

УДК 551.5+504.3

DOI: 10.46698/VNC.2024.81.30.016

Оригинальная статья

Долгосрочные изменения режима атмосферных осадков как фактора формирования опасностей гидрологического характера в горной зоне Республики Дагестан

Е.А. Корчагина 

Центр географических исследований Кабардино-Балкарского научного центра РАН,
Россия, 360002, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2,
e-mail: helena.a.k@mail.ru

Статья поступила: 28.08.2024, доработана: 27.11.2024, принята к публикации: 28.11.2024

Резюме: **Актуальность** обусловлена необходимостью выявления долгосрочных тенденций регионального изменения осадков как фактора формирования опасных природных процессов. **Цель** настоящего исследования – выявить статистически значимые изменения в современном режиме атмосферных осадков в горной зоне Республики Дагестан, способные оказать влияние на активность неблагоприятных гидрометеорологических и гидрологических явлений, приводящих к экономическому и социальному ущербу. **Методы.** Использован аппарат математико-статистического моделирования. Наличие статистически значимых долгосрочных трендов оценивалось с помощью набора параметрических и непараметрических методов. **Результаты.** Обнаружено, что в высокогорной зоне подавляющее число обнаруженных статистически значимых долгосрочных трендов отрицательные. Значимые положительные тенденции выявлены в марте и июле. В среднегорной зоне выявлен рост месячных сумм осадков с января по март, а также в июле. Исследование изменения числа дней с осадками различной интенсивности показало, что в регионе снижается число дней с интенсивными осадками в апреле, мае, июне, августе и сентябре, ноябре и декабре. Растет число дней с интенсивными осадками в феврале, марте и июле. Проведенный анализ числа явлений гидрометеорологического (дожди, ливни, град) и гидрологического (сели) характера, приведших к материальному и социальному ущербу, показал, что их динамика с 1991 по 2023 годы имеет статистически незначимый отрицательный тренд. **Выводы.** Сопоставляя результаты исследования динамики и годового распределения опасных явлений с анализом изменения режима осадков, можно ожидать, что дождевая составляющая формирования селей в марте и в июле будет расти, а с апреля по июнь, а также в августе-сентябре снижаться.

Ключевые слова: изменение климата, атмосферные осадки, Восточный Кавказ, Республика Дагестан, непараметрические методы математической статистики, опасные природные явления гидрометеорологического и гидрологического характера, ливень, сели.

Для цитирования: Корчагина Е.А. Долгосрочные изменения режима атмосферных осадков как фактора формирования опасностей гидрологического характера в горной зоне Республики Дагестан. *Геология и геофизика Юга России*. 2024. 14(4): 192-205. DOI: 10.46698/VNC.2024.81.30.016

DOI: 10.46698/VNC.2024.81.30.016

Original paper

Long-term changes in the precipitation regime as a factor of the hydrological hazards' formation in the mountainous zone of the Dagestan Republic

E.A. Korchagina 

Center of Geographical Research, Kabardino-Balkar Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 2 Balkarova Str., Nalchik 360002, Russian Federation,
e-mail: helena.a.k@mail.ru

Received: 28.08..2024, revised: 27.11.2024, accepted: 28.11.2024

Abstract: The **relevance** is defined by the need to identify long-term trends in regional precipitation changes as a factor in the formation of hazardous natural processes. The **aim** of this study is to identify statistically significant changes in the current regime of precipitation in the Dagestan Republic mountainous zone, which can affect the activity of hazardous hydrometeorological and hydrological phenomena causing the economic and social damage. **Methods.** Mathematical and statistical modeling of historical daily precipitation changes were conducted. The presence of statistically significant long-term trends was assessed using a set of parametric and nonparametric methods. **Results.** It was found that in the high-altitude zone, the overwhelming number of statistically significant trends are negative. Significant positive trends were revealed in March and July. In the mid-mountain zone, an increase in monthly precipitation was revealed from January to March, and in July. The number of days with intense precipitation is decreasing in April–June, August, September, November and December. The number of days with intense precipitation in February, March and July is increasing. The dynamics of the number of hydrometeorological (rains, showers, hail) and hydrological (mudslides) phenomena that led to material and social damage has a statistically insignificant negative trend. **Conclusions.** Comparing the dynamics and annual distribution of hazardous phenomena with the changes in the precipitation regime, it can be expected that the rain component of the mudflows formation in March and July will grow. The decrease in precipitation from April to June, as well as in August–September, occurs due to a decrease in the number of days with high-intensity precipitation, which reduces the contribution of the hydrometeorological component to the formation of mudflows in these months.

Keywords: climate change, atmospheric precipitation, Eastern Caucasus, Republic of Dagestan, nonparametric methods of mathematical statistics, hazardous natural phenomena of hydrometeorological and hydrological nature, rainfall, mudflows.

For citation: Korchagina E.A. Long-term changes in the precipitation regime as a factor of the hydrological hazards' formation in the mountainous zone of the Dagestan Republic. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2024. 14(4): 192–205. DOI: 10.46698/VNC.2024.81.30.016

Введение

Рост освоенности горных территорий и развитие туризма и хозяйственной деятельности неизбежно приводят к увеличению числа объектов, подвергающихся воздействию природных опасностей. Осадки в горных районах играют решающую роль в формировании гидрологических природных опасностей. Наводнения ливне-

вого генезиса, сели, оползни, снежные лавины и усиление эрозионных процессов – все эти явления тесно связаны с характером и интенсивностью осадков [Blöschl et al., 2019; Кюль, 2017; Tabari, 2020]. Прогнозируемое увеличение частоты и интенсивности проливных дождей, основанное на климатических моделях, должно способствовать увеличению числа вызванных ими местных наводнений [Trenberth, 2011; Khlebnikova et al., 2019; Kundzewicz et al., 2013]. Сезонное перераспределение осадков приводит к изменению условий протекания сезона половодья в весенний период и резкому подъему уровня рек в сезон паводков [Korchagina, 2021; Ташилова и др., 2024]. Например, в [Разумов и др., 2018] установлено, что 67% всех чрезвычайных ситуаций на Северном Кавказе, связанных с явлениями гидрологического характера, приходится на летние месяцы.

Пространственное распределение изменений интенсивности экстремальных осадков показывает, что экстремальные осадки увеличиваются равномерно во всех климатических режимах [Trenberth, 2011]. Исследование современных индексов экстремальности осадков в период с 1961 по 2018 гг. [Вышкваркова, 2022], рассчитанных по данным метеостанций Северного Кавказа, показало, что они убывают от Черноморского побережья к побережью Каспийского моря.

Понимание взаимосвязей между режимом атмосферных осадков и формированием природных опасных явлений гидрологического характера важно для обеспечения безопасности горных территорий. В связи с этим исследование направления изменений режима осадков и расчет их количественных характеристик в условиях быстро меняющегося климата остается высоко актуальной задачей.

Цель настоящего исследования – выявить изменения в режиме атмосферных осадков в горной зоне Республики Дагестан (РД), способные оказать влияние на степень активности неблагоприятных гидрометеорологических и гидрологических явлений, причиняющих ущерб хозяйственной деятельности и безопасности населения.

Материалы и методы исследования

Изменение средних и максимальных за месяц суточных сумм, месячных сумм, средних за сезон месячных осадков (далее среднесезонных) и средних за год месячных сумм (далее среднегодовых) атмосферных осадков на территории РД исследовалось на основе исторических данных, приведенных в специализированных наборах Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). Характеристики рассчитаны на основе результатов обработки суточных данных метеостанций. Кроме вышеперечисленных характеристик, исследованы ряды, содержащие число дней с осадками более 1 мм, 5 мм, 10 мм, 15 мм и 20 мм с 1961 г. по 2023 г. Такие же ряды сформированы с 1976 года по 2023 г. Всего проанализировано 96 временных рядов различных климатических характеристик режима осадков.

Использование линейной модели данных нашло широкое применение в исследованиях долгосрочной динамики климатических характеристик [Tashilova et al., 2022; Panda, Sahu, 2019; Ali et al., 2019; Korchagina, 2022], где изменения, хотя и сложные, имеют общую восходящую или нисходящую тенденцию. Поэтому выбор линейной модели для поставленных целей представляется обоснованным. Пред-

варительно ряды были исследованы на структуру и наличие выбросов, процент которых не превысил 9%. Робастные (устойчивые к выбросам) методы построения линейной регрессии начинают показывать свои преимущества при наличии от 10% выбросов и выше. Однако конкретные результаты могут зависеть от распределения выбросов и природы данных, поэтому были проведены расчеты и сравнение качества моделей линейной регрессии методами наименьших квадратов (МНК) и рядом робастных методов, реализованных в виде библиотек языка python, которые показали преимущество в качестве моделей, полученных с помощью МНК. В настоящем исследовании отобраны модели с оценками уравнения регрессии, значимыми на уровне 0,1 и меньше.

Следующий этап – вычисление остатков регрессии и проверка остатков на подчинение нормальному закону распределения. При отклонении от нормального распределения оценки значимости тренда не надежны. В этом случае использованы непараметрические методы определения наличия тенденции (коэффициенты ранговой корреляции Спирмена и Кендалла).

Дополнительно исследовались тенденции в сглаженных рядах, что позволяет более отчетливо увидеть долгосрочные тренды, исключив влияние краткосрочных колебаний. Сглаживание проводилось методом скользящего среднего, окно сглаживания (отрезок осреднения) выбрано так, чтобы остатки регрессии подчинялись нормальному закону распределения у наибольшего числа временных рядов. В данном случае окно сглаживания равно 7. Из сравнения коэффициентов наклона линейных трендов и их значимости до и после сглаживания выявлены дополнительные значимые тенденции, не видные в зашумленных рядах.

В заключение на основе информации, представленной в обновляемой базе данных (Шамин С.И. и др. Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России), проанализировано годовое распределение и временной ход с 1991 по 2023 годы числа опасных гидрометеорологических и гидрологических явлений. Полученная картина сопоставлена с выявленными долгосрочными тенденциями атмосферных осадков.

Результаты и их обсуждение

Высокогорная зона. Метеостанция Сулак, высокогорная расположена на высоте 2923 м над уровнем моря, 42° 22' с.ш., 46° 15' в.д. Динамика годового хода рассчитана для климатически значимых 30-летних периодов с шагом в 10 лет (рис. 1). Годовое распределение носит континентальный характер и имеет один максимум, который в настоящее время наблюдается в июне, тогда как в периоде, который принят Всемирной метеорологической организацией (ВМО) как базовый для отслеживания современных изменений климата, максимум наблюдался в мае. Минимум наблюдается зимой и в базовый период суммы зимних месяцев с декабря по февраль были практически равны и составляли 37 мм. Последняя климатическая норма 1981–2000 годов имеет выраженный минимум в январе и составляет 30 мм. Понимание того, являются ли наблюдаемые изменения статистически достоверными, можно получить из результатов исследования статистически значимых тенденций на уровне значимости 0,1 в период 1961–2023 гг. (табл. 1).

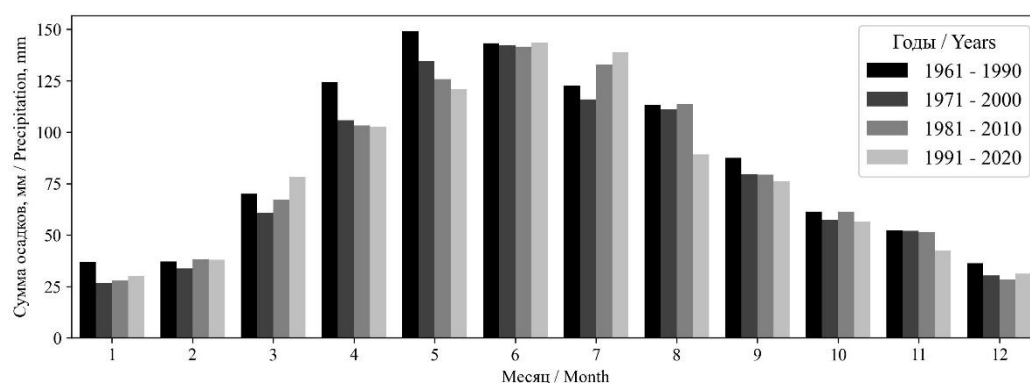


Рис. 1. Годовой ход осадков по 30-летним периодам, метеостанция Сулак, высокогорная /
Fig. 1. Annual precipitation distribution averaged for thirty years, meteorological station Sulak,
vysokogornaya

Таблица 1/ Table 1

Статистически значимые тенденции климатических характеристик, метеостанция Сулак, высокогорная 1961-2023 гг. / Statistically significant trends of the climatic characteristics, Sulak, Vysokogornaya Weather Station, 1961-2023

Мес./ Сезон Month/ Season	I_{mean}	s	Normal	$t_{Kendall}$	p-value	r_s	p-value	b_{Line}	p-value
Месячные суммы, мм /Monthly amounts, mm									
4	113,48	45,82	False	-0,27	0,0028	-0,38	0,0033	-9,32	0,0051
5	135,58	50,85	False	-0,12	0,1779	-0,18	0,1813	-7,18	0,0532
12	33,49	20,99	True	-0,15	0,0922	-0,2	0,122	-1,82	0,2377
Средние сезонные суммы, мм/ Average seasonal amounts, mm									
Весна/ Spring	107,62	26,67	False	-0,16	0,0681	-0,25	0,0535	-4,77	0,0149
Год/ Year	82,68	14,18	False	-0,22	0,0145	-0,31	0,0197	-2,85	0,0069
Число дней с осадками более 1 мм/ Number of days with precipitation more than 1 mm									
4	12,44	4,32	True	-0,22	0,0154	-0,31	0,0138	-0,8	0,0098
5	14,33	4,04	False	-0,24	0,0096	-0,35	0,0062	-0,68	0,0199
6	14,66	4,04	True	-0,22	0,0165	-0,32	0,0132	-0,71	0,0145
11	5,52	3,06	True	-0,15	0,1075	-0,22	0,0923	-0,33	0,1425
12	5,11	2,56	True	-0,19	0,039	-0,26	0,0395	-0,38	0,0406
Число дней с осадками более 5 мм/ Number of days with precipitation more than 5 mm									
4	6,67	2,95	True	-0,27	0,0038	-0,36	0,0038	-0,56	0,0077
5	8,25	3,13	True	-0,14	0,1174	-0,21	0,0968	-0,41	0,0728
6	8,93	2,65	True	-0,17	0,0619	-0,24	0,059	-0,36	0,0585
Число дней с осадками более 10 мм/ Number of days with precipitation more than 10 mm									
6	4,87	2,13	True	-0,16	0,0764	-0,23	0,0765	-0,23	0,144
Число дней с осадками более 15 мм/ Number of days with precipitation more than 15 mm									
4	2,05	1,4	True	-0,21	0,0274	-0,28	0,0285	-0,23	0,0215
9	1,41	1,32	False	-0,17	0,078	-0,2	0,1132	-0,08	0,3982

Здесь: I_{mean} – среднее за указанный период месячное (среднесезонное) значение суммы осадков, мм/ average monthly (seasonal average) value of precipitation for the specified period, mm;
s – среднее квадратическое отклонение исследуемого ряда/ standard deviation;

$t_{Kendall}$ – коэффициент ранговой корреляции Кендалла/ Kendall rank correlation coefficient;
 r_S – коэффициент ранговой корреляции Спирмэна/ Spearman rank correlation coefficient;
 b_{Line} – оценки линейной регрессионной модели, мм/10 лет/ regression coefficient of the linear model, mm per decade;

$p-value$ – вероятность того, что отклонение оценки тренда от нуля является случайным/ the probability that the trend deviation from zero is insignificant;

Normal – логический признак нормального распределения ряда, равен True, если выборка происходит из нормального распределения/ a logical sign of the normal distribution of the series, equal to True if the sample comes from a normal distribution.

В обозначенный период статистически значимыми среди месячных сумм осадков оказались только отрицательные тренды в апреле, мае и декабре. Число дней с осадками более 1 мм снижалось не только в указанные месяцы, но и в июне и ноябре. Число дней с осадками более 15 мм снижалось в сентябре. Такой параметр, как максимальные суточные осадки в марте росли со скоростью 1,48 мм/10 лет, что составляет 7% от среднего значения. Средние суточные суммы снижались в апреле и в мае. В период 1976 – 2023 гг. появляется положительная тенденция роста осадков в марте, который обусловлен ростом числа дней с осадками более 5–20 мм. Увеличивается число дней с осадками более 10–15 мм в июле и более 20 мм в феврале.

Результаты расчета долговременных трендов для сглаженных рядов приведены в таблице 2. В левой части таблицы представлены метрики качества и оценки трендов для исходных рядов, в правой – для сглаженных. В таблицу вошли записи со статистически значимыми оценками трендов после сглаживания на уровне 0,1.

Таблица 2 / Table 2

Линейные тренды 1961-2023 гг. и метрики качества до и после сглаживания.

Сулак, высокогорная / Linear trends of 1961-2023 and quality metrics before and after smoothing. Weather Station Sulak, vysokogornaya

Месяц/Сезон Month/Season	b_{Line}	$p-val$	MSE	R^2	Norm	b_{Line}	$p-val$	MSE	R^2	Norm
	исходные ряды/ original series					сглаженные ряды/ smoothed series				
3	2,84	0,26	1138,4	0,02	True	4,1	0,01	261,9	0,14	True
4	-8,94	0,01	1748,4	0,12	False	-7,8	0,00	249,2	0,38	True
5	-7,1	0,05	2303,5	0,06	False	-7,6	0,00	145,7	0,50	True
7	2,4	0,58	3529,0	0,01	True	6	0,00	231,1	0,28	True
8	-6,4	0,14	3271,1	0,04	False	-7,9	0,00	528,5	0,23	True
9	-1,6	0,62	1992,5	0,01	False	-3,4	0,00	112,7	0,20	True
11	-2,5	0,32	1106,4	0,02	False	-2,6	0,02	160,6	0,09	True
Весна/Spring	-4,55	0,01	600,5	0,1	True	-4,0	0,00	87,6	0,31	True
Осень/ Autumn	-1,57	0,29	396,6	0,02	True	-1,6	0,00	46,6	0,17	True
Год/Year	-2,62	0,01	160,1	0,12	False	-2,6	0,00	26,9	0,30	True

По результатам построения и оценки трендов для сглаженных рядов месячных сумм осадков подтверждается тенденция к росту осадков в марте с 1961 года, ранее обнаруженная только с 1976 г. Кроме этого, анализ оценок трендов сглаженных рядов числа дней с осадками более определенного порога показал, что структура изменения осадков в марте следующая: более 1 мм рост статистически значим на уровне 0,05 и относительная скорость прироста в процентах от среднего значения исходного ряда составляет 1%/10 лет; более 5 мм рост статистически значим на уровне 0,01, что составляет 5%/10 лет; более 10 мм и более 15 мм рост со скоростью

8%/10 лет. Также добавилась информация о росте числа дней с осадками более 5 мм, 10 мм, 15 мм в июле (6%/10 лет, уровень значимости 0,0001), более 15 мм в июне, более 10 мм в октябре (3%/10 лет).

Среднегорная зона. Метеостанция Ахты расположена на территории РД, 1016 м, 41°28' с.ш., 47°45' в.д. Годовой ход месячных сумм приведен на рисунке 2. В отличие от высокогорной зоны, годовое распределение осадков по данным метеостанции Ахты имеет два максимума за период 1981–2020 гг. Первичный максимум приходится на июнь, ярко выражен и составляет 15% от годового количества. Вторичный максимум появляется с 1971–2000 гг. Последние уровни ряда, начиная с 1981–2010 гг. и особенно в 1991–2020 гг., показывают, что вторичный максимум хорошо выражен в сентябре и равен 43 мм, что составляет 11% от годового количества осадков (398 мм).

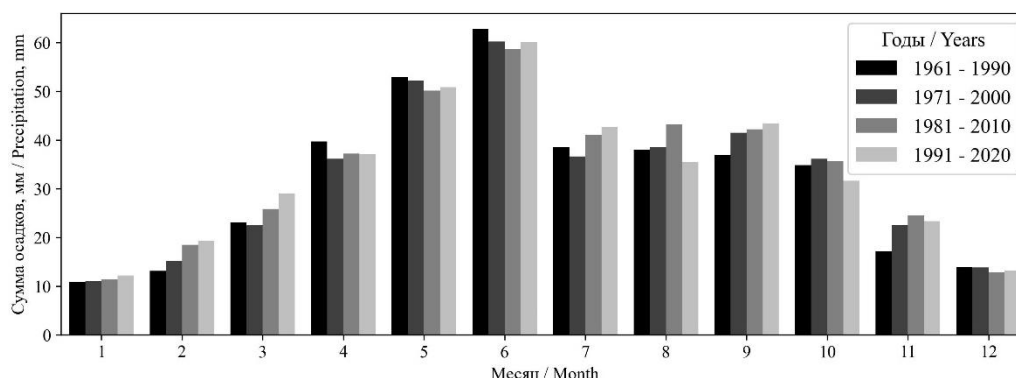


Рис. 2. Годовой ход осадков по 30-летним периодам, метеостанция Ахты /

Fig. 2. Annual precipitation distribution averaged for thirty years, Akhty weather station

Таблица 3 / Table 3

Статистически значимые тенденции климатических характеристик, метеостанция Ахты 1961-2023 гг. / Statistically significant trends of the climatic characteristics, Akhty Weather Station, 1961-2023

Мес./Сезон Month/Season	I_{mean}	s	Normal	$t_{Kendall}$	$p-value$	r_S	$p-value$	b_{Linear}	$p-value$
Месячные суммы, мм / Monthly amounts, mm									
2	16,15	10,93	False	0,14	0,1166	0,2	0,1195	1,62	0,0412
3	26,6	14,48	False	0,15	0,0928	0,25	0,0613	2,17	0,0394
Средние сезонные суммы, мм / Average seasonal amounts, mm									
Зима/Winter	13,87	6,05	True	0,14	0,1166	0,19	0,1356	0,83	0,0606
Число дней с осадками более 1 мм / Number of days with precipitation more than 1 mm									
3	5,08	2,34	True	0,15	0,0955	0,23	0,0807	0,27	0,1152
12	2,92	1,81	True	-0,16	0,0873	-0,23	0,0688	-0,22	0,1025
Число дней с осадками более 5 мм / Number of days with precipitation more than 5 mm									
2	0,92	0,99	False	0,18	0,0654	0,23	0,0729	0,14	0,0531
6	4,05	2,02	True	-0,18	0,0587	-0,23	0,0749	-0,25	0,0827
Число дней с осадками более 10 мм / Number of days with precipitation more than 10 mm									
3	0,41	0,62	False	0,0336	0,28	0,0299	0,08	0,065	0,0336
6	1,82	1,32	True	-0,15	0,1074	-0,22	0,0886	-0,18	0,0684
Число дней с осадками более 15 мм / Number of days with precipitation more than 15 mm									
3	0,18	0,47	False	0,19	0,0776	0,23	0,072	0,06	0,0673

В обозначенный период статистически значимыми для месячных сумм осадков оказались только положительные тренды в феврале и марте. По структуре осадков можно сказать, что в марте рост месячных сумм обусловлен возрастанием числа дней с осадками более 1 мм и 10–15 мм. Рост месячных сумм в феврале обусловлен увеличением числа дней с осадками более 5 мм. Снижение зимних сезонных сумм связано, в числе прочего, и со снижением числа дней с осадками более 1 мм в декабре.

В период 1976–2023 гг. сохраняется обнаруженная ранее положительная тенденция роста осадков в марте и рост числа дней с осадками более 1 мм и 10 мм. В феврале растет число дней с осадками более 15 мм. В феврале и марте также обнаружен рост средних за месяц суточных сумм. Снижение числа дней с осадками наблюдается в декабре (более 1 мм), в августе (более 5 мм и 10 мм) и в июне (более 10 мм).

Результаты расчета долговременных трендов для сглаженных рядов месячных сумм по данным метеостанции Ахты приведены в таблице 4.

Таблица 4 / Table 4

Линейные тренды 1961–2023 гг. и метрики качества до и после сглаживания, Ахты
/ **Linear trends of 1961–2023 and quality metrics before and after smoothing, weather Station Akhty**

Месяц/ Month	b_{Line}	$p-val$	MSE	R ²	Normal	b_{Line}	$p-val$	MSE	R ²	Normal
	исходные ряды/ original series					сглаженные ряды/ smoothed series				
1	0,72	0,22	62,8	0,03	False	0,8	0	4,0	0,3	True
2	1,61	0,04	107,5	0,07	False	1,7	0	5,4	0,6	True
3	2,15	0,04	185,1	0,07	False	2,5	0	22,5	0,4	False
4	-2,21	0,13	386,3	0,04	False	-2,3	0	30,3	0,3	True
6	-2,75	0,15	637,9	0,04	True	-1,9	0,014	72,8	0,1	True
7	1,43	0,43	591,6	0,01	True	1,1	0,063	43,1	0,1	True

К отмеченному ранее росту осадков в феврале и марте добавились значимые положительные изменения в январе и июле. При этом оценка скорости роста в июле уменьшилась на 23% от величины не сглаженного ряда, а в январе увеличилась на 11%. Подтвердились тенденции роста в феврале и марте. При этом скорость роста в феврале увеличилась на 6% относительно оценки не сглаженного ряда, а в марте – на 16%. Оценка скорости снижения месячных сумм в июне уменьшилась на 30%, а в апреле увеличилась на 4%.

Выделенные после сглаживания тенденции в рядах месячных сумм с 1961 г. соответствуют значимым тенденциям в рядах с 1976 года, либо рядах числа дней с осадками более определенного порога. Например, число дней с осадками более 10 мм в июле в 1976–2023 гг. по данным метеостанции Сулак нашло подтверждение в росте июльских сумм в сглаженных рядах с 1961 г. Снижение числа дней с осадками в июне (1961–2023 гг.) по данным метеостанции Ахты объясняет уменьшение месячных сумм в июне по оценкам трендов сглаженного ряда.

Если рассмотреть выявленные изменения в контексте мировых и региональных трендов, то можно сказать следующее. Долгосрочные тенденции в глобальном среднем количестве осадков в целом статистически незначительны. На основе исследований выявляются крупные региональные тенденции с положительными

и отрицательными значениями по всему миру [Gu, Adler, 2022]. Исследования в различных странах показывают, что при преобладающем росте количества экстремальных осадков выявляются значительные локальные тренды противоположной направленности [Gentilucci et al., 2020; Risser et al., 2021; Valdivieso-García et al., 2024; Khlebnikova et al., 2019]. При характеристике регионов Российской Федерации по характеру трендов осадков и температуры с 1976 по 2020 годы, РД отнесена к группе территорий с незначительно растущими средними годовыми суммами [Demichev et al., 2024]. Динамика режима осадков в горных районах РД не противоречит глобальным и региональным тенденциям. При этом детально выявленные особенности локальных тенденций важны при прогнозе развития опасных склоновых явлений в горной зоне Республики Дагестан.

Опасные природные процессы гидрометеорологического и гидрологического характера в горной зоне РД. На основании данных об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, приведенных ВНИИГМИ-МЦД, сформированы выборки явлений, имеющих место на территории РД. Для выбранных сведений рассчитаны числа различных явлений, имеющих отношение к атмосферным осадкам (снег, град, ливень, дождь, смешанные осадки). Результаты расчета годового хода неблагоприятных явлений гидрометеорологического характера, зафиксированных на территории РД суммарно с 1991 по 2023 годы, приведены на рисунке 3 (вверху).

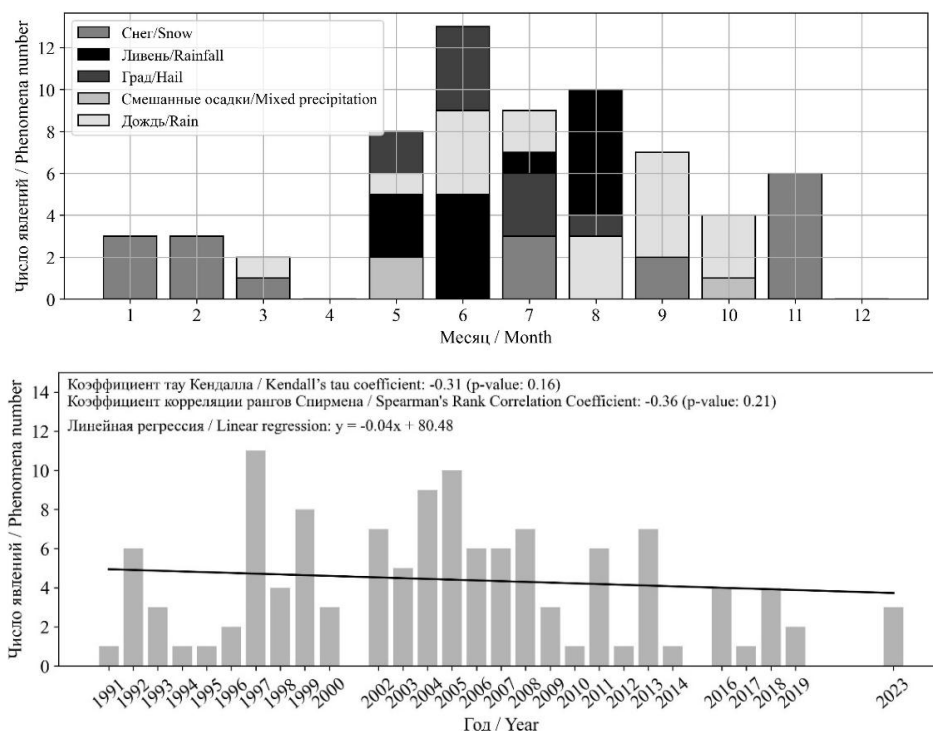


Рис. 3. Годовое распределение числа опасных явлений гидрометеорологического характера (вверху). Динамика неблагоприятных гидрометеорологических явлений, принесящих ущерб (внизу) /
Fig. 3. Annual distribution of the hydrometeorological hazards (on the top). Dynamics of hazardous hydrometeorological phenomena that caused damage (at the bottom)

Максимальное число неблагоприятных явлений зарегистрировано в июне и относится к градобитию. Самые безопасные с этой точки зрения месяцы в регионе — апрель и декабрь. Неблагоприятные явления, связанные с дождем, имеют главный максимум в июне-июле и вторичный в сентябре, что соответствует годовому ходу

осадков в среднегорной зоне. Динамика суммарного числа вышеперечисленных неблагоприятных явлений приведена на рисунке 3 (внизу). Как видно из расчетов, динамический ряд имеет небольшой отрицательный тренд, который по результатам тестов статистически не значим. Наибольшее число явлений зафиксировано в 1997 году. Период времени с непрерывно высокой активностью неблагоприятных природных явлений гидрометеорологического характера наблюдался с 2002 по 2008 годы. К настоящему времени активность снизилась.

Примером опасных явлений гидрологического характера могут служить наводнения, сели. Остановимся на селях, характерных для горных территорий. Рассчитанное на основе данных, представленных на сайте ВНИИГМИ-МЦД, распределение зафиксированных случаев схода селей на территории Республики Дагестан с 1991 г. по 2023 г., причинивших ущерб, приведено на рисунке 4 (вверху).

Случаи зафиксированы с марта по октябрь (период селевой опасности). При этом время наибольшей активности – с мая по сентябрь, максимальной – июнь-июль. Наибольшее число случаев наблюдалось в июле – всего 40 случаев и 39 случаев в июне. Сезонный ход числа проявления селей соответствует сезонному ходу осадков в высокогорной зоне (см. рис. 1).

Как и в случае с явлениями гидрометеорологического характера, обнаружен статистически не значимый отрицательный тренд. Наибольшее число селей, нанесших урон хозяйству и жизни людей, зафиксировано (в порядке убывания) в 2009, 2005 и 1997 годах. В 2005 году также зафиксировано второе по значению число опасных метеорологических явлений (ливень, дождь, град, снег, смешанные осадки), в 1997 году – первое.

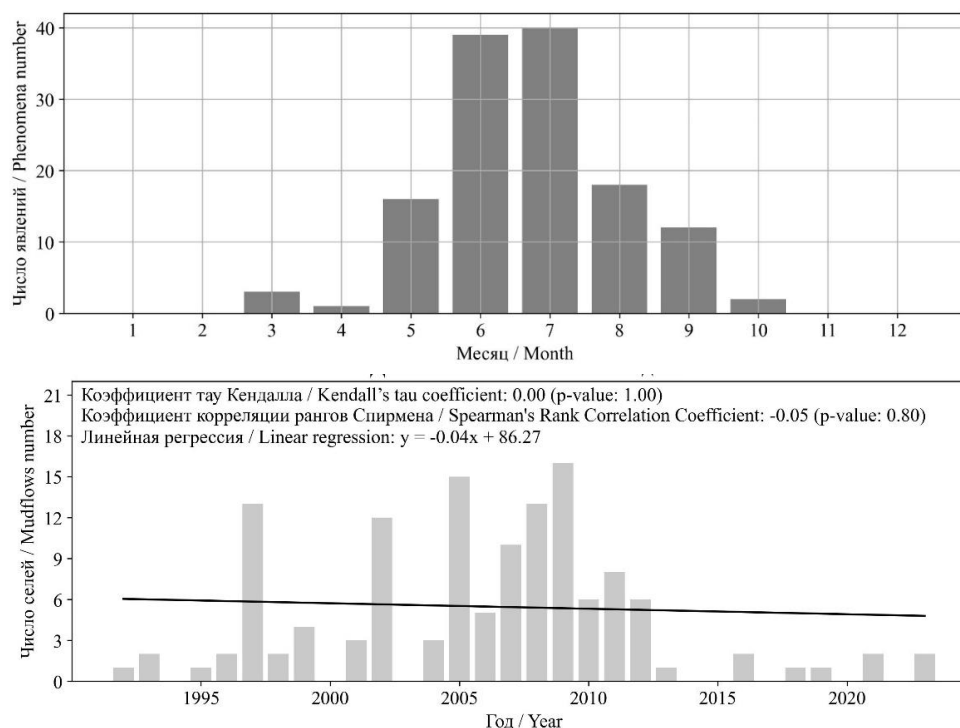


Рис. 4. Распределение числа селей по месяцам (вверху). Динамика числа селей, причинивших ущерб на территории Республики Дагестан с 1991 по 2023 гг. (внизу) /

Fig. 4. Monthly distribution of the mudflows' number (on the top). Mudflows' number dynamics in the territory of the Republic of Dagestan from 1991 to 2023 (at the bottom)

При сопоставлении с динамикой явлений гидрометеорологического характера необходимо иметь в виду, что факторами формирования селей, кроме атмосферных осадков, является температура воздуха, которая неуклонно растет в последние годы, состояние оледенения, которое деградирует [Петрушина и др., 2023] и другие природные условия. Также важна освоенность территории и предпринимаемые защитные меры.

Заключение

Исследование изменения режима осадков в высокогорной зоне РД показало, что подавляющее число обнаруженных с 1961 года статистически значимых долгосрочных трендов климатических характеристик отрицательные. Значимо уменьшаются средние годовые и весенние суммы. Вместе с тем, анализ временных рядов месячных сумм, подвергнутых сглаживанию, позволил выделить статистически значимые положительные тенденции в марте и июле. В среднегорной зоне выявлен рост месячных сумм осадков в феврале и марте, а также в зимний сезон. Анализ сглаженных рядов позволил выявить значимый рост месячных сумм в июле (аналогично высокогорной зоне) и январе. Исследование изменения числа дней с осадками различной интенсивности показало, что в регионе снижается число дней с интенсивными осадками в апреле, мае, июне, августе и сентябре, ноябре и декабре. Растет число дней с интенсивными осадками в феврале, марте и июле.

В связи с тем, что в высокогорной зоне обнаружен долгосрочный тренд к росту месячных сумм осадков в марте и в июле (со скоростью 4 мм/10 лет и 6 мм/10 лет соответственно), можно ожидать, что дождевая составляющая формирования селей в эти месяцы будет расти.

Рост средних месячных сумм осадков с января по март со скоростью от 1 до 2,5 мм/10 лет вносит вклад в рост накопления снега, который затем участвует в процессе таяния и формировании связанных с ним опасных явлений гидрологического характера. Снижение сумм осадков с апреля по июнь, а также в августе-сентябре происходит за счет уменьшения числа дней с осадками большой интенсивности, что снижает вклад гидрометеорологической составляющей в формирование селей в эти месяцы.

Литература

1. Вышкваркова Е.В. Тенденции экстремальных осадков над Северным Кавказом и Крымским полуостровом за период 1961-2018 гг. // Материалы IV Международной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова «Развитие водных транспортных магистралей в условиях глобального изменения климата на территории Российской Федерации (Евразии)». Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2022 – С. 207–209.
2. Кюль Е.В. Вопросы комплексной оценки фактической природной опасности территории Кабардино-Балкарской Республики (на примере бассейна р. Чегем). // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 1. – С. 24–32.
3. Петрушина М.Н., Гуня А.Н., Колбовский Е. Ю., Пуреховский А.Ж. Динамика горных ландшафтов Северного Кавказа при современном изменении климата и усилении антропогенного воздействия. // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2023. – Т. 87. № 7. – С. 1032–1049. DOI: 10.31857/S2587556623070130.
4. Разумов В.В., Беккиев М.Ю., Разумова Н.В., Шагин С.И. Масштабы и опасность наводнений на Северном Кавказе. // Наука. Инновации. Технологии. – 2018. – № 1. – С. 143–160.

5. 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. 71–90. DOI: 10.37493/2308-4758.2024.1.4.
6. Ali R., Kuriqi Al., Abubaker Sh., Kisi Oz. Long-Term Trends and Seasonality Detection of the Observed Flow in Yangtze River Using Mann-Kendall and Sen's Innovative Trend Method. // Water. – 2019 – Vol. 11. No. 9. – Art. No. 1855. DOI: 10.3390/w11091855.
7. Blöschl G., Hall J., Viglione A., Perdigão R.A.P., et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. // Nature. – 2019. – Vol. 573. No. 7772. – pp. 108–111. DOI: 10.1038/s41586-019-1495-6.
8. Demichev V., Dashieva B., Filatov I. Characterization of Russian regions by variation in average temperature, precipitation, and agricultural development. // SABRAO Journal of Breeding and Genetics. – 2024. – Vol. 56. No. 2. – pp. 616–627. DOI: 10.54910/sabrao2024.56.2.14.
9. Gentilucci M., Barbieri M., D'Aprile F., Zardi D. Analysis of extreme precipitation indices in the Marche region (central Italy), combined with the assessment of energy implications and hydrogeological risk. // Energy Reports. – 2020. – No. 6. – pp. 804–810. DOI: 10.1016/j.egyr.2019.11.006.
10. Gu G., Adler R.F. Observed variability and trends in global precipitation during 1979–2020. // Climate Dynamics. – 2022. – No. 61(1-2). – pp. 131–150. DOI: 10.1007/s00382-022-06567-9.
11. Khlebnikova E.I., Rudakova Y.L., Shkolnik I.M. Changes in Precipitation Regime over the Territory of Russia: Data of Regional Climate Modeling and Observations. // Russian Meteorology and Hydrology. – 2019. – No. 44. – pp. 431–439. DOI: 10.3103/S106837391907001X.
12. Korchagina E.A. Long-term dynamics of the climatic factors of the natural hazards' formation in the Northern Caucasus. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Art. No. 012036. DOI: 10.1088/1755-1315/840/1/012036.
13. Korchagina E.A. Modern changes in the precipitation and air temperature regime in the mountainous regions of the Dagestan Republic. // Russian Journal of Earth Sciences. – 2022. – Vol. 22. No. 5. DOI: 10.2205/2022ES01SI04.
14. Kundzewicz Z.W., Kanae S., Seneviratne S.I., Handmer J., Nicholls N., et al. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. // Hydrological Sciences Journal. – 2013. – Vol. 59. No. 1. – pp. 1–28.
15. Panda A., Sahu N. Trend analysis of seasonal rainfall and temperature pattern in Kalahandi, Bolangir and Koraput districts of Odisha, India. // Atmospheric Science Letters. – 2019. – Vol. 20. No. 1. – pp. 1–10. DOI: 10.1002/asl.932.
16. Risser M.D., Wehner M.F., O'Brien J.P., Patricola C.M., O'Brien T.A., Collins W.D., Paciorek C.J., Huang H. Quantifying the influence of natural climate variability on in situ measurements of seasonal total and extreme daily precipitation. // Climate Dynamics. – 2021. – No. 56(9-10). – pp. 3205–3230. DOI: 10.1007/s00382-021-05638-7.
17. Tabari H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. // Scientific Reports. – 2020. – No. 10. – Art. No. 13768. DOI: 10.1038/s41598-020-70816-2.
18. Tashilova A.A., Ashabokov B. A., Kesheva L.A., Teunova N.V. Modern Climate Changes in the North Caucasus Region. // Physics of the Atmosphere, Climatology and Environmental Monitoring. – 2022. – pp. 289–297.
19. Trenberth K. Changes in precipitation with climate change. // Climate Research. – 2011. – Vol. 47. Nos.1-2. – pp. 123–138. DOI: 10.3354/cr00953.
20. Valdivieso-García K., Vázquez-Patiño A., Saritama H., Contreras J., Avilés A., García F. Influence of climate change on precipitation extremes in Ecuador. // Climatic Change. – 2024. – Vol. 177. No. 11. DOI: 10.1007/s10584-024-03820-4.

References

1. Vyshkvarkova E.V. Trends in extreme precipitation over the North Caucasus and the Crimean Peninsula for the period 1961–2018. In: Proceedings of the IV International Scientific Conference in Memory of Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences D.G. Matishov “Development of Water Transport Highways under the Conditions of Global Climate Change in the Russian Federation (Eurasia). Rostov-on-Don. SSC. 2022. pp. 207–209. (In Russ)
2. Kyul E.V. Issues of a comprehensive assessment of the actual natural hazard of the territory of the Kabardino-Balkarian Republic (on the example of the Chegem River basin). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2017. No. 1. pp. 24–32. (In Russ)
3. Petrushina M.N., Gunya A.N., Kolbovsky E.Yu., Purehovsky A.Zh. Dynamics of Mountain Landscapes of the North Caucasus under Modern Climate Change and Increased Anthropogenic Impact. *Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2023. Vol. 87. No. 7. pp. 1032–1049. DOI: 10.31857/s2587556623070130. (In Russ)
4. Razumov V.V., Bekkiev M.Yu., Razumova N.V., Shagin S.I. The scale and danger of floods in the North Caucasus. *Science. Innovation. Technologies*. 2018. No. 1. pp. 143–160. (In Russ)
5. Tashilova A.A., Fedchenko L.M., Zalikhanov M.Ch., Kondratyeva N.V. Analysis of the dynamics of mudflows against the background of climatic changes in the high-altitude zone of Kabardino-Balkaria. *Science. Innovation. Technologies*. 2024. No. 1. pp. 71–90. DOI: 10.37493/2308-4758.2024.1.4. (In Russ)
6. Ali R., Kuriqi Al., Abubaker Sh., Kisi Oz. Long-Term Trends and Seasonality Detection of the Observed Flow in Yangtze River Using Mann-Kendall and Sen’s Innovative Trend Method. *Water*. 2019 Vol. 11. No. 9. Art. No. 1855. DOI: 10.3390/w11091855.
7. Blöschl G., Hall J., Viglione A., Perdigão R.A.P., et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*. 2019. Vol. 573. No. 7772. pp. 108–111. DOI: 10.1038/s41586-019-1495-6.
8. Demichev V., Dashieva B., Filatov I. Characterization of Russian regions by variation in average temperature, precipitation, and agricultural development. *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*. 2024. Vol. 56. No. 2. pp. 616–627. DOI: 10.54910/sabrao2024.56.2.14.
9. Gentilucci M., Barbieri M., D’Aprile F., Zardi D. Analysis of extreme precipitation indices in the Marche region (central Italy), combined with the assessment of energy implications and hydrogeological risk. *Energy Reports*. 2020. No. 6. pp. 804–810. DOI: 10.1016/j.egyr.2019.11.006.
10. Gu G., Adler R.F. Observed variability and trends in global precipitation during 1979–2020. *Climate Dynamics*. 2022. No. 61(1-2). pp. 131–150. DOI: 10.1007/s00382-022-06567-9.
11. Khlebnikova E.I., Rudakova Y.L., Shkolnik I.M. Changes in Precipitation Regime over the Territory of Russia: Data of Regional Climate Modeling and Observations. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2019. No. 44. pp. 431–439. DOI: 10.3103/S106837391907001X.
12. Korchagina E.A. Long-term dynamics of the climatic factors of the natural hazards’ formation in the Northern Caucasus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Art. No. 012036. DOI: 10.1088/1755-1315/840/1/012036.
13. Korchagina E.A. Modern changes in the precipitation and air temperature regime in the mountainous regions of the Dagestan Republic. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2022. Vol. 22. No. 5. DOI: 10.2205/2022ES01SI04.
14. Kundzewicz Z.W., Kanae S., Seneviratne S.I., Handmer J., Nicholls N. et al. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*. 2013. Vol. 59. No. 1. pp. 1–28.
15. Panda A., Sahu N. Trend analysis of seasonal rainfall and temperature pattern in Kalahandi, Bolangir and Koraput districts of Odisha, India. *Atmospheric Science Letters*. 2019. Vol. 20. No. 1. pp. 1–10. DOI: 10.1002/asl.932.
16. Risser M.D., Wehner M.F., O’Brien J.P., Patricola C.M., O’Brien T.A., Collins W.D., Paciorek C.J., Huang H. Quantifying the influence of natural climate variability on in situ

measurements of seasonal total and extreme daily precipitation. *Climate Dynamics*. 2021. No. 56(9-10). pp. 3205–3230. DOI: 10.1007/s00382-021-05638-7.

17. Tabari H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*. 2020. No. 10. Art. No. 13768. DOI: 10.1038/s41598-020-70816-2.

18. Tashilova A.A., Ashabokov B. A., Kesheva L.A., Teunova N.V. Modern Climate Changes in the North Caucasus Region. *Physics of the Atmosphere, Climatology and Environmental Monitoring*. 2022. pp. 289–297.

19. Trenberth K. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*. 2011. Vol. 47. Nos.1-2. pp. 123–138. DOI: 10.3354/cr00953.

20. Valdivieso-García K., Vázquez-Patiño A., Saritama H., Contreras J., Avilés A., García F. Influence of climate change on precipitation extremes in Ecuador. *Climatic Change*. 2024. Vol. 177. No. 11. DOI: 10.1007/s10584-024-03820-4.