
ГЕОФИЗИКА

УДК 551.583

Анализ многолетних изменений высоты снежного покрова по данным метеостанции Нальчик*Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.*

Представлено академиком АМАН Х.М. Каловым

В настоящее время изменения климата становятся очевидными для каждого жителя Планеты. Безусловное влияние на характеристики снежного покрова оказывают усиление глобального потепления климата в последние десятилетия.

В данной статье по данным м/станции Нальчик был проведен анализ изменения режима зимних осадков и характеристик снежного покрова методами математической статистики (пакет программ SPSS 13.0) за 52-летний период исследования.

Были рассмотрены такие характеристики снежного покрова как среднедекадная высота снега, число дней со снежным покровом, даты начала появления и дата конца схода снежного покрова, даты установления устойчивого снежного покрова и его разрушения. Характеристики продолжительности залегания снежного покрова и их критерии, приняты в соответствии с методикой ГГО. В работе для получения среднегодового ряда усреднялась среднедекадная высота за 7 месяцев (октябрь, ноябрь, декабрь, январь, февраль, март, апрель) холодных сезонов 1960/61 – 2011/12 гг.

Для м/станции Нальчик с помощью статистического пакета программы SPSS были посчитаны следующие статистики: среднее со стандартной ошибкой, стандартное отклонение, минимум, максимум, размах, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса, экстремальные значения (выбросы и экстремумы), климатическая норма (многолетнее среднее за период 1961-1990 гг.), тест Колмогорова – Смирнова на нормальность кривой распределения, Т-тест на сравнение равенства среднего с климатической нормой, аномалии характеристик снежного покрова – отклонения текущих средних (1961-2012 гг.) от климатических норм (1961-1990 гг.).

Следствием изменения климата становятся экстремальные явления, которые можно обнаружить по изменениям в распределении рядов и частоте их появления. Климатический экстремум – это достижение метеорологической или климатической переменной значения, которое выше (ниже) некоторого порога, близкого к верхнему (или нижнему) диапазону наблюдаемых значений переменной [1,2]. При исследовании экстремальности рядов стро-

ился ранжированный ряд, разбивался на квантили (25%, 50%, 75%) и находилась разница между 75% и 25% квантилями. Значения, превышающие более чем на полторы разницы между 75%-м и 25%-тым квантилями, являются выбросами, а превышающие более чем на три разницы между 75%-м и 25%-тым квантилями являются экстремумами [3,4].

Предгорная м/станция Нальчик (Кабардино-Балкарская республика) расположена между Пастбищным и Терским хребтами на высоте 500 м н.у.м. Полученные статистические характеристики за период с 1961-2012 гг. по данным м/станции Нальчик приведены в таблице 1.

Таблица 1

Статистические характеристики снежного покрова за 1961-2012 гг.,
Нальчик

№ п/п	Статистики	Средне-декадная высота снега, см	Число дней со снежным покровом, п, дни	Начало появления снежного покрова, дата	Конец схода снежного покрова, дата	Установление устойчивого снежного покрова, дата	Разрушение устойчивого снежного покрова, дата
1	Среднее (ст. ошибка), \bar{X}	4,1 (0,4)	62 (3)	17 ноября (3 дня)	22 марта (2 дня)	22 декабря (4 дня)	25 февраля (4 дня)
2	Стандарт. отклонение, σ	2,8см	22	21	14	21	22
3	Минимум, min (сезон, гг.)	1 см (1965/1966) 0,8 см 1980/1981	20 (1965/1966) 22 1980/1981	13.10.2004	07.02.1966	10.11.1991	13.01.1992
4	Максимум, max (сезон, гг.)	15,1см (2011/2012)	118 (1973/1974)	16.01.2011	23.04.1993	29.01.1984	22.03.1976
5	Размах, R	14,3см	98	96	76	81	70
6	Асимметрия, A_s	1,7	0,46	0,6	0,12	-0,50	-0,71
7	Экспесс, E	3,8	0,19	0,03	1,18	-0,66	-0,59
8	Нормальность распределения, $P \geq 0,05$	0,12 > 0,05 норм.	0,85 > 0,05 норм.	0,39 > 0,05 норм.	0,72 > 0,05 норм.	0,62 > 0,05 норм.	0,51 > 0,05 норм.
9	Климат. норма (1961-99гг.), N	3,8 см	61	18 ноября	19 марта	1 января	4 марта
10	T-тест Sig $\geq 0,05$ (равны)	0,46 > 0,05 равны	0,71 > 0,05 равны	0,64 > 0,05 равны	0,19 > 0,05 равны	0,49 > 0,05 равны	0,09 > 0,05 равны
11	Экстремумы	2 экстр $\geq 11,1$ см	1 экстр ≥ 118	нет	1 экстр ≤ 1 2 экстр ≥ 75	нет	нет
12	Угловой коэф-т тренда, a /10 лет	0,26 см/10 лет	0,35 дней /10 лет	-1,3 день /10 лет	2,3 дня /10 лет	0,1 день /10 лет	-6,0 дня /10 лет
13	H, показатель Херста (формула)	0,57	0,65	0,71	0,69	-	-

Для возможности статистической обработки рядов с датами «начало/конец снежного покрова», а также с датами «установления/разрушения устойчивого снежного покрова» нами было предложено представить исходный ряд в виде числовых переменных, для чего была произведена его кодировка. Из

рядов с датами начала появления покрова по данным всех м/станций выбиралась самая ранняя дата начала покрова – «29 сентября», ей в соответствие ставился номер «1», далее календарным дням присваивалась нумерация по порядку: «2», «3», «4» и т.д. до достижения самой поздней даты начала снежного покрова 25 января – «119» (табл.2). Затем для каждой м/станции ставился в соответствие исходному ряду с датами порядковый номер (код), после чего формировались ряды с числовыми переменными (табл.3).

Таблица 2

Кодировка дат начала снежного покрова по данным 11 м/станций

Дата	Код
29.09	1
30.09	2
01.10	3
02.10	4
...	...
22.01	116
23.01	117
24.01	118
25.01	119

Таблица 3

Таблица соответствия «дата-код» для ряда «начало снежного покрова»

Годы	Ряд с реальными датами	Ряд с кодированными датами
1961	19.01	113
1962	14.11	47
1963	12.11	45
1964	28.11	61
...
2009	11.12	74
2010	15.12	78
2011	18.01	112
2012	07.11	40

Аналогично производилась кодировка дат конца схода покрова и дат «установления/разрушения устойчивого снежного покрова». После получения массива данных с числовыми переменными, к ним могут быть применены все методы статистической обработки.

В результате статистической обработки дат начала и схода снежного покрова в Нальчике за период 1961-2012 гг. получены следующие осредненные даты:

начало снежного покрова – 17 ноября (станд. ошибка 3 дня), при этом самая ранняя дата начала появления снежного покрова наблюдалась 13 октября 2004 года, а самая поздняя дата начала снежного покрова – 16 января 2011 года, разница в появлении снежного покрова достигала 96 дней (рисунок 1а). Экстремально рекордных дат начала появления и конца схода снежного покрова за исследованный период на м/станции Нальчик не наблюдалось.

Уравнение линейного тренда начала снежного покрова за период 1961-2012 гг.:

$$y = -0,13x + 53 \quad (1)$$

конец схода снежного покрова – 22 марта (станд. ошибка 2 дня). Самый ранний сход снежного покрова наблюдался 7 февраля 1966 г., а самый поздний – 23 апреля 1993 г., эти же даты являются экстремальными для данного ряда (рисунок 1б). Разброс между самым ранним и самым поздним сроком схода снежного покрова составил 76 дней. За исследованный период 1961-2012 гг. по данным м/станции Нальчик начало снежного покрова сместилось в сторону более ранних дат примерно на 1 день за 10 лет, и приблизилось к началу ноября, а дата конца схода снежного покрова сместилась в сторону более поздних дат примерно на 2 дня (4) за 10 лет, смещаясь к концу апреля.

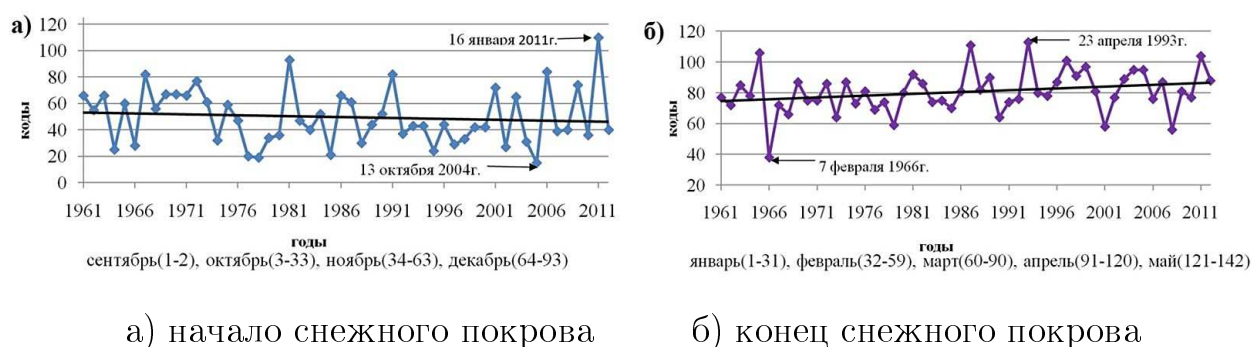


Рисунок 1 – Изменение дат начала и конца СП с линейным трендом за 1961-2012 гг., Нальчик

Уравнение линейного тренда конца схода снежного покрова за период 1961-2012 гг.:

$$y = 0,23x + 77 \quad (2)$$

Ряды дат установления **устойчивого снежного покрова** являлись прерывистыми, то есть годы с устойчивым снежным покровом сменяются годами его отсутствия. Из уравнения линейного тренда (3) и рисунка 2а видно, что наблюдалась небольшая тенденция смещения дат установления устойчивого снежного покрова в сторону более поздних дат, примерно на 0,12 дня за 10 лет или на 1 день за 100 лет, что позволяет сделать вывод о стабильности даты установления устойчивого снежного покрова. Из 52-летнего ряда устойчивый снежный покров наблюдался лишь для 26 сезонов, то есть в среднем каждый второй год был без устойчивого снежного покрова.

Уравнение линейного тренда установления устойчивого снежного покрова за 1961-2012 гг.:

$$y = 0,012x + 58 \quad (3)$$

Из графика (рисунок 2б) видно, что линейный тренд разрушения устойчивого снежного покрова имеет значительное смещение в сторону более ранних дат.

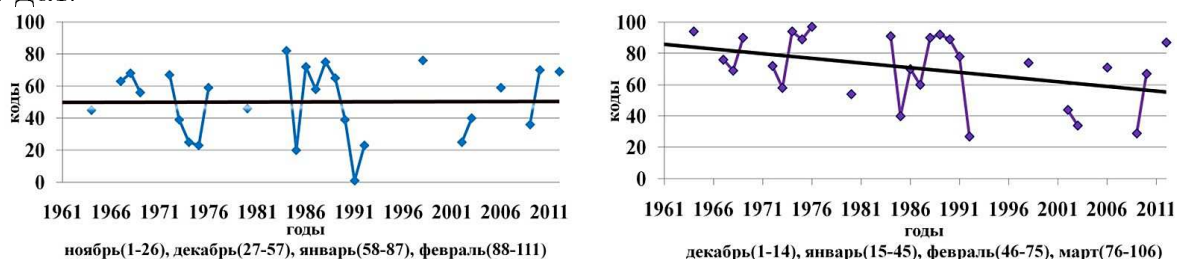


Рисунок 2 – Тенденции изменения дат установления/разрушения устойчивого снежного покрова, Нальчик, 1961-2012 гг.

Из уравнения (4) следует, что на м/станции Нальчик каждые 10 лет разрушение устойчивого покрова начиналось раньше примерно на 6 дней.

Уравнение линейного тренда разрушения устойчивого снежного покрова за 1961-2012 гг.:

$$y = -0,59x + 83(4)$$

Для среднедекадной высоты СП и числа дней со СП были продлены ряды данных до сезона 2017-2018 гг. и построены графики аномалий среднедекадной высоты и изменения числа дней со СП.

За период с 1961 года по 2018 гг. на предгорной станции Нальчик имело место небольшое увеличение среднемесячной высоты снежного покрова на 0,33 см/10 лет, тренд статистически не значим (3%, рисунок 3). В современный период с 1976 г. происходило незначительное усиление роста высоты СП до 0,44 см/10 лет (3%, рисунок 4).

Таблица 4

Регрессионная статистика среднедекадной высоты СП за 1961-2018 гг.

Множественный R	0.169
R-квадрат	0.03
Нормированный R-квадрат	0.011
Стандартная ошибка	3.302
Наблюдения	58

Таблица 5

Дисперсионный анализ среднедекадной высоты СП за 1961-2018 гг.

$y = ax+b$	df	SS	MS	F	Значи- мость F	
Регрессия	1	17.852	17.852	1.638	0.206	
Остаток	56	610.431	10.901			
Итого	57	628.283				
	<i>Кoeffи- циен- ты</i>	<i>Стан- дартная ошибка</i>	<i>t-ста- тисти- ка</i>	<i>P- значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
У-пе- ресече- ние, b	3.241	0.878	3.690	0.001	1.481	5.000
Пере- менная X, a	0.033	0.026	1.280	0.206	-0.019	0.085

Из регрессионной статистики мы определяем статистическую значимость коэффициента детерминации через критерий Фишера (таблица 5). Значимость критерия Фишера равно 0,206 при 95% доверительном интервале, следовательно, коэффициент детерминации статистически не значим. Далее определяется статистическая значимость для коэффициента a через статистику Стьюдента. Его значение превышает допустимую ошибку 0,05 и, следовательно, угловой коэффициент статистически не значим.

Таблица 6

Регрессионная статистика числа дней со СП за 1961-2018 гг.

Множественный R	0.127
R-квадрат	0.016
Нормированный R-квадрат	-0.001
Стандартная ошибка	21.622
Наблюдения	58

Таблица 7

Дисперсионный анализ числа дней со СП за 1961-2018 гг.

$y = ax+b$	df	SS	MS	F	Значимость F	
Регрессия	1	429.755	429.755	0.919	0.342	
Остаток	56	26179.969	467.499			
Итого	57	26609.724				
	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t -статистика	P -значение	Нижние 95%	Верхние 95%
Y -пересечение, b	64.866	5.752	11.276	0.000	53.342	76.389
Переменная X , a	-0.163	0.170	-0.959	0.342	-0.502	0.177

Для числа дней значимость критерия Фишера 0,342 и он статистически не значим (таблица 7). Коэффициента a превышает допустимую ошибку 0,05 и, следовательно, угловой коэффициент также статистически не значим.

Из рисунка 3 видно, что сезонов с положительными аномалиями среднедекадной высоты снежного покрова меньше, чем сезонов с отрицательными аномалиями ($22 < 36$), но положительные аномалии высоты снега превосходят по абсолютной величине отрицательные. Самое большое превышение климатической нормы $\Delta H = 11,3$ см в Нальчике наблюдалось в сезон 2011/2012 гг.

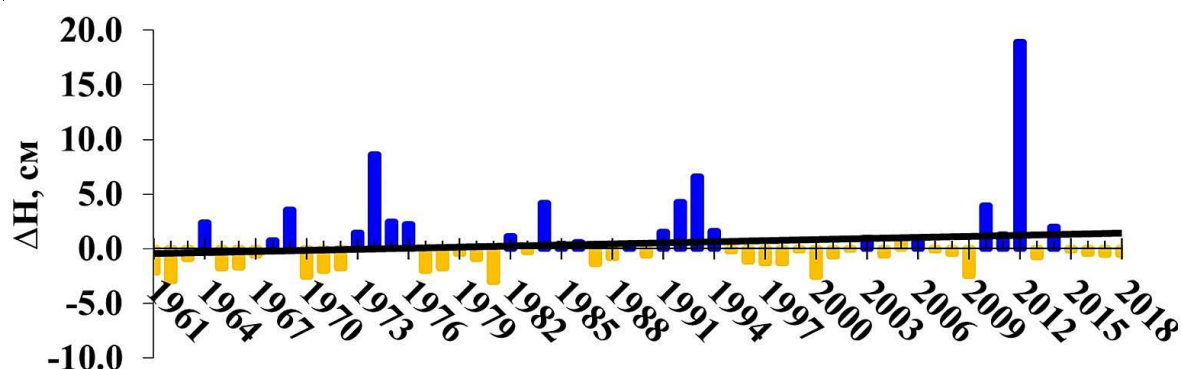


Рисунок 3 – Аномалии среднедекадной высоты СП с линейным трендом за 1961-2018 гг., Нальчик

Уравнение линейного тренда среднедекадной высоты снежного покрова за период 1961-2018 гг.:

$$y = 0,033x - 0,5 \quad (5)$$

Уравнение линейного тренда среднедекадной высоты снежного покрова для периода 1976-2018 гг. имеет вид:

$$y = 0,044x + 3,4 \quad (6)$$

Из сравнения угловых коэффициентов уравнений (5) и (6) следует, что скорость роста среднедекадной высоты снежного покрова с 1976 г. по сравнению с 1961 г. увеличилась с 0,33 см/10 лет до 0,44 см/10 лет.

За весь исследованный период имелось два экстремальных значения высоты снежного покрова, превышающих пороговое $h=11,1$ см, из которых один выброс приходился на базовый период 1961-1990 гг. (в 1974 г. – 11,1 см), и один экстремум ($h>12$ см) на современный период 1991-2012 гг. ($h=15,1$ см) за счет аномально большого количества осадков, выпавших в феврале 2012 г.: $h=42$ см в 1-й декаде февраля 2012 г., $h=40$ см во 2-й декаде февраля 2012 г., $h=38$ см в 3-й декаде февраля 2012 г.

Среднее число дней со снежным покровом за исследованный период составило 62 дня (станд. ошибка 3 дня) при климатической норме 61 день, Т-тест не выявил статистической разницы между этими величинами. Экстремально длинный холодный сезон со снежным покровом (118 дней) пришелся на сезон 1973/74 гг. Из анализа линейного тренда (7) и рисунка 4 видно, что число дней со снежным покровом имеет слабую тенденцию к небольшому уменьшению примерно на 1,6 дня за 10 лет.

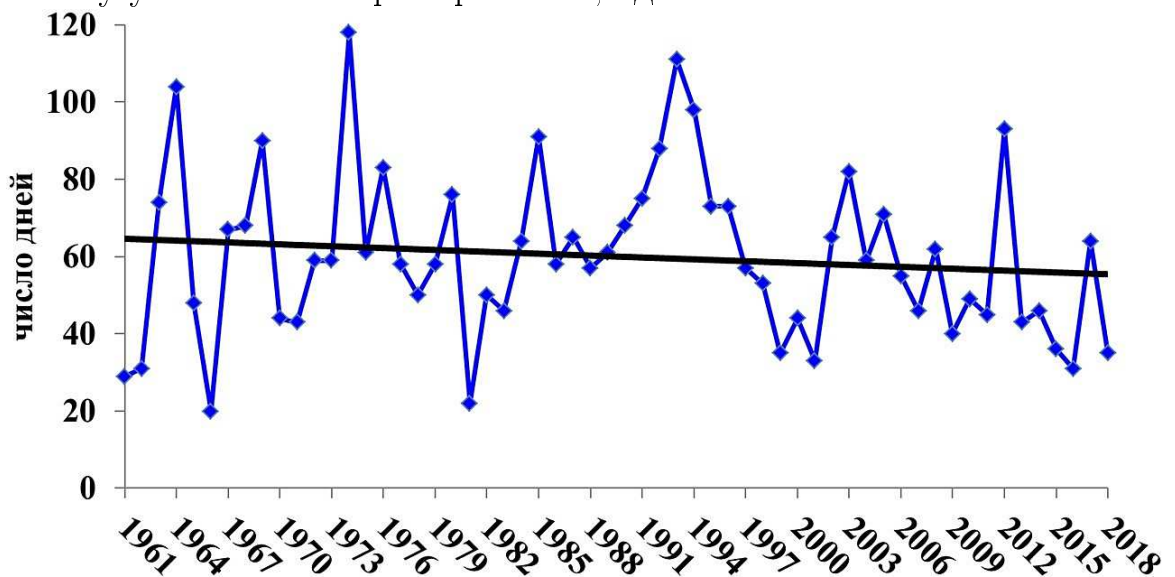


Рисунок 4 – Изменение числа дней со СП с линейным трендом за 1961-2018 гг., Нальчик

Уравнение линейного тренда числа дней со снежным покровом за период 1961-2018 гг.:

$$y = -0,163x + 65 \quad (7)$$

Таким образом, за период 1960/61-2011/12 гг. по данным м/станции Нальчик каждые 10 лет начало появления снежного покрова смещалось к более ранней дате на 1 день, а конец схода покрова смещался в сторону более поздних дат на 2 дня. При этом общая продолжительность снежного покрова менялась незначительно, примерно на 1,6 дня каждые 10 лет с тенденцией небольшого увеличения среднедекадной высоты снега на 0,33 см/10 лет. На рисунке 2б видно, что с 1991 года значительно уменьшилось количество лет с устойчивым снежным покровом, из 20 лет (1992-2012 гг.) лишь шесть лет (1992 г., 1998 г., 2002/03 гг., 2006 г., 2009/10 гг., 2012 г.) имели устойчивый снежный покров. Если в начале 60-х годов прошлого столетия разрушение устойчивого снежного покрова в Нальчике начиналось в начале марта, то в 10-е годы текущего столетия разрушение устойчивого покрова сместилось к середине февраля.

Работа выполнена при финансовой поддержке РГО. Грант № 12/2019-Р от 20 мая 2019 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глоссарий терминов. МГЭИК, 2001. Специальный доклад Рабочей группы III МГЭИК [под редакцией Б. Метца, О.Р. Дэвидсона и др.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 466 с.
2. Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А. Климатические характеристики снежного покрова Северного Кавказа и их изменения в период глобального потепления // Материалы Международной научно-практической конференции «Глобальные выводы современности и проблемы устойчивого развития юга России». Нальчик, КБНЦ РАН, 14-16 октября 2015 г. С. 258-264.
3. Ташилова А.А., Кешева Л.А., Пшихачева И.Н., Таубекова З.А. Исследование изменения режима осадков и повторяемости их экстремальных значений на юге России // Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященная 80-летию Эльбрусской Высокогорной комплексной экспедиции АН СССР. Нальчик, 7-9 октября 2014. Нальчик ООО «Печатный двор», Ч. 2. С. 294-302.
4. Ташилова А.А., Кешева Л.А. Анализ высоты снежного покрова в предгорной части Северного Кавказа // Международная научная конференция по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. Казань, 2-4 октября 2012 года. С. 206-207.

ABSTRACT

This paper presents the results of studies of changes in snow cover characteristics for the Nalchik weather station for the period 1961-2012 yy. The analysis of calculations of the average decade height of the snow cover, the number of days with snow cover (SP), the beginning and end of the descent of the SP, the establishment/destruction of a stable SP in the base (1961-1990) and the modern period is Presented. In order to obtain the average annual characteristics, the average monthly snow cover data for 7 months (October, November, December, January, February, March, April) of the cold seasons of 1960/61-2011/12 were averaged. For the average decadal altitude and the number of days with descent, the series were extended to 2018 and analyzed.

Keywords: snow cover height, number of days with snow cover, trend, extremum, climatic norm.

High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik; kesheva.lara@yandex.ru; nata0770@yandex.ru

© А.А. Tashilova,
Л.А. Kesheva,
N.V. Teunova, 2019

АННОТАЦИЯ

В настоящей работе представлены результаты исследований изменений характеристик снежного покрова для метеостанции Нальчик за период 1961-2012 гг. Приведен анализ расчетов среднедекадной высоты снежного покрова, числа дней со снежным покровом (СП), начало появления и конец схода СП, установление/разрушение устойчивого СП в базовый (1961-1990 гг.) и современный период. В работе для получения среднегодовых характеристик усреднялись среднемесячные данные снежного покрова за 7 месяцев (октябрь, ноябрь, декабрь, январь, февраль, март, апрель) холодных сезонов 1960/61-2011/12 гг. Для среднедекадной высоты и числа дней со СП ряды были продлены до 2018 года и проведен их анализ.

Ключевые слова: высота снежного покрова, число дней со снежным покровом, тренд, экстремум, климатическая норма.

ФГБУ “Высокогорный геофизический институт”, Нальчик; kesheva.lara@yandex.ru; nata0770@yandex.ru

© А.А. Ташилова,
Л.А. Кешева,
Н.В. Теунова, 2019