,6		
45	2005	3,6	4,1		t -тест $Sig.= 0,599 > 0,05$, средние реального и прогнозируемого рядов статистически равны $3,7 \text{ см} \approx 3,9 \text{ см}$ (1998–2018 гг.)
46	2006	4,6	3,1		
47	2007	2,8	3,0		
48	2008	3,3	3,5		
49	2009	1,3	4,0		
50	2010	6,5	5,3		
51	2011	4,5	6,9		
52	2012	15,1	7,8		
53	2013	4,7	6,4		
54	2014	4,8	3,4		
55	2015	0,7	1,1		
56	2016	1,9	1,2		
57	2017	2,6	2,5		
58	2018	1,2	3,0		
<i>среднее</i>		3,7	3,9		
59–63	2019–2023		
64	2024	-	4,7		
65	2025	-	3,3		
66	2026	-	2,8		

Метеорология
Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

Окончание табл. 5

нн	Годы	Реальный ряд, см	Прогнозируемый ряд, см	Точность прогноза	Периодичности изменения ряда за 1961–2018 гг.
67	2027	-	3,3		
68	2028	-	4,0		
69	2029	-	4,8		
70	2030	-	5,8		
71	2031	-	6,5		
72	2032	-	5,8		
73	2033	-	3,6		
74	2034	-	1,3		
75	2035	-	0,7		
76	2036	-	1,8		
77	2037	-	3,1		
78	2038	-	3,5		

Построенные с помощью метода SSA тренды демонстрируют волнообразную динамику изменения ТСП на метеостанции Нальчик. Из рис. 8 видно, что прогнозируются периоды уменьшения толщины снежного покрова с 2023 по 2025 г. и с 2030 по 2034 г., периоды увеличения – с 2025 по 2030 г. и с 2035 по 2038 г. Наименьшее значение ТСП ожидается в 2035 г.

Заключение

По результатам исследования изменения толщины снежного покрова согласно данным метеостанции Нальчик за период 1961–2018 гг. получено, что среднедекадная толщина снежного покрова составила 3,95 см при норме 3,8 см (1961–1990 гг.), размах между минимальным и максимальным значениями достаточно большой – $R=14$ см. За период 1961–2018 гг. квантильным методом были определены 3 экстремальных значения – 10 (1992/93 гг.), 11 (1973/74 гг.) и 15 см (2011/12 гг.). Анализ кривой распределения (асимметрия, эксцесс) показал, что коэффициент асимметрии положительный – 1,648, имеется значительная правосторонняя асимметрия, а также вероятность появления во временном ряду элементов, значения которых выше среднего. Коэффициент эксцесса положительный – 3,72, что говорит о группировке большого количества данных вокруг среднего значения.

Из результатов регрессионного анализа следует, что однодиаправленный линейный тренд отсутствует ($D=0,06\%$), полиномиальный тренд с высокой точностью описывает исходные данные ряда ($D=12,2\%$), следовательно, имеются квазициклические периодичности, сменяющие периоды увеличения и снижения толщины снежного покрова.

Спектральный анализ ряда толщины снежного покрова показал, что выделяются 3 периода, соответствующие максимальным мощностям: 9,67 лет, 19,3 лет, 4,83 года. Возможно, что на формирование периода $T_1=9,67$ года влияет солнечная активность со средней периодичностью 11 лет. На формирование периода $T_2=19,3$ года влияют приливные силы за счет воздействия Луны и других крупных планет.

Из гармонической модели сезонного хода среднедекадной толщины снежного покрова следует, что ее максимальная толщина (осредненное многолетнее значение) $h=6$ см имела место в 14-ой декаде (2-ая декада февраля) с высоким значением коэффициента детерминации $R^2=98,8\%$, который подтверждает хорошее согласие модели с реальными данными.

Прогноз среднедекадной ТСП на период до 2038 г. методом сингулярно-спектрального анализа показал, что прогнозируются периоды уменьшения толщины снежного покрова с 2023 по 2025 г. и с 2030 по 2034 г., а периоды увеличения – с 2025 по 2030 г. и с 2035 по 2038 г. Наименьшее значение ТСП ожидается в 2035 г.

Библиографический список

1. Аптуков В.Н., Митин В.Ю. Статистические модели прогнозирования среднемесячной температуры и месячной суммы осадков в г. Перми // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. № 2 (57). С. 84–95. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-84-95
2. Ашабоков Б.А., Кешева Л.А., Крученицкий Г.М., Ташилова А.А., Шокуев Р.А. Моделирование сезонной и долговременной изменчивости снежного покрова южного федерального округа России: труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. СПб, 2018. Вып. 662. С. 22–25.
3. Ашабоков Б.А., Кешева Л.А., Крученицкий Г.М., Ташилова А.А., Шокуев Р.А. Использование данных о периодической изменчивости снежного покрова для валидации сведений о чувствительности спутниковой аппаратуры оптического диапазона: труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. СПб, 2020. Вып. 674. С. 100–103.
4. Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК: монография. Нальчик: ООО «Фрегат», 2020. 476 с. ISBN: 978-5-6045060-0-4
5. Бабина Е.Д., Семенов В.А. Внутримесячная изменчивость среднесуточной приземной температуры воздуха на территории России в период 1970–2015 гг. // Метеорология и гидрология. М., 2019. № 8. С. 21–33.
6. Боровиков В. Statistica: Искусство анализа данных на компьютере. СПб: Питер, 2003. 688 с.
7. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Разуваев В.Н. Критерии экстремальности климатических явлений в температурном режиме и режиме осадков на территории России: труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. № 173. С. 38–53.

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.

8. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Трофименко Л.Т. Рекордные морозы в январе 2006 года на территории Российской Федерации: труды ВНИИГМИ-МЦД. 2007. № 173. С. 215–220.
9. Бюоль А. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / А. Бюоль, П. Цефель. СПб: ДиаСофтЮП, 2002. С. 608.
10. Вакуленко Н.В., Котляков В.М., Сонечкин Д.М. Предсказуем ли климат в геологическом масштабе времени?: доклады Академии наук. М.: Наука, 2015. Т. 460. С. 215–219. DOI: 10.7868/S086956521502022X
11. Вакуленко Н.В., Нигматулин Р.И., Сонечкин Д.М. К вопросу о глобальном изменении климата // Метеорология и гидрология. М.: Планета, 2015. № 9. С. 89–97.
12. Гельфан А.Н., Морейдо В.М. Описание макромасштабной структуры поля снежного покрова равнинной территории с помощью динамико-стохастической модели его формирования // Лёд и Снег. 2015. Т. 55, № 4. С. 61–72. DOI: 10.15356/2076-6734-2015-4-61-72
13. Гмурман В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Издательство «Высшая школа», 1972. 368 с.
14. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с. ISBN: 5-9651-0019-1
15. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов: учеб. пособие. СПб: Изд-во Санкт-Петербургский гос. университет, 2004. 52 с.
16. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М.: Росгидромет, 2023. 104 с.
17. Катцов В.М., Семенов С.М. Климат Земли: факторы изменения и причины обеспокоенности: второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М., 2014. С. 10–17.
18. Кешева Л.А. Оценка тенденций изменения высоты снежного покрова на метеостанциях Северного Кавказа // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 4. С. 127–144. DOI: 10.37493/2308-4758.2021.4.8
19. Коршунов Н.Н., Давлетшин С.Г., Аржанова Н.М. Изменчивость характеристик снежного покрова на территории России // Фундаментальная и прикладная климатология. 2021. Т. 7, №1. С. 80–100. DOI: 10.21513/2410-8758-2021-1-80-100
20. Крученицкий Г.М., Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Шокуев Р.А. Климатические нормы для снежного покрова Северо-Кавказского федерального округа РФ и прилегающих территорий. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019622026, 11.11.2019.
21. Крученицкий Г.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Шокуев Р.А. Моделирование сезонной и долговременной изменчивости снежного покрова южных федеральных округов России: сборник научных трудов XXIII Международного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы». Иркутск, 2017. С. 211–214.
22. Мохов И.И. Российские климатические исследования в 2011–2014 гг. // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. М.: Наука, 2017. Т. 53, № 5. С. 624–640. DOI: 10.7868/S0003351517050099
23. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Изменения характеристик снежного покрова на территории России в 1950–2013 годах: региональные особенности и связь с глобальным потеплением // Криосфера Земли. 2018. Т. 22, № 4. С. 65–75. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-4(65-75)
24. Романский С.О., Вербицкая Е.М. Краткосрочный численный прогноз погоды высокого пространственного разрешения по Владивостоку на базе модели WRF-ARW // Вестник ДВО РАН. 2014. № 5. С. 48–57.
25. Сосновский А.В., Осокин Н.И. Высота снежного покрова в лесу и поле на равнинной территории России при современном климате // Лед и снег. 2023. № 63 (4) С. 558–568. DOI: 10.31857/S2076673423040166
26. Сухова О.В. Пространственно-временная изменчивость основных характеристик снежного покрова на территории Пермского края. Географический вестник. 2012. № 3 (22). С. 64–71.
27. Bulygina O.N. The Global Climate System Review 2003 // WMO. 2005. No. 984. P. 1–63.
28. Caterpillar-SSA GistatGroup: URL: <http://www.gistatgroup.com> (дата обращения: 19.01.2024)

Referens

1. Aptukov V.N., Mitin V.YU. (2021), Statistical models for forecasting average monthly temperature and monthly precipitation in Perm, *Geograficheskiy vestnik* no 2(57), pp. 84–95. doi: 10.17072/2079-7877-2021-2-84-95.
2. Ashabokov B.A., Kesheva L.A., Kruchenitskiy G.M., Tashilova A.A., Shokuev R.A. (2018), Modeling of seasonal and long-term variability of snow cover in the southern federal district of Russia, *Trudy Voyenno-kosmicheskoy akademii im. A.F. Mozhayskogo*. Sankt-Peterburg. Vyp. 662, pp. 22–25.
3. Ashabokov B.A., Kesheva L.A., Kruchenitsky G.M., Tashilova A.A., Shokuev R.A. Using data on periodic variability of snow cover to validate information on the sensitivity of optical satellite equipment. // Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky, ISSUE 674, 2020, pp. 100–103.
4. Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Teunova N.V. (2020), Spatiotemporal climate change in the south of the European territory of Russia, assessment of its consequences, methods and models of adaptation of the agro-industrial complex, Izd. «Fregat», Nal'chik, Russia.
5. Babina Ye.D., Semenov V.A. (2019), Intramonthly variability of average daily surface air temperature in Russia in the period 1970-2015, *Meteorologiya i gidrologiya*. Moskva. no 8. pp. 21–33.
6. Borovikov V. (2003). *The art of data analysis on a computer*. St. Petersburg: Piter, 688 p.
7. Bulygina O.N., Korshunova N.N., Razuvayev V.N. (2007), Criteria for the extremeness of climatic phenomena in temperature and precipitation regimes on the territory of Russia, *Trudy VNIIGMI-MTSD*. no 173, pp. 38–53.
8. Bulygina O.N., Korshunova N.N., Trofimenko L.T. (2007), Record frosts in January 2006 on the territory of the Russian Federation, *Trudy VNIIGMI-MTSD*, no 173, pp. 215–220.
9. Byuyul" A. (2002). SPSS: the art of information processing. Analysis of statistical data and restoration of hidden patterns / A. Byuyul", P. Tsefel". SPb.: DiaSoftYUP, p. 608.
10. Vakulenko N.V., Kotlyakov V.M., Sonechkin D.M. (2015), Is climate predictable on a geological time scale?, *Doklady Akademii nauk*, Nauka (M.). T.460, pp. 215–219.

Метеорология

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.Б.

11. Vakulenko N.V., Nigmatulin R.I., Sonechkin D.M. (2015), On the issue of global climate change, *Meteorologiya i gidrologiya*, Planeta (M.). no 9. pp. 89–97.
12. Gelfan A.N., Moreido V.M. Description of the macro-scale structure of the snow cover field in a flat area using a dynamic-stochastic model of its formation // *Ice and Snow*. 2015. T. 55. No. 4. pp. 61–72. doi. org/10.15356/2076-6734-2015-4-61-72.
13. Gmurman V.S. Theory of Probability and Mathematical Statistics. M. Publishing house "Higher School", 1972. 368 p.
14. Golyandina N.E. (2004), "Caterpillar"-SSA method: time series analysis: Textbook. allowance. SPb: Izd-vo SPbGU, 76 p.
15. Golyandina N.E. (2004), "Caterpillar" method - SSA: time series forecast: Textbook: SPb: Izd-vo S. Peterburgskiy gos. universitet, 52 p.
16. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2022 god*. (2023) [Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2022], Moscow, Russia. 104 p.
17. Kattsov V.M., Semenov S.M. (2014), Earth's climate: factors of change and causes of concern, *Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii*. Moskva. pp. 10–17.
18. Kesheva L.A. (2021), Assessment of trends in changes in snow depth at weather stations in the North Caucasus, *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. no 4, pp. 127–144.
19. Korshunov N.N., Davletshin S.G., Arzhanova N.M. (2021), Variability of snow cover characteristics on the territory of Russia, *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*. vol.7. no 1. pp.80–100.
20. *Climatic norms for snow cover in the North Caucasus Federal District of the Russian Federation and adjacent territories*, Kruchenitskiy G.M., Ashabokov B.A., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Shokuyev R.A. Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh RU 201962026, 11.11.2019.
21. Kruchenitskiy G.M., Tashilova A.A., Kesheva L.A., Shokuyev R.A. (2017), Modeling of seasonal and long-term variability of snow cover in the southern federal districts of Russia, *Sbornik nauchnykh trudov XXIII Mezhdunarodnogo simpoziuma "Optika atmosfery i okeana. Fizika atmosfery"*. Irkutsk. pp. 211–214.
22. Mokhov I.I. (2017), Russian climate studies in 2011–2014, *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana*, Nauka (M.), Vol.53, no 5, pp. 624–640.
23. Popova V.V., Shiryaeva A.V., Morozova P.A. Changes in the characteristics of snow cover on the territory of Russia in 1950–2013: regional features and connection with global warming // *Cryosphere of the Earth*. 2018. T. XXII. No. 4. pp. 65–75.
24. Romanskiy S.O., Verbitskaya Ye.M. (2014), Short-term numerical weather forecast of high spatial resolution for Vladivostok based on the WRF–ARW model, *Vestnik DVO RAN*. no 5. pp. 48–57.
25. Sosnovsky A.V., Osokin N.I. The depth of snow cover in forests and fields on the flat territory of Russia in the modern climate. *Ice and snow*. 2023, 63(4): 558–568. doi10.31857/S2076673423040166
26. Sukhova O.V. (2012), Spatiotemporal variability of the main characteristics of snow cover in the Perm region. *Geograficheskiy vestnik*. no 3 (22). pp. 64–71.
27. Bulygina O.N. (2005), The Global Climate System Review 2003, *WMO*. no 984. pp. 1–63.
28. Caterpillar-SSA GistatGroup: <http://www.gistatgroup.com> (data obrashcheniya: 19.01.2024).

Статья поступила в редакцию: 01.03.24, одобрена после рецензирования: 10.04.24, принята к опубликованию: 12.03.25.

The article was submitted: 1 March 2024; approved after review: 10 April 2024; accepted for publication: 12 March 2025.

Информация об авторах

Борис Азреталиевич Ашабоков

доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий отделом физики облаков
Федерального государственного бюджетного
учреждения «Высокогорный геофизический
институт»;
360030, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.
заведующий отделом, Институт информатики и
проблем регионального управления Кабардино-
Балкарского научного центра РАН;
360010, г. Нальчик, улица Балкарова, 2.

e-mail: ashabokov.boris@mail.ru

Алла Амарбиевна Ташилова

доктор физико-математических наук, ведущий
научный сотрудник Федерального государственного
бюджетного учреждения «Высокогорный
геофизический институт»;
360030, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.

e-mail: tashilovaa@mail.ru

Information about the authors

Boris A. Ashabokov

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Cloud Physics, High-Mountain Geophysical Institute;
2, prospekt Lenina, Nalchik, 360030, Russia;
Head of the Department, Institute of Informatics and Regional Management Problems of the Kabardino-Balkarian Research Center of the RAS;
2, Balkarova st., Nalchik, 360010, Russia

Alla A. Tashilova

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, High-Mountain Geophysical Institute;
2, prospekt Lenina, Nalchik, 360030, Russia

*Метеорология**Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.***Лара Асировна Кешева**

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт»;
360030, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.

Lara A. Kesheva

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, High-Mountain Geophysical Institute; 2, prospekt Lenina, Nalchik, 360030, Russia

e-mail: kesheva.lara@yandex.ru

Наталья Вячеславовна Теунова

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Высокогорный геофизический институт»;
360030, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.

Nataliya V. Teunova

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, High-Mountain Geophysical Institute; 2, prospekt Lenina, Nalchik, 360030, Russia

e-mail: nata0770@yandex.ru

Вклад авторов

Ашабоков Б.А. – идея, написание статьи, научное редактирование текста.

Ташилова А.А. – идея, написание статьи, научное редактирование текста.

Кешева Л.А. – сбор и обработка материала, написание статьи, построение рисунков.

Теунова Н.В. – сбор и обработка материала, написание статьи, построение рисунков.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Contribution of the authors

Boris A. Ashabokov – idea; writing of the article; scientific editing of the text.

Alla A. Tashilova – idea; writing of the article; scientific editing of the text.

Lara A. Kesheva – material collection and processing; writing of the article; plotting of the figures.

Nataliya V. Teunova – material collection and processing; writing of the article; plotting of the figures.

The authors declare no conflict of interest.