

УДК 517+551.5+551.3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ СУММ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ГОРНОЙ ТЕРРИТОРИИ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССИИ С 1960 ПО 2016 ГГ.

© Корчагина Е.А.

КБНЦ РАН, г. Нальчик, Россия

*На основе статистической обработки данных метеостанций Клухорский перевал и Шаджатмаз исследованы характеристики динамики интервальных рядов средних годовых и сезонных сумм атмосферных осадков в горной зоне Карачаево-Черкесской Республики. Выделенные линейные тренды обладают слабой устойчивостью и статистически незначимы. При этом значимость тенденции роста сумм осенних осадков на Клухорском перевале в 1960-2016 гг. и снижения летних на Шаджатмазе в 1976-2016 гг. близка к пороговой, что делает оценку для этих рядов ненадежной.*

**Ключевые слова:** динамика, суммы атмосферных осадков, метеорологические параметры, опасные природные процессы.

**Введение.** Территория республик, расположенных на Северном Кавказе, подвержена ряду опасных для человека природных явлений, специфика которых диктуется сложным рельефом местности. Осадки являются одним из климатических факторов, способствующих распространению и поддержанию оледенения, элементы которого участвуют в формировании таких опасных экзогенных процессов (ОЭП) в высокогорье как гляциальные сели [10]. Атмосферные осадки влияют на формирование речного стока, инициируют оползневую, селевую, лавинную активность в горных районах республик Северного Кавказа. Вследствие чего исследование активности проявления ОЭП в горной части региона (снежные лавины, сели, оползни и др.) для

оценки подверженности территориальных систем (геосистем) совокупности ОЭП на основе развиваемой в Центре географических исследований КБНЦ РАН геоинформационной методологии [12, 13] включает исследование режима атмосферных осадков.

Если поля температуры воздуха обладают большой пространственной связностью [7, 8], то распределение атмосферных осадков, особенно на территории, изрезанной высокогорным рельефом, отличаются существенной пространственной неоднородностью [11].

Наиболее достоверным материалом для исследования климатических параметров в регионе являются многолетние данные измерений характеристик атмосферы на метеостанциях в изучаемом регионе. Вследствие смены приборов, количества сроков измерений и соответствующим поправкам ряды, составленные на основе расчетов по данным метеостанций за все время их функционирования, не дают корректной информации для анализа. С середины 60-х годов прошлого века методика измерения и обработки данных на метеостанциях не изменялась и ряды сумм осадков можно считать однородными [2].

С некоторыми результатами исследования динамики такого метеоэлемента как суммы атмосферных осадков по данным различных метеостанций, расположенных на юге европейской части России, можно ознакомиться, например, в [14].

**Материалы и методы.** В горной зоне Карачаево-Черкесской Республики находятся и систематически действуют с середины прошлого столетия две высокогорные метеостанции. Метеостанция Клухорский перевал расположена в западной части главного Кавказского хребта на абсолютной высоте 2037 м н. у. м., ( $43^{\circ} 25' \text{ с.ш. } 41^{\circ} 83' \text{ в.д.}$ , по данным [4]), метеостанция Шаджатмаз находится на уровне 2070 м ( $43^{\circ} 73' \text{ с.ш. } 42^{\circ} 67' \text{ в.д.}$  [4]). Временные ряды средних годовых и сезонных сумм атмосферных осадков получены в результате статистической обработки данных измерений приземной температуры воздуха в период 1960 по 2016 гг. [3]. Исследованы динамические ряды абсолютных и относительных аномалий климатических параметров с интервалом 1 год, 10 лет, 30 лет.

В качестве методов исследования динамики средних годовых и сезонных сумм атмосферных осадков в горной зоне КЧР использованы методы математической статистики и регрессионного анализа. Степень полноты устойчивости выявленных тенденций оценивалась непараметрическим методом корреляции рангов Ч. Спирмэна. Подробнее о предпосылках применения данных методов в исследуемой области в [9].

Сроки осреднения данных для расчета стандартных характеристик климата выбраны согласно с рекомендациями Всемирной метеорологической организации (ВМО) [16].

**Результаты и обсуждение.** Средние многолетние показатели для рядов сумм осадков рассчитаны по тридцатилетним периодам 1961-1990 гг., 1971-2000 гг., 1981-2010 гг. (табл. 1). Период 1961-1990 гг. рекомендован ВМО в качестве базы для отслеживания современных изменений климата.

Таблица 1

 Средние многолетние показатели сумм атмосферных осадков (мм/мес.)  
и относительные показатели их динамики, Шаджатмаз

Сезон	Многолетние средние показатели, мм/мес			Темп прироста, %		
	1960-1990	1970-2000	1980-2010	$k_{1961-1990}^{1971-2000}$	$k_{1971-2000}^{1981-2010}$	$k_{1961-1990}^{1981-2010}$
Год	55,7	53,2	52,9	-4,55	-0,45	-4,98
Весна	63,6	61,1	60,4	-3,90	-1,17	-5,02
Лето	106,7	99,9	97,8	-6,39	-2,09	-8,35
Осень	37,6	36,3	38,2	-3,45	5,25	1,62
Зима	14,8	15,2	15,2	3,11	-0,41	2,69

Аналогичные показатели для метеостанции Клухорский перевал приведены в работе [8]. Поскольку абсолютные значения исследуемых параметров на метеостанциях отличаются от 1,3 раза летом до 9,5 раз зимой, в качестве характеристики, позволяющей сравнивать динамику многолетних средних значений на разных метеостанциях выбран темп прироста. Это относительная характеристика динамики рядов и представляет собой отношение абсолютного изменения к предыдущему уровню [1].

$$k \text{ ————— } , \tag{1}$$

или к базисному уровню

$$\text{—————} , \tag{2}$$

где  $\Delta_{i-1}^i$  – цепное абсолютное изменение многолетнего среднего показателя по отношению к предыдущему,  $\Delta_{1961-1990}^i$  – его абсолютное изменение по отношению к начальному (базисному) уровню 1961-1990 гг.,  
)

На метеостанции Шаджатмаз относительные цепные и базисные приросты средних многолетних норм весной, летом и годовые имеют отрицательные значения и не меняют знака на протяжении исследуемого отрезка времени. Осенью и зимой направления роста менялись, но в итоге базисные значения приобрели положительный знак. Значения темпа прироста находятся в пределах от -8,35 % летом до +2,7 % зимой.

На Клухорском перевале базисный темп прироста (убыли) не превышает 6 %. Исключение составляет осенний сезон ( $k_{1961-1990}^{1981-2010} = 17,4 \%$ ).

Относительные аномалии  $p_{jk}$  для ряда с интервалом, укрупненным до 10 лет, приведены в таблице 2, где использованы обозначения (аналогично [6]):

$$\frac{\bar{I}_{jk}}{\bar{I}_c} . \tag{3}$$

Здесь  $\bar{I}_{jk}$ , мм – средние за  $j$ -ый период времени суммы осадков, осредненные за  $k$ -ый сезон;  $\bar{I}_{(1961-1990)k}$ , мм/мес. - климатическая норма осадков 1961-1990 гг. за  $k$ -ый сезон (приведены в таблице 1);  $j$  в данном случае принимает значения из множества (1961-1970; 1971-1980; 1981-1990; 1991-2000; 2001-2010; 2006-2015);  $k \in$  (год; весна; лето; осень; зима).

Таблица 2

Относительные аномалии  $p_{jk}$  средних годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за период 1960-2016 гг. по данным метеостанции Шаджатмаз

Интервал, $j$ Сезон, $k$	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2007-2016
Год	0,95	1,02	1,04	0,81	1,00	0,99
Весна	0,97	1,03	1,01	0,85	0,99	0,98
Лето	0,93	0,98	1,09	0,75	0,91	0,97
Осень	0,95	1,10	0,95	0,85	1,24	1,07
Зима	0,94	1,04	1,02	1,03	1,03	1,04

Результаты расчетов дают возможность сравнить ход и экстремальные значения осредненных за десятилетия климатических характеристик в изучаемых пунктах:

- в 1961-1970 гг. отмечается минимум зимних осадков в Шаджатмазе ( $p = 0,94$ ) и их максимум на Клухорском перевале ( $p = 1,19$ );
- в 1971-1980 гг. отмечается максимум осадков зимой (1,04) и весной (1,3) в Шаджатмазе. На Клухорском перевале в этот период отмечается минимум среднегодовых сумм ( $p_{(1971-1980)год} = 0,98$ );
- в 1981-1990 гг. отмечается максимум летних осадков на обеих метеостанциях, в Шаджатмазе отмечается максимум среднегодовых сумм ( $p = 1,04$ );
- 1991-2000 гг. является десятилетием минимальных сумм осадков в

Шаджатмазе (за исключением зимних), на Клухорском перевале в этот период минимум весенних сумм ( $p_{(1991-2000)год}=0,95$ ).

ВМО объявила декаду 2001-2010 гг. самым влажным десятилетием с 1901 г. (не считая десятилетие 1951-1960 гг.) в глобальном масштабе [15]. На Клухорском перевале в этот период также отмечается максимум годовых сумм осадков с 1960 г., а также весенних и осенних сумм. На метеостанции Шаджатмаз годовые суммы находятся в норме ( $p_{(2001-2010)год}=1,00$ ), а максимум наблюдается только в осенний период.

Декада 2007-2016 гг. не соответствует требованиям ВМО по выбору периода осреднения, но характеризует последнее по времени состояние климата. Это период минимальных сумм осадков на Клухорском перевале (год 0,97, лето 0,85, зима 0,86). В Шаджатмазе в этот период обнаруживается максимум зимних сумм (1,04).

Таким образом, сравнение с соответствующими показателями по Клухорскому перевалу показывает, что ход годовых средних на этих метеостанциях не является синхронным. Колебания зимних сумм в сравниваемых пунктах находится в противофазе.

Наличие тенденций во временных рядах элементов климата служит маркером его изменений. Для расчета линейных трендов исследуемых рядов с 1960 по 2016 гг. использован математический аппарат регрессионного анализа. Результаты расчетов некоторых характеристик выделенных трендов представлены в таблице 3. Здесь  $b$  – коэффициент линейной регрессии, мм/мес./10 лет,  $p$ -значение – вероятность ошибки при отклонении нулевой гипотезы (ошибки первого рода),  $d$ , % – доля дисперсии, объясняемой трендом,  $s(t)$  – среднее квадратическое отклонение уровней от тренда,  $v(t)$  – коэффициент колеблемости [1].

Колеблемость значений уровней атмосферных осадков в горной зоне КЧР высокая (более 30 %) в полугодие осень-зима и достигает максимального значения в зимний сезон. В полугодие весна-лето колеблемость умеренная (23-28 %).

Наименьшую силу колебаний атмосферных осадков в горной зоне КЧР имеют их среднегодовые уровни. Здесь колеблемость умеренная ( $v(t)_{год} = 0,17$ ).

Сравнивая показатели силы колебаний отметим, что колеблемость на Шаджатмазе меньше на 1-3 % соответствующих значений на Клухорском перевале. Исключение составляет лето, которое выше на 5 %.

Исследование устойчивости выделенных тенденций динамики сумм атмосферных осадков воздуха за период 1961-2015 гг. проведено с использованием непараметрического метода корреляции рангов Ч. Спирмэна [1]. Дополнительно проведены тесты на их статистическую значимость, дана качественная характеристика степени полноты устойчивости по шкале Чеддока (подробнее в [6]).

Таблица 3

Показатели динамики средних сезонных сумм атмосферных осадков за 1960-2016 гг., по данным метеостанции Шаджатмаз, мм/мес./10 лет

Сезон	Характеристики тренда			Показатели силы колебаний	
	$B$	$p$ -значение	$d$ , %	$s(t)$	$v(t)$
Год	-0,20	0,79	0	9,19	0,17
Весна	-0,34	0,76	0	13,98	0,23
Лето	-1,49	0,49	1	27,46	0,28
Осень	0,86	0,38	1	12,56	0,32
Зима	0,18	0,68	0	5,40	0,36

Для проверки статистической значимости оценок параметров выявленных трендов сформулирована простая гипотеза об их случайном отличии от нуля ( $H_0: b=0$ ) и вычислены критические и фактические значения  $t$ -критерия Стьюдента. Пороговое значение для вероятности ошибки отклонения нулевой гипотезы (уровень значимости  $\alpha$ ) принято равным 0,05.

Выявленные тренды не обладают признаками статистической значимости ( $p$ -значение  $\gg 0,05$ ,  $d \leq 1\%$ ).

Несмотря на то, что годовая тенденция на Клухорском перевале положительная, а в Шаджатмазе отрицательная, уровень значимости и доля дисперсии, объясняемой трендом, у них совпадают и равны нулю (рис. 1), что дает основание полагать расхождения не существенными. По направлению тенденции сумм атмосферных осадков на сравниваемых метеостанциях совпадают в летне-осенний сезон и противоположны в зимне-весенний.

Доля дисперсии, объясняемой трендом, выше на Клухорском перевале на 2-5 %.

Тренд осенних осадков на Клухорском перевале имеет  $p$ -значение 0,06, близкое к пороговому, что не позволяет считать данную оценку надежной.

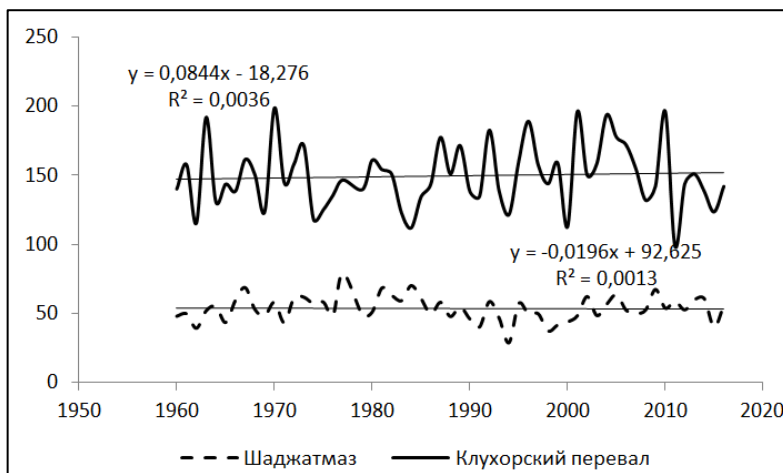


Рис. 1. Средние годовые суммы атмосферных осадков на высокогорных станциях КЧР и их тренды с 1960 по 2016 гг.

Результаты расчета приведены в таблице 4. Здесь  $r_s$  - коэффициент корреляции рангов Ч. Спирмэна.

Таблица 4

Значения коэффициента корреляции Ч. Спирмена сумм атмосферных осадков за 1960-2016 гг. и 1976-2016 гг., Шаджатмаз

Сезон	1960-2016 гг.		1976-2016 гг.			
	$p$ -значение	Качественная оценка	$p$ -значение	Качественная оценка		
Год	0,012	0,93	слабая, прямая	-0,04	0,79	слабая, обратная
Весна	-0,09	0,53	слабая, обратная	-0,07	0,64	слабая, обратная
Лето	-0,30	0,21	слабая, обратная	-0,30	0,058	слабая, обратная
Осень	0,22	0,11	слабая, прямая	0,20	0,19	слабая, прямая
Зима	0,02	0,89	слабая, прямая	-0,09	0,59	слабая, обратная

За период 1960-2016 гг. сезоны год ( $r_s=0,012$ ), зима ( $r_s=0,02$ ), осень ( $r_s=0,2$ ) имеют прямую тенденцию, лето ( $r_s=-0,3$ ) и весна ( $r_s=-0,09$ ) – обратную. Степень полноты устойчивости тенденции определяется как слабая ( $r_s < 0,3$ ) для всех сезонов. Вероятность ошибки первого рода превышает 0,11, коэффициент корреляции Спирмена незначим на уровне 0,05 для всех рядов сумм осадков.

При переходе к так называемому периоду интенсивного потепления 1976-2016 гг. зимние и годовые тенденции меняют направление, но остаются в той же качественной категории. Исключение составляет летний ряд. Коэффициент корреляции

Спирмэна здесь имеет такое же абсолютное значение, как и в 1960-2016 гг., но вероятность ошибки первого рода составляет 0,057, что близко к значению выбранного порога точности 0,05. В этом случае оценка не является надежной.

Относительный вклад средних сезонных сумм атмосферных осадков в годовую сумму и его динамику на метеостанции Шаджатмаз демонстрирует диаграмма на рис.2. На Клухорском перевале суммы осадков распределены по сезонам относительно равномерно: весна 23-27 %, лето 20-26 %, осень 24-34 %, зима 21-28 %. По данным метеостанции Шаджатмаз около половины годовой суммы составляют летние осадки (44-50 %). На осадки зимнего периода приходится не более 8 % общей суммы.

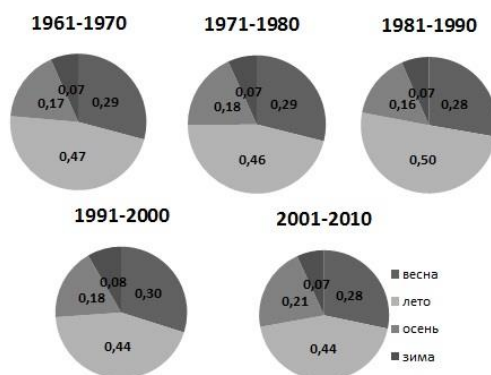


Рис. 2. Вклад средних сезонных сумм атмосферных осадков в годовую сумму. Метеостанция Шаджатмаз

Сравнение локальных тенденций динамики сумм осадков в горной части КЧР со средними по Южному федеральному округу (ЮФО) и Северо-Кавказскому федеральному округу (СКФО) за период 1976-2016 гг. [5] показывает, что выявленные тенденции на Клухорском перевале демонстрируют согласие по направлению трендов, их величине и значимости с рассчитанными средними по ЮФО [5] (табл. 5). Исключение составляют осенние осадки, согласующиеся со средними по СКФО.

Таблица 5

Тренды сезонных сумм атмосферных осадков на высокогорных метеостанциях КЧР и средних по ЮФО и СКФО за 1976-2016 гг., мм/мес./10 лет

	Год		Весна		Лето		Осень		Зима	
	<i>b</i>	<i>d</i> , %	<i>b</i>	<i>d</i> , %	<i>b</i>	<i>d</i> , %	<i>b</i>	<i>d</i> , %	<i>b</i>	<i>d</i> , %
ЮФО [5]	0,2	0	5,7	10	-4,6	5	1,2	0	-0,2	0
СКФО [5]	2,6	9	5,6	10	-1,1	0	2,8	2	2,8	3
Клухорский перевал	1,20	0	7,3	5	-5,4	4	5,3	1	-2,4	0
Шаджатмаз	-1,06	2	0,13	0	-5,13	4	0,33	0	0,4	1

Тенденции, обнаруженные по данным метеостанции Шаджатмаз, согласуются с соответствующими значениями по ЮФО в сезоны лето, осень и год. Зимняя тенденция близка к средней по СКФО по направлению и значимости.

Весенние осадки на Шаджатмазе имеют индивидуальную динамику, не совпадающую ни с одной из тенденций в регионе. Значение весеннего тренда близко к нулю,  $d = 0\%$  (табл. 5).

**Выводы.** Изменение стандартных 30-летних средних значений годовых и сезонных сумм атмосферных осадков в высокогорной зоне КЧР за период 1960-2016 гг.

не превышает 8,5 % нормы. Исключением являются осенние суммы осадков на Клухорском перевале, изменение которых достигло 17 % от нормы.

Анализ показал, что динамика годовых и сезонных сумм атмосферных осадков на метеостанциях Клухорский перевал и Шаджатмаз, расположенных примерно на одной высоте над уровнем моря, не является синхронной.

Несмотря на несовпадение направлений годовых тенденций на соседних метеостанциях, уровень значимости и доля дисперсии, объясняемой трендом, у них близки к нулю, что дает основание считать расхождения не существенными.

Локальные изменения сумм атмосферных осадков в высокогорной зоне КЧР находятся в согласии с соответствующими тенденциями на юге европейской части России. Статистически значимых и устойчивых тенденций в изменении сумм средних годовых и сезонных сумм атмосферных осадков за периоды 1960-2016 гг. и 1976-2016 гг. по данным метеостанций Шаджатмаз и Клухорский перевал не обнаружено.

### Литература

1. *Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М.* Анализ временных рядов и прогнозирование. М.: Финансы и статистика. 2012. 320 с.
2. *Богданова Э.Г., Гаврилова С.Ю., Ильин Б.М.* Атмосферные осадки. Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, 2014. № 573. С. 39-64.
3. *Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Кориунова Н.Н., Швец Н.В.* «Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. URL: <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 15.08.2017).
4. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. URL: <http://meteo.ru/data/155-meteostations> (дата обращения: 15.06.2018).
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2017 г. Москва: Росгидромет, 2018. 69 с.
6. *Керимов А.М., Корчагина Е.А.* Исследование динамики годовых и сезонных сумм атмосферных осадков в южном Приэльбрусье за последние 60 лет // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2015. № 5(67). С. 53-60.
7. *Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я.* Климатологическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеоздат. 1978. 296 с.
8. *Корчагина Е.А.* Исследование температурного режима в высокогорье Карачаево-Черкесской Республики с 1951-го по 2016 гг. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, 2017. № 6 (80). С. 73-81
9. *Корчагина Е.А.* Исследование динамики приземной температуры воздуха и сезонных сумм осадков в Приэльбрусье (середина XX - начало XXI века) // Грозненский естественнонаучный бюллетень, 2016. N 4 (4). С. 34-40.
10. *Лурье П.М., Панов В.Д., Ильичев Ю.Г., Салтагаров А.Д.* Снежный покров и ледники бассейна реки Кубань. Кисловодск: Северокавказское издательство МИЛ, 2006. 245 с.
11. *Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю.* Река Кубань: гидрография и режим стока. Санкт-Петербург: Гидрометеоздат, 2005. 498 с.
12. *Марченко П.Е.* Методологические основы определения интегральных показателей природно-техногенной опасности территорий и их сравнения по степени подверженности опасным процессам. Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2009. 242 с.
13. *Марченко П.Е.* Дифференцированные интегральные оценки подверженности геосистем опасным экзогенным процессам (на примере Кабардино-Балкарской Республики) // Геология и геофизика Юга России, 2015. № 1. С. 35- 41.
14. *Пишхачева И.Н.* Сравнительный комплексный анализ и прогноз режима осадков в различных климатических зонах юга России: дис. ... канд. физ.-мат. наук: Высокотгорный геофизический ин-т. Нальчик, 2014. 22 с.
15. The Global Climate 2001-2010: a decade of climate extremes - Summary Report // WMO, 2013. No1203. 29 p. URL: [http://library.wmo.int/pmb\\_ged/wmo\\_1119\\_en.pdf](http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1119_en.pdf) (дата обращения: 15.02.2018)
16. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals - WMO; 2017. URL: [https://library.wmo.int/opac/doc\\_num.php?explnum\\_id=4166](https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=4166) (дата обращения: 18.01.2018).