НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ. 2024. №1. С. 71–90
SCIENCE. INNOVATIONS. TECHNOLOGIES. 2024; (1): 71–90
1. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ
1.6.18. Науки об атмосфере и климате (физико-математические науки)

Научная статья
УДК 551.583
https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.1.4

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СЕЛЕЙ НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ВЫСОКОГОРНОЙ ЗОНЕ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

Алла Амарбиевна Ташилова[1]*,
Людмила Михайловна Федченко[2],
Михаил Чоккаевич Залиханов[3]
Наталия Владимировна Кондратьева[4]

[1,2,3,4] Высокогорный геофизический институт (д. 2, пр. Ленина, 360030, Нальчик, Российская Федерация)
[1] tashilovaa@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-2368-6047
[2] fedchenkolm@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-2104-6289
[3] zalihanovm@mail.ru; https://orcid.org/ 0000-0002-5248-521X
[4] kondratyeva_nat@mail.ru; https://orcid.org/0000-0001-7313-4489
* Автор, ответственный за переписку.

Аннотация. Объектом исследования являются опасные склоновые явления (сели) в горах Кабардино-Балкарской республики (КБР) на фоне изменения климатических условий теплого сезона (май-сентябрь). В работе приводятся результаты статистического, частотного и регрессионного анализа динамики числа сходов селей, сумм осадков, средних температур высокогорной зоны КБР в период 1953–2015 гг. Статистический анализ временных рядов проводился с помощью пакета программ SPSS 20.0. Линейные тренды были построены с помощью встроенной функции рабочего листа Excel ЛИНЕЙН. Эффективность (коэффициент детерминации R^2) и качество регрессионных моделей в целом и по параметрам оценивались с помощью критерия Фишера (F) и их значимостей (Sig.). Для выявления статистического равенства или неравенства средних показателей в двух периодах использовался t-критерий. Получено, что в период 1953–2015 гг. имел место незначительный рост суммы осадков и средней температуры. При анализе статистик рядов в двух периодах 1953–1983 гг. и 1984–2015 гг. получено, что средние и суммарные характеристики количества селей, сумм осадков и температур возрастают во втором периоде. Частотный анализ показал, что из 499 случаев схода селей за 63 года 32 % приходилось на 9 случаев в сезон (май – сентябрь). Частотный анализ подтвердил однородность распределения сумм осадков: почти в 60 % случаев сумма осадков варьируется в узком интервале от 92,7 до 104,1 мм. Для ряда температур наиболее часто (37 %) имела место сред-

© Ташилова А. А., Федченко Л. М., Залиханов М. Ч., Кондратьева Н. В., 2024

няя температура теплого сезона t = 10,2 °С; 31 % соответствовал интервалу температуры от 10,7 °С до 11,8 °С. Проведенный анализ позволяет говорить об усилении частоты опасных склоновых явлений на фоне современного изменения климата, в том числе в высокогорной зоне.

Ключевые слова: количество сходов селей, сумма осадков, средние температуры, описательная статистика, регрессия, частотный анализ, *F*-критерий, *t*-тест

Для цитирования: Ташилова А. А., Федченко Л. М., Залиханов М. Ч., Кондратьева Н. В. Анализ динамики селей на фоне климатических изменений в высокогорной зоне Кабардино-Балкарии // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 1. С. 69–90. https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.1.4

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 02.10.2023;
одобрена после рецензирования 02.12.2023;
принята к публикации 01.02.2024.

1.6.18. **Atmospheric and Climate Sciences (Physical and Mathematical Sciences)**
Research article

Analysis of the dynamics of mudflows amid climate changes in the high mountain zone of Kabardino-Balkaria

Alla A. Tashilova[1*], Lyudmila M. Fedchenko[2], Mikhail Ch. Zalikhanov[3] Nataliya V. Kondratyeva[4]

[1, 2, 3, 4] High-Mountain Geophysical Institute (2, Lenin av., 360030, Nalchik, Russian Federation)
[1] tashilovaa@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-2368-6047
[2] fedchenkolm@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-2104-6289
[3] zalihanovm@mail.ru; https://orcid.org/ 0000-0002-5248-521X
[4] kondratyeva_nat@mail.ru; https://orcid.org/0000-0001-7313-4489
[*] Corresponding author

Abstract. The object of the study is a dangerous slope phenomenon (mudflow) in the mountains of the Kabardino-Balkarian Republic (KBR) against the background of changing climatic conditions of the warm season

(May-September). The paper presents the results of statistical, frequency and regression analysis of the dynamics of the number of mudflows, precipitation amounts, and average temperatures in the high-mountain zone of the KBR in the period 1953–2015. Statistical analysis of time series was carried out using the SPSS 20.0 software package. Linear trends were generated using Excel built-in LINEST worksheet function. The efficiency (coefficient of determination R^2) and quality of regression models in general and by parameters were assessed using the Fisher test (F) and their significance (Sig.). The t-test was used to identify statistical equality or inequality of means between two periods. It was found that in the period 1953–2015 there was a slight increase in precipitation and average temperature. When analyzing the statistics of series in two periods 1953–1984 and 1984–2015, it was found that the average and total characteristics of the number of mudflows, precipitation and temperatures increase in the second period. Frequency analysis showed that out of 499 cases of mudflows over 63 years, 32 % occurred in 9 cases per season (May-September). Frequency analysis confirmed the homogeneity of the distribution of precipitation amounts: in almost 60 % of cases, the precipitation amount varies in a narrow range from 92.7 mm to 104.1 mm. For a number of temperatures, the most common (37 %) was the average temperature of the warm season t = 10.2 °C; 31% corresponded to the temperature range from 10.7 °C to 11.8 °C. The analysis allows us to talk about an increase in the frequency of dangerous slope phenomena against the background of modern climate change, including in the high mountains.

Keywords: quantity of mudflows, total precipitation, average temperatures, descriptive statistics, regression, frequency analysis, *F*-test, *t*-test

For citation: Tashilova AA, Fedchenko LM., Zalikhanov MCh, Kondratyeva NV. Analysis of the dynamics of mudflows amid climate changes in the high mountain zone of Kabardino-Balkaria. Science. Innovations. Technologies. 2024;(1):69–90. (In Russ.). https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.1.4

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 02.10.2023;
approved after reviewing 02.12.2023;
accepted for publication 01.02.2024.

Введение

Высокогорная зона Кабардино-Балкарии, согласно оценке авторов Кадастра селевой опасности юга Европейской части России [1], характеризуется высокой степенью селевой опасности. Катастрофические селевые процессы со значительными разрушениями неоднократно происходили в XX – начале XXI в. на фоне регионального изменения климата [2–8]. Интерес к количественной оценке селевого риска в этом регионе всегда определялся освоением региона Приэльбрусья в качестве туристско-рекреационной территории, значительно активизировавшейся в последние годы. Не меньший интерес представляют аналогичные исследования в других регионах Российской Федерации. И. В. Мальневой в работе [5] сделан вывод, что повышение температуры за теплый период в высокогорье Центрального Кавказа будет способствовать увеличению активности гляциальных селей. Повышение температур связано с изменением многолетнего режима атмосферной циркуляции, определяющего селеопасную погоду на данной территории (элементарный циркуляционный механизм (ЭЦМ) 12а, 13л и др. по типизации Б. Л. Дзердзеевского www.atmospheric-circulation.ru). В работе [6] авторы (Шныпарков А. Л., Колтерманн П. К. и др.) отмечают, что на Черноморском побережье Кавказа продолжительный период с положительной температурой воздуха формирует благоприятные условия для длительного селеопасного периода, в высокогорье – до 6–7 месяцев. Ведущую роль в формировании селевых процессов играет увеличение количества осадков на Черноморском побережье Кавказа. По результатам исследования восточных районов РФ автор (Лапердин В. К.) в работе [7] делает вывод, что на основе анализа за прошедший период (45 лет) произошло изменение климата, определившего уменьшение выпадения интенсивных многодневных осадков, в отличие от юга Европейской части России, и формирования селей в целом по Восточной Сибири.

Метеорологические показатели погоды, влияние которых на развитие селевых процессов были выявлены в процессе исследований, широко используются для краткосрочных (заблаговременных до 2–3 дней) прогнозов схода селей в текущий сезон [9]. Необходимо отметить, что время и повторяемость селевой опасности, которые находятся в прямой зависимости от синоптического фактора

(даты выпадения аномально высокого количества осадков), пока не прогнозируются.

Целью данного исследования является выявление особенностей динамики количества сходов селей на фоне длительного (более 60 лет) изменения сумм осадков, средних температур высокогорной зоны Кабардино-Балкарской республики. В работе приводятся результаты статистического, регрессионного и частотного анализа исследуемых рядов для понимания проблемы опасности роста схода селей в современный период.

Материалы и методы исследований

В работе проведен статистический и регрессионный анализ числа сходов селей в теплые сезоны года (май-сентябрь) с 1953 по 2015 г. в высокогорной зоне Кабардино-Балкарии, данные о которых были предоставлены д.г.н. Н.В. Кондратьевой [10]. Климатологические исследования основываются на данных многолетних метеорологических наблюдений на метеостанции Терскол с 1953 по 2015 г., предоставленные Северо-Кавказским УГМС. Терскол – высокогорная станция, расположенная в Баксанском ущелье между склоном горы Чегет и Терскольским ущельем на высоте 2144 м над уровнем моря.

Для анализа динамики процесса важно, чтобы с учетом конкретных целей исследования временной ряд имел достаточную длину. Из работы [11] следует, что 50 значений за период наблюдений считается достаточным, в нашем случае – это 63 значения.

Статистический анализ временных рядов проводился с помощью программы SPSS 20.0 [12]. В статистический пакет SPSS 20.0 входят отдельные модули, в которых представлен набор статистических процедур для исследования временных рядов: описательные методы, включая метод бутстрепа; корреляционные и регрессионные методы, методы сглаживания (простое скользящее среднее, Брауна, Холта и др.), метод частотного анализа (гистограммы), определение экстремальных значений.

Линейные тренды, характеризующие тенденцию рассматриваемых величин за период наблюдений с 1953 по 2015 г. были построены с помощью встроенной функции рабочего листа Excel ЛИ-

НЕЙН. Регрессионная статистика включает в себя угловые коэффициенты с ошибками, свободный член с ошибкой, статистику Фишера (F), статистику Стьюдента (t-критерий) для определения статистической значимости полученных коэффициентов, коэффициент детерминации (R^2):

$$R^2 - 1 = \frac{\sum(\hat{y}-\bar{y})^2}{\sum(y-\hat{y})^2} \quad (1)$$

где $\sum(\hat{y}-\bar{y})^2$ – сумма квадратов отклонений, обусловленная регрессией;

$\sum(y-\hat{y})^2$ – остаточная сумма квадратов отклонений.

С помощью критерия Фишера оценивалось качество регрессионной модели в целом и по параметрам. Для проверки гипотезы о значимости коэффициента детерминации (тренда) рассчитывался критерий Фишера (F-тест) по формуле:

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{n-k-1}{k}, \quad (2)$$

где R^2 – коэффициент детерминации,

n – число наблюдений,

k – число независимых параметров линейной регрессии. Число степеней свободы определялось выражением $d_f = n - k - 1$.

Для проверки гипотезы о значимости коэффициента детерминации тренда рассчитывалось фактическое значение критерия Фишера ($F_{факт.}$) по формуле (2). Теоретическое значение критерия Фишера ($F_{теор.}$) определялось из таблиц при заданном уровне значимости $p = 0{,}05$ и числе степеней свободы $d_f = 61$ [13]. Если фактическое значение критерия Фишера выше теоретического ($F_{факт.} > F_{теор.}$), то тренд статистически значим. Результаты регрессии рядов с указанием угловых коэффициентов регрессии, их погрешностей, эффективностей моделей (R^2) и значений статистик Фишера (F) и их значимостей (*Sig.*) сведены в таблицу 1.

Результаты исследований и их обсуждение

Как показали результаты исследования (табл. 1) линейная регрессия ряда числа сходов селей характеризовалась положительным угловым коэффициентом a = 0,08 n/год, и за исследованный период (63 года) происходил рост количества селей на ~1/10 лет. При учете стандартной ошибки δ минимальная и максимальная границы 95 % доверительного интервала для углового коэффициента определялись как [0,08 – 2δ; 0,08 + 2δ] и принимали значения 0,0034 n/год и 0,156/год, то есть рост количества варьировался от нуля до полутора за десятилетие. По показателям статистической надежности (R^2 = 0,067, $F_{факт.}$ = 4,36 превышает $F_{теор.}$ = 4,0 на 5%-ном уровне *Sig.* 0,041<0,05*)* данная регрессионная модель обес-

Таблица 1. РЕГРЕССИЯ РЯДОВ ЧИСЛА СХОДА СЕЛЕЙ, СУММ ОСАДКОВ И СРЕДНИХ ТЕМПЕРАТУР В ТЕПЛЫЕ ПЕРИОДЫ (МАЙ-СЕНТЯБРЬ) 1953–2015 ГГ.
Table 1. Regression of series of the number of mudflows, precipitation amounts and average temperatures during warm periods (May-September) 1953–2015 гг.

Y = ax + b	**Число селей**	**Осадки**	**Температура**
Угловой коэффициент регрессии a,	**0,08 n/год**	**0,17 мм/год**	**0,005 °С/год**
Стандартная ошибка, δ	0,038	0,12	0,006
Нижние 95 %	0,0034	0,0	-0,006
Верхние 95 %	0,156	0,42	0,016
Коэффициент детерминации R_2	0,067*	0,028	0,012
Критерий Фишера фактический, Fфакт.	4,36	1,78	0,76
Критерий Фишера табличный на 5% уровне для df = 61, Fтеор	4,0	4,0	4,0
Значимость Sig. F-крит. на 5 % уровне (p < 0,05)	0,041	0,19	0,39

* статистически значимый R_2 выделен полужирным.

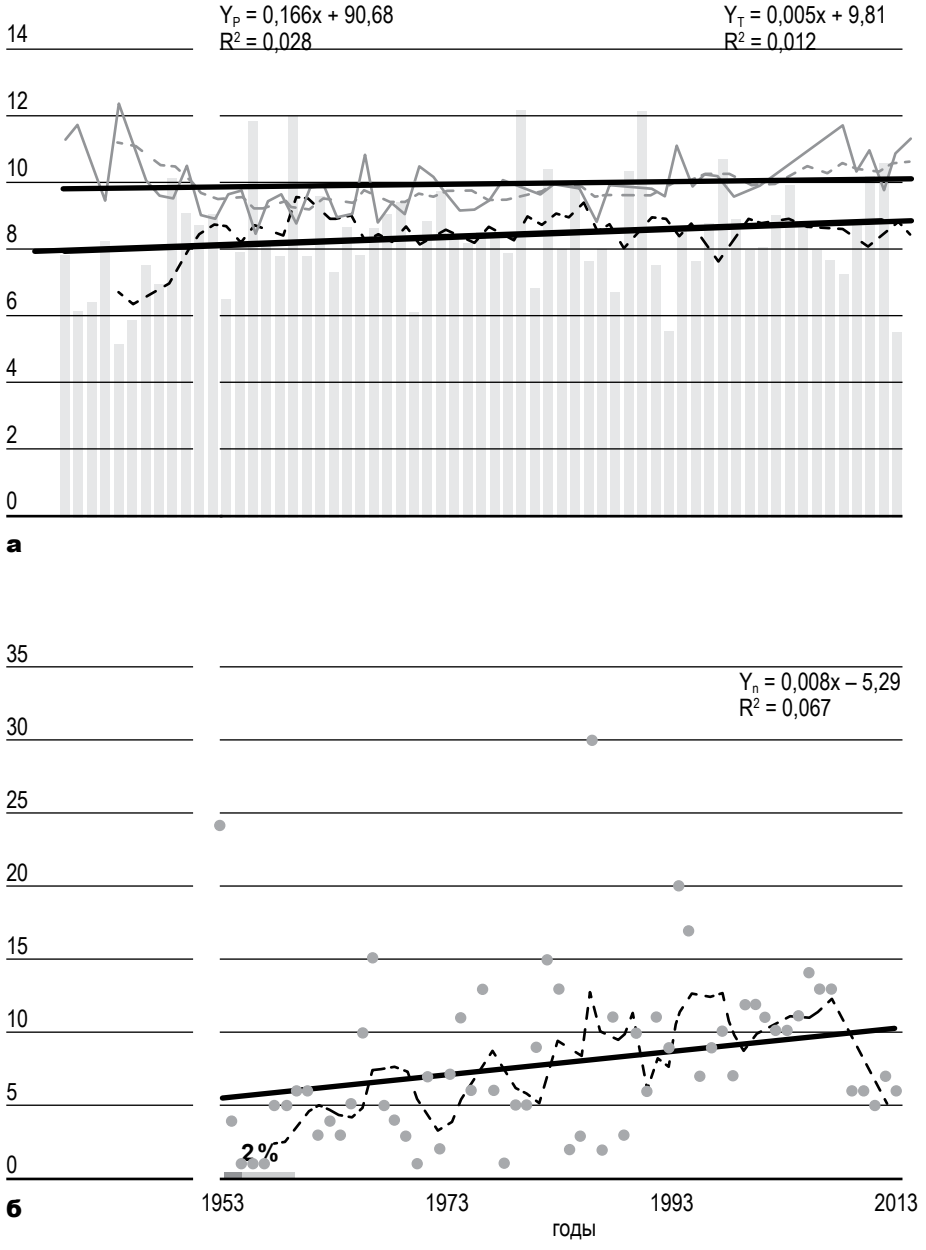

Рис. 1. **Динамика рядов: а) число сходов селей (Y_n), б) сумма осадков (Y_P, диаграмма), средняя температура (Y_T, ломаная) с линейными трендами (прямые) и 5-летними скользящими средними (пунктирные линии), 1953–2015 гг.**

Fig. 1. Dynamics of series: a) the quantity of mudflows (Y_n), b) the sum of precipitation (Y_P, diagram), average temperature (Y_T, broken line) with linear trends (straight lines) and 5-year moving averages (dashed lines), 1953–2015.

печивает вероятность получения такого тренда не случайно. Увеличение количества селей имело место на статистически значимом уровне.

В период 1953–2015 гг. наблюдался незначительный рост суммы осадков на 1,66 мм/10 лет (R^2 = 0,028, $F_{факт.}$ =1,78 < $F_{теор.}$= 4,0 на 5 % уровне *Sig.* 0,19 > 0,05) и средней температуры на 0,05 °С/10 лет (R^2= 0,012, $F_{факт.}$ = 0,76 < $F_{теор.}$= 4,0 на 5 % уровне *Sig.* 0,39 > 0,05).

Хотелось бы заметить, что с начала 60-х гг. XX столетия в высокогорной зоне Кавказа наблюдается статистически значимый рост температуры в теплый период на 0,32 °С/10 лет (R^2 = 0,44 %, *Sig.* 0,0 < 0,05) на фоне незначительного роста осадков (1,77 мм/10 лет, R^2 = 0,004), сравнимый с ростом температур в других климатических зонах юга европейской территории России, становясь все более значительным фактором, оказывающим влияние на деградацию ледников и уменьшение водного баланса горных территорий [14, 15].

Представление о природе временного ряда можно составить по его графику (рис. 1) с линейным трендом и скользящим средним. Одним из непараметрических методов выявления тренда является метод скользящего среднего, при котором случайные отклонения погашаются. При сглаживании этим методом значения уровней ряда заменяются средними значениями, которые характеризуют срединную точку периода скольжения.

На графике рисунка 2а резко выделяющиеся значения обозначают периоды повышения селевой активности, что косвенно указывает на то, что ряд содержит циклическую компоненту. Из рисунка 2б видно, что с начала 50-х до 70-х гг. температура понижалась, а сумма осадков незначительно увеличивалась, далее имело место медленное увеличение как температуры, так и осадков [14]. Для полного анализа структуры ряда и выделения возможных периодичностей необходимо в дальнейшем провести спектральный анализ.

Коротко опишем основные статистические характеристики рядов для всех подпериодов, воспользовавшись данными результатов описательной статистики для всего периода 1953–2015 гг., первого и второго подпериодов: 1953–1983 гг. и 1984–2015 гг. (табл. 2).

Таблица 2. ОПИСАТЕЛЬНЫЕ СТАТИСТИКИ РЯДОВ:
а) числа схода селей,
б) сумм осадков,
в) средней температуры
Table 2. Descriptive statistics of the series: a) quantity of mudflows, b) amounts of precipitation, c) average temperature

Статистики	1953–2015 гг.			1953–1983 гг.			1984–2015 гг.		
	а) n	б) мм	в) °С	а) n	б) мм	в) °С	а) n	б) мм	в) °С
Среднее, $\bar{x}$	7,9	95,9	9,96	6,4	93,77	9,82	9,6	98,26	10,09
Медиана, *Me*	6	93,88	9,840	5	93,7	9,60	10	96,0	9,92
Мода, *Mo*	6	94,9	9,6	5	58,32	9,02	6	62,58	9,82
Стандартное откл., σ	5,67	18,06	0,81	5,2	17,55	0,92	5,70	18,28	0,66
Дисперсия, σ	32,1	326,3	0,657	27,08	307,9	0,848	32,50	334,4	0,44
Асимметрия *As*	1,41	0,36	0,73	1,53	0,39	1,08	1,48	0,34	0,61
Эксцесс, *E*	3,17	0,26	0,43	3,03	0,76	0,85	4,21	0,18	0,31
Размах, *R*	30	80,2	3,9	24	78,54	3,90	28	75,92	2,96
Минимум, *Min*	0	58,3	8,5	0	58,32	8,50	2	62,58	8,70
Максимум, *Max*	30	138,5	12,4	24	136,9	12,40	30	138,5	11,66
Сумма среднего, ∑	499	6047,5	627,8	191	2903,4	304,9	308	3144,1	323,0

Из таблицы 2 видно, что средние и суммарные характеристики количества селей возрастают во втором подпериоде: среднеарифметическое с $n = 6{,}3$ до $n = 9{,}6$, медиана с $Me = 5$ до $Me = 10$, сумма среднего со $\sum = 191$ до $\sum = 308$ на статистически

значимом уровне. Средние характеристики суммы осадков увеличились с $\bar{x}$ – 93,77 мм до $\bar{x}$ – 98,26 мм, суммарные с $\sum$ = 2903,4 мм до $\sum$ = 3144,12 мм. Средние характеристики температуры выросли с $\bar{x}$ – 9,82 °С до $\bar{x}$ – 10,09 °С, медиана с *Me* = 9,6°С до *Me* = 9,92 °С, сумма температур с $\sum$ = 304,9 °С до 323,02 °С.

Для выявления сходства и различия в характеристиках колеблемости рядов рассмотрим коэффициенты осцилляции (*K*) и вариации (*V*). Они позволяют сравнить характер разброса в различных распределениях и определить, насколько однородна рассматриваемая выборка. Расчет показателей меры относительного разброса осуществляется как отношение абсолютного показателя (для осцилляции – это размах *R*, для вариации – это среднеквадратическое отклонение σ) к средней арифметической $\bar{x}$, выраженное в процентах [10]. Коэффициент осцилляции отражает относительную изменяемость крайних значений (*R*) признака вокруг средней $\bar{x}$:

$$K = \frac{R}{\bar{x}} 100\,\%. \qquad (3)$$

Характеристику колеблемости всех вариантов совокупности, коэффициент вариации *V* дает оценку типичности средних величин:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100\,\%. \qquad (4)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение,
$\bar{x}$ – среднее арифметическое значение выборки.

Вариация характеризует изменяемость величины признака у отдельных единиц ряда, возникающая в результате того, что индивидуальные значения складываются под влиянием разнообразных факторов. Величина коэффициента вариации позволяет судить о степени однородности признаков ряда. Под однородными данными понимается некоторый уровень их рассеяния, при котором рассчитываемые статистические показатели (средняя, дисперсия и др.) будут давать надежную и качественную характеристику анализируемой совокупности. Если коэффициент вариации меньше 10 %, то степень рассеивания данных считается незначительной;

от 10 % до 20 % – средней;
больше 20 % – значительной.

Воспользовавшись данными из таблицы 2, рассчитаем коэффициенты осцилляции K_i и вариации V_i (i =3) рядов. Коэффициент K_1 ряда числа сходов селей равен: $K_1 = (R/\bar{x})100\% = (30/7{,}92)100\% = 378{,}8\%$. Разница между крайними значениями ($R = max - min = 30$) значительно (на 278,8 %) превышает среднее значение $\bar{x} = 7{,}92$, что является показателем наличия скрытых осцилляций в ряду. Коэффициент вариации V_1 ряда числа схода селей $V_1 = (5{,}67/7{,}92)100\% = 71{,}6\%$ характеризует его неоднородность, то есть 71,6 % составляет средний разброс случайной величины от среднего значения (7,92) этой величины. Величины рассчитанных коэффициентов свидетельствуют о том, что колеблемость уровней в первом ряду (число сходов селей) высокая: ряд следует считать неоднородным, а его среднее значение – ненадежным. Вместо среднеарифметического количества схода селей $n = 7{,}92$, на которое влияют высокие значения аномальных элементов ($n = 24$, $n = 30$), для надежного среднего надо использовать медиану $Me = 6$.

Для осадков коэффициенты осцилляции K_2 и вариации V_2 равны соответственно $K_2 = 83{,}6\%$ и $V_2 = 18{,}8\%$. Для температуры коэффициенты осцилляции K_3 и вариации V_3 принимают значения $K_3 = 39\%$ и $V_3 = 8{,}1\%$. Второй и третий ряды (осадки и температура) можно считать однородными, а их среднеарифметические – надежными.

На втором этапе определим стационарность временных рядов. Стационарность – это свойство временного ряда, которое означает, что его средние и стандартные отклонения не меняются со временем. Если временной ряд является стационарным, то его можно легко анализировать и прогнозировать. Нестационарный временной ряд может иметь тренд (постоянный рост или падение), цикличность (повторение циклов) или сезонность (повторение определенных событий в разное время года). Для этого ряд разбивается на две группы: составляются ряды данных за периоды 1953–1983 гг. (1 подпериод) и 1984–2015 гг. (2 подпериод), и проверяется гипотеза о равенстве средних значений и дисперсий данных

в этих группах. Используя модуль SPSS 20.0 с одно-выборочным *t*-тестом, получим результаты сравнения средних двух подпериодов. В случае с первым рядом (сели) *t*-тест показал уровень значимости $Sig. = 0{,}003 < 0{,}05$, то есть вероятность ошибки (0,33 %) при отклонении нулевой гипотезы значительно ниже уровня допустимой ошибки (5 %) при 95 % доверительном интервале. Нулевая гипотеза о равенстве средних может быть отклонена, и средние ($\bar{x}_1 = 6{,}4$, $\bar{x}_2 = 9{,}6$), дисперсии ($\sigma_1^2 = 27{,}08$, $\overline{\sigma_2^2} = 32{,}5$) и стандартные отклонения ($\overline{\sigma_1} = 5{,}204$, $\overline{\sigma_2} = 5{,}701$) ряда в двух подпериодах отличаются статистически значимо. Следовательно, ряд с числом сходов селей – нестационарный.

Для ряда осадков *t*-тест (табл. 3) сравнения средних в двух подпериодах показал уровень значимости $Sig. = 0{,}175 > 0{,}05$, нулевая гипотеза подтверждена и средние значения осадков двух подпериодов отличаются статистически незначимо – ряд стационарный. Значимая разница ($Sig. = 0{,}026 < 0{,}05$) между средними температурами в двух подпериодах определила ряд температур как нестационарный, также как ряд количества схода селей.

Таблица 3. ОДНО-ВЫБОРОЧНЫЙ Т-КРИТЕРИЙ
Table 3. One-sample *t*-test

Количество селей, n	Проверяемое значение n = 6,38 (1953–1983 гг.)			
	Среднее (1984–2015 гг.)	*t* -критерий	Значимость (2-сторонняя)*	Разность средних
	9,63	3,220	0,003	3,25
Осадки, мм	Проверяемое значение P = 93,77 мм			
	98,25	1,39	0,175	4,48
Температура, °C	Проверяемое значение t = 9,82 °C			
	10,09	2,346	0,026	0,27

* значимость на уровне p < 0,05.

Таблица 4. ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА СЕЛЕЙ
Table 4. Extreme values of the number of mudflows

			Год наблюдения	Количество селей, n
Сели	Высшие	1	1987 г.	30
		2	1953 г.	24
		3	1995 г.	20
		4	1996 г.	17
		5	1967 г., 1983 г.	15
	Низшие	1	1957 г.	0
		2	1956 г.	0
		3	1979 г.	1
		4	1971 г.	1
		5	1955 г.	1

Климатический экстремум (экстремальное метеорологическое или климатическое) – это достижение метеорологической или климатической переменной значения, которое выше (ниже) некоторого порога, близкого к верхнему (или нижнему) диапазону наблюдаемых значений переменной. Используя модуль разведочного анализа программы SPSS 20.0 для ранжированного ряда с числом селей были определены экстремумы, превосходящие некоторые пороговые значения: 5 верхних экстремальных значений выше 95 % процентиля и 5 нижних экстремумов ниже 5 % процентиля (табл. 4).

Из таблицы 4 видно, что четыре верхних экстремума ($n=30$, 20, 17 и 15 количества сходов селей) из пяти определены в 1983, 1987, 1995,1996 гг., в период после 1976 года, определенного как начало глобального потепления. И, наоборот, четыре нижних экстре-

мума (n = 0 (2 раза), n = 0 (2 раза)) из пяти определены в период до 1976 года (1955, 1956, 1957, 1971 гг.), что указывает на рост числа сходов селей в современный период.

Проведем оценку частотного распределения рядов, воспользовавшись гистограммами с частотным распределением величин по карманам (интервалы величин с определенным шагом). Количество интервалов гистограммы (карманов) зависит от количества данных и для его определения часто используется формула $\sqrt{N}$, где N – это количество данных в выборке, в нашем случае $n = \sqrt{N} = \sqrt{63} \approx 8$. Для определения шага кармана (Δ) находится разность максимального (R_{max}) и минимального (R_{min}) значений за весь период и делится на количество интервалов (n = 8): $\Delta = (R_{max} - R_{min}) / n$.

Положительная асимметрия и высокий эксцесс (As = 1,41 и E = 3,17) ряда числа селей характеризует распределение с правосторонним хвостом с редкими событиями, но значительными по величине, большинство их значений сосредоточено в узком интервале. В теплые сезоны 1953–2015 гг. из общего количества n = 499 случаев в 32 % процентах на теплый сезон приходилось n = 9 случаев, 24 % – на n = 4 и n = 13 сходов, 13 % – на n = 17 сходов и по 2 % на экстремально высокое число сходов n = 21, 26 и 30 (рис. 2).

Частотный анализ подтвердил однородность распределения сумм осадков: почти в 60 % случаев сумма осадков варьируется от 92,7 мм до 104,1 мм (рис. 2). По 10 % приходится на 81,2 и 115,6, оставшиеся 8 % – на 60–70 мм, 14 % – на 130–140 мм. Распределение симметричное, по результатам частотного анализа не выявлено преимущественного количества теплых сезонов ни с минимальными, ни с максимальными суммами осадков.

Из рисунка 2 видно, что распределение температур имеет правостороннюю асимметрию (As = 0,73). Наиболее часто (в 37 % случаев) имела место средняя температура теплого сезона t = 10,2 °С, в 32 % случаев температура была немного ниже – от 9,1 °С до 9,6 °С, экстремально низкая t = 8,5 °С встречалась один раз. На более высокие температуры от t = 10,7 °С до t = 11,8 °С приходится 29 % и на экстремально высокую температуру t = 12,3 °С – 2 %, что характеризует асимметрию в сторону более высоких температур.

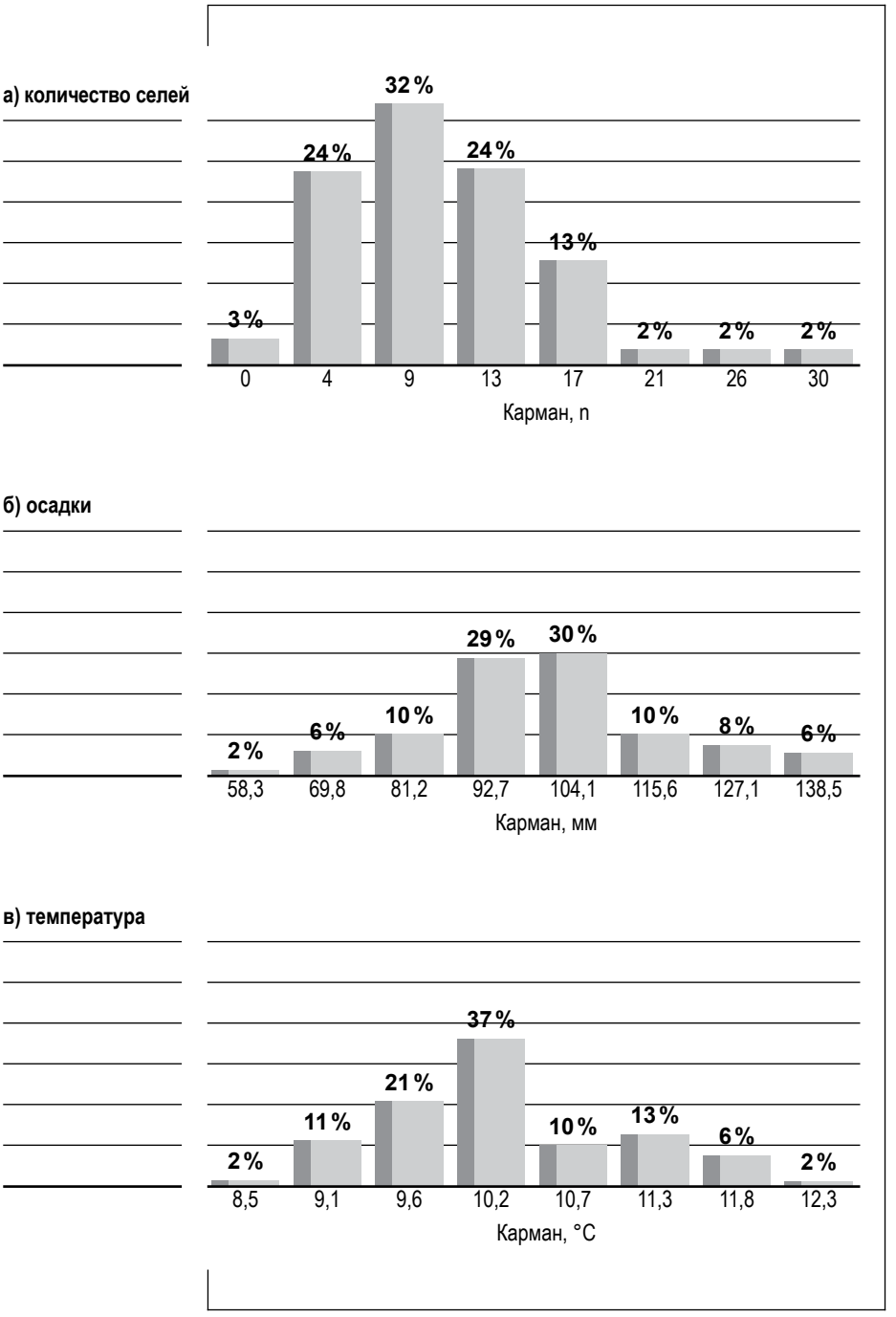

Рис. 2. **Частотный анализ рядов: а) числа схода селей (%), б) осадков, в) температур в теплые сезоны 1953–2015 гг.**

Fig. 2. Frequency analysis of the series: a) the quantity of mudflows (%), b) precipitation, c) temperatures in the warm seasons of 1953–2015.

Заключение

В результате регрессионного анализа в период с 1953 по 2015 г. была выявлена тенденция роста количества селей на статистически значимом уровне (~1 случай/10 лет, $R^2 = 0{,}067$), незначительный рост сумм осадков (1,66 мм/10 лет, $R^2 = 0{,}028$) и температуры (0,05 °С/10 лет, $R^2 = 0{,}012$).

При разделении исследуемого периода на два подпериода 1953–1983 гг. и 1984–2015 гг. описательные статистики показали увеличение во втором подпериоде как средних, так и суммарных характеристик количества селей на статистически значимом уровне, незначительный рост сумм осадков, средних температур. Коэффициент вариации ряда числа схода селей характеризует его неоднородность, а значимая разница ($Sig. < 0{,}05$) между средними в подпериодах – его нестационарность, что указывает на наличие скрытых осцилляций. Величина коэффициентов вариации рядов средней температуры и сумм осадков определила их однородность, при этом ряд средней температуры не стационарен, также как ряд количества сходов селей. Наибольшее количество экстремальных значений селей были выявлены в современный период: в 1983, 1987, 1995, 1996 гг., после 1976 года, определенного как начало глобального потепления.

Из результатов частотного анализа следует, что за 63 года из всех случаев ($n = 499$) 32 % приходилось на 9 сходов селей в теплый сезон; по 2 % на экстремально высокое число сходов $n = 21$, 26 и 30. Частотный анализ подтвердил однородность распределения сумм осадков: почти в 60 % случаев сумма осадков варьируется в узком интервале от 92,7 до 104,1 мм. Для ряда температуры наиболее часто (37 %) имела место средняя температура теплого сезона $t = 10{,}2$°С. Изменение температуры за исследованный долговременный период (63 года) имеет правостороннюю асимметрию, так же, как и количество схода селей.

Все это позволило говорить об усилении частоты опасных склоновых явлений (селей) в высокогорной зоне Кабардино-Балкарии в современный период изменения климата. Для полного анализа динамики рядов и выделения возможных периодичностей необходимо в дальнейшем проведение спектрального анализа, что по-

может в понимании оценки изменения числа сходов селей с учетом долговременных изменений климатических переменных.

Список источников

1. Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Гедуева М.М., Беккиев М.Ю., Перов В.Ф., Сейнова И.Б., Хучунаева Л.В. Кадастр селевой опасности юга европейской части России. М.: Феория; Нальчик «Печатный двор», 2015.148 с.
2. Кондратьева Н.В., Федченко Л.М., Разумов В.В., Беккиев М.Ю. Оценка возможных изменений активности селевых процессов на северном склоне Большого Кавказа в результате региональной климатической изменчивости // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. № 49. С. 32–37.
3. 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, 2021. С. 468–474.
4. Запорожченко Э.В. Селевые потоки по рр. Кара-Кая-Су и Бирджалы-Су в Кабардино-Балкарской республике: сравнительный анализ прошлой и новейшей истории // Вестник Владикавказского научного центра. 2008. Т. 8. № 2. С. 27–33.
5. Мальнева И.В., Кононова Н.К. Увеличение опасности формирования гляциальных селей в Кабардино-Балкарии в современный период // Лёд и Снег. 2013. № 3 (123). С. 113–120.
6. Шныпарков А.Л., Колтерманн П.К., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Перов В.Ф. Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 3. С. 42–48.
7. Лапердин В.К. Селевая и паводковая опасность в Восточной Сибири (на примере южного Прибайкалья и Северного Забайкалья) // Труды Второй конференции, посвященной 100-летию со дня рождения С.М. Флейшмана Москва, Россия, 17–19 октября 2012 г. Москва, 2012. С. 111–124.
8. Залиханов М.Ч., Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Разумов В.В. Учет генезиса селеобразования при предвари-

тельной оценке максимального объёма твёрдых отложений селя на территории Северного Кавказа // ДАН. 2016. Т. 470. № 2. С. 212.

9. Сейнова И. Б., Золотарев Е. А. Ледники и сели Приэльбрусья (Эволюция оледенения и селевой активности). М.: Научный мир, 2001. 203 с.
10. Кондратьева Н. В. Распространение и особенности проявления селевых процессов на северном и юго-западном склонах Большого Кавказа: дис. … д-ра геогр. наук: 25.00.23 / Кондратьева Наталия Владимировна. Нальчик, 2018. 402 с.
11. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Пер. с англ.; под ред. В. Ф. Писаренко. М.: Мир, 1974. Кн. 1. 406 с.
12. Наследов А. IBM SPSS Statistics 20 и AMOS: профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2013. 416 с.
13. Афанасьев В. Н., Юзбашев М. М. Анализ временных рядов и прогнозирование: М.: Финансы и статистика, 2001. 228 с.
14. Ашабоков Б. А., Федченко Л. М., Кешева Л. А., Теунова Н. В. Изменения температурного режима и режима осадков теплого и холодного периодов в различных климатических зонах Северо-Кавказского региона // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 3. С. 55–72.
15. Ташилова А. А., Кешева Л. А., Теунова Н. В. Уменьшение водных ресурсов региона как следствие деградации ледников Северного Кавказа под воздействием климатических изменений // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 1 (127). С. 1–5.

References

1. Kondratyeva NV, Adzhiev AKh, Gedueva MM, Bekkiev MYu, Perov VF, Seynova IB, Khuchunaeva LV. Inventory of mudflow hazard in the south of the European part of Russia. Moscow: LLC “Feoria”; Nalchik “Printing Dvor”; 2015. 148 p. (In Russ.).
2. Kondratyeva NV, Fedchenko LM, Razumov VV, Bekkiev MYu. Assessment of possible changes in the activity of mudflow processes on the northern slope of the Greater Caucasus as a result of regional climatic variability. *Uchenye zapiski Rossi-*

jskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta = Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2017(49):32–37. (In Russ.).

3. Tashilova AA. Analysis of climate changes in Terskol over the past 60 years. In Reports of the All-Russian open conference on the physics of clouds and active influences on hydrometeorological processes. Nalchik, 2021;468–474. (In Russ.).
4. Zaporozhchenko EV. Mudflows along the river Kara-Kaya-Su and Birjaly-Su in the Kabardino-Balkarian Republic: a comparative analysis of past and recent history. *Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra* = Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center. 2008;8(2):27–33. (In Russ.).
5. Malneva IV, Kononova NK. Increased risk of glacial mudflows in Kabardino-Balkaria in the modern period. *Lyod i Sneg* = Ice and Snow. 2013;3(123):113–120. (In Russ.).
6. Shnyparkov AL, Koltermann PK, Seliverstov YuG, Sokratov SA, Perov VF. Mudflow risk on the Black Sea coast of the Caucasus. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya* = Vestn. Moscow un-ta. Ser. 5. Geography. 2013;(3):42–48. (In Russ.).
7. Laperdin VK. Mudflow and flood danger in Eastern Siberia (on the example of the southern Baikal region and Northern Transbaikalia). In Proceedings of the Second Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of S.M. Fleishman. Moscow, Russia, October 17–19, 2012;111–124. (In Russ.).
8. Zalikhanov MCh, Kondratyeva NV, Adzhiev AKh, Razumov VV. Taking into account the genesis of mudflow formation in the preliminary assessment of the maximum volume of solid mudflow deposits in the North Caucasus. *DAN* = DAN. 2016;470(2):212. (In Russ.).
9. Seynova IB, Zolotarev EA. Glaciers and mudflows in the Elbrus region (Evolution of glaciation and mudflow activity). M.: Scientific World; 2001. 203 p. (In Russ.).
10. Kondratyeva NV. Distribution and features of mudflow processes on the northern and southwestern slopes of the Greater Caucasus. Dis. doc. geogr. Sciences: 25.00.23. Kondratyeva Natalia Vladimirovna. Nalchik; 2018. 402 p. (In Russ.).
11. Box J, Jenkins G. Time series analysis, forecast and management: Transl. from English. Ed. VF Pisarenko. Moscow: Mir; 1974. Book 1. 406 p. (In Russ.).
12. Nasledov A. IBM SPSS Statistics 20 and AMOS: professional statistical data analysis. St. Petersburg: Peter; 2013. 416 p. (In Russ.).

13. Afanasyev VN, Yuzbashev MM. Time series analysis and forecasting: Textbook. Moscow: Finance and Statistics; 2001. 228 p. (In Russ.).
14. Ashabokov BA, Fedchenko LM, Kesheva LA, Teunova NV. Changes in temperature and precipitation regime of warm and cold periods in different climatic zones of the North-Caucasus region. *Nauka. Innovacii. Tekhnologii* = Science. Innovations. Technologies. 2021;(3):55–72. (In Russ.).
15. Tashilova AA, Kesheva LA, Teunova NV. Decrease in the region's water resources as a consequence of the degradation of glaciers in the North Caucasus under the influence of climate change. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* = International Scientific Research Journal. 2023;1(127):1–5. (In Russ.).

Информация об авторах

Алла Амарбиевна Ташилова – доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории микрофизики облаков Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 57191577384, Researcher ID: K-4321-2015.

Людмила Михайловна Федченко – доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 6602297635, Researcher ID: AAB-3697-2019.

Михаил Чоккаевич Залиханов – академик РАН, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 6506773102, Researcher ID: O-4232-2015.

Наталия Владимировна Кондратьева – доктор географических наук, доцент, старший научный сотрудник отдела стихийных явлений Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 57195421541.

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

Information about the authors

Alla A. Tashilova – Dr. Sci. (Phys.–Math.), Associate Professor, Senior Research Associate of Department of Physics of Clouds of the High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57191577384, Researcher ID: K-4321-2015.

Lyudmila M. Fedchenko – Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Chief Researcher of the High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 6602297635, Researcher ID: AAB-3697-2019.

Mikhail Ch. Zalikhanov – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Chief Researcher of the High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 6506773102, Researcher ID: O-4232-2015.

Nataliya V. Kondratyeva – Dr. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Senior Research Associate of Natural Phenomena Department of the High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57195421541.

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