

## Физико-географические исследования

УДК 551.577(67)(045)

*Мами Магбини Токпа, В.А. Лобанов, А.И.Н. Мханна, С.В. Морозова, М.А. Алимпиева*

### ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АФРИКЕ

Исследованы многолетние ряды сумм месячных осадков сезонов с начала наблюдений по 2022 г. на 57 метеорологических станциях в центральной Африке для оценки влияния изменения климата на динамику осадков в этой части африканского континента. Получены пространственно-временные распределения осадков за сухой и влажный сезоны и установлено, что наименьшее количество осадков наблюдается с ноября по март, а наибольшее – с апреля по октябрь. По типу внутригодовых изменений осадков были выделены четыре однородных климатических района и в каждом из них дана оценка произошедшим изменениям. Применены разные методические подходы для оценки изменений осадков в месяцы влажного и сухого сезонов года. В целом, значительных изменений в динамике не обнаружено, однако, установлена общая тенденция уменьшения осадков в месяцы влажного сезона и их увеличение в отдельных частях территории в месяцы сухого сезона года. Снижение в месяцы влажного сезона составило от -25,5 мм до -138,5 мм или 0,8–1,2 СКО, и увеличение в отдельных районах 52,8 мм и 68,1 мм или 0,8–1,1 СКО. В сухой сезон наибольшее снижение произошло в северном и центральном регионах, достигнув -31,6 мм (0,88 СКО) в феврале, а значительное увеличение имело место в прибрежных районах Гвинейского залива и достигло 15 мм (2,0 СКО) в январе.

*Ключевые слова:* месячная сумма осадков, изменение климата, моделирование многолетних рядов, внутригодовое распределение, районирование, динамика норм осадков, Центральная Африка.

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-2-217-232

В настоящее время общеизвестно, что рост антропогенного накопления парниковых газов в глобальной атмосфере и увеличение региональных концентраций аэрозольных частиц оказывают большое влияние на климатическую систему Земли [1; 2]. Эти эффекты проявляются и на региональном масштабе, но, возможно, с большими неопределенностями [3; 4]. Хотя Африка имеет низкий уровень выбросов парниковых газов, она не избавлена от последствий изменения климата [5]. Однако, климат Африки разнообразен: от влажных экваториальных типов до субтропических средиземноморских климатов, через засушливые тропические области, что проявляется и в разнообразной динамике изменения осадков.

Динамика осадков в Центральной Африке, в отличие от субтропиков и внетропических областей, все еще слабо изучена в свете современных изменений климата [5–8]. Немногочисленные существующие исследования показывают, что на межгодовом временном интервале имеет место не такое существенное изменение осадков, как в других регионах планеты с аналогичным их количеством. Исследования пространственных закономерностей осадков также немногочисленны и показывают их низкую пространственную согласованность [4; 6]. В целом результаты исследований свидетельствуют о низкой чувствительности тропического климата к глобальным климатическим изменениям в связи с низкими внутригодовыми и межгодовыми колебаниями температуры поверхности океана в его экваториальном секторе.

Однако проблема количественной оценки изменения осадков вблизи экватора остается и особенно важна в связи с наличием как влажных, так и сухих сезонов внутри года, что обуславливает необходимость регулирования внутригодового перераспределения влагозапасов для нужд сельского хозяйства и других отраслей экономики.

Среднее количество осадков в этой части Центральной Африки, расположенной по обе стороны экватора и ограниченной Атлантическим океаном на западе, составляет от 1500 до 1800 мм в центре региона и на экваторе, от 300 до 1500 мм – на юге Демократической Республики Конго, где имеет место повышение рельефа, и менее 300 мм – на севере Чада [9]. Воздействие современного изменения климата на осадки связано как с температурным режимом, так и с переносом влаги с Атлантического океана

и с динамикой внутритропической зоны конвергенции, что приводит к увеличению сезонной и межгодовой изменчивости, засухам в некоторых районах и увеличению частоты сильных осадков [10].

Вместе с тем отсутствие надежных данных наблюдений приводит к высокой неопределенности в оценке наблюдаемых тенденций осадков и низкой уверенности в изменениях экстремальных осадков [11–13]. Некоторые исследования указывают на засуху, делящуюся с середины двадцатого века, связанную с уменьшением среднего количества осадков и увеличением их дефицита [12], а также на увеличение метеорологических, сельскохозяйственных и экологических засух [14]. В то же время в работе [15] было показано, что в период 1983–2010 гг. наблюдается пространственная неоднородность в тенденциях годового количества осадков, варьирующая от  $-10$  мм до  $+39$  мм в год с уменьшением среднего сезонного количества осадков с апреля по июнь на  $-69$  мм в год в большинстве районов Центральной Африки, за исключением северо-западной части [16–19]. Южная и восточная части Центральной Африки были определены как «горячие точки» засухи в период с 1991 по 2010 годы [20].

Поэтому целью настоящего исследования является климатическое районирование осадков по типу их внутригодового распределения на территории Центральной Африки и количественная оценка их многолетних изменений во влажные и сухие сезоны года.

### Материалы и методы исследования

**Исходные данные и оценка их качества.** В данной работе рассматривается регион Центральной Африки между  $14^{\circ}$  с.ш. и ю.ш. и между  $6,7$  и  $33,8^{\circ}$  в.д. Данные, используемые для настоящего исследования, представляют собой многолетние ряды сумм осадков каждого месяца с начала наблюдений, которое относится к 1930–1940 гг., по 2022 год включительно на 57 метеостанциях в пределах и за пределами границ региона, полученные из архивов сайтов Метеорологического института Королевства Нидерландов и «Погода и климат» [21; 22] (рис. 1). Важно отметить, что в целом распределение станций по территории неравномерно, особенно мало пунктов наблюдений в Демократической Республике Конго (5 пунктов), площадь которой составляет почти половину всей рассматриваемой территории Центральной Африки. На получение более полной информации по отдельным африканским странам также влияет отсутствие доступа к такой информации, как указано, например, в [23].

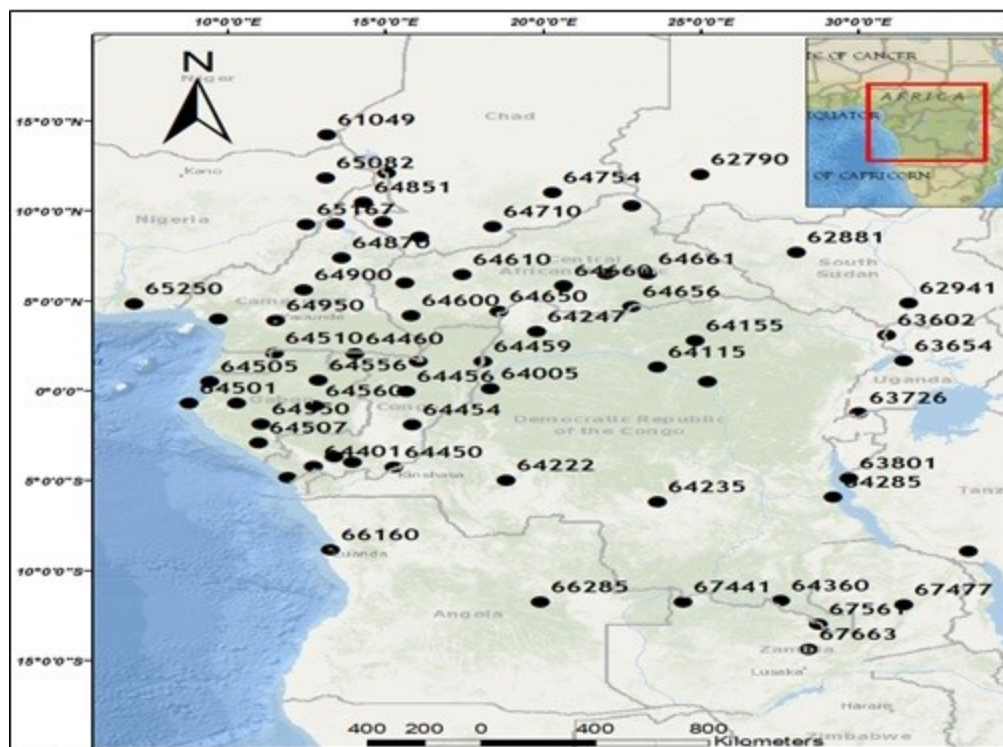


Рис. 1. Схема расположения метеостанций на территории Центральной Африки

Статистические критерии Диксона и Смирнова-Граббса применялись для формализованной оценки однородности экстремальных значений эмпирических распределений, а статистические критерии Фишера и Стьюдента – для оценки стационарности дисперсий и средних значений двух одинаковых частей временного ряда [24–26]. В результате статистически значимые неоднородные экстремумы, полученные на 5 % уровне значимости, были исключены из ряда наблюдений, чтобы не влиять на надежность оценки общей долговременной тенденции.

Для того чтобы результаты моделирования временных рядов были достаточно надежными и обобщаемыми по территории, недостающие наблюдения были восстановлены по методике, основанной на регрессионных уравнениях связи между рассматриваемым рядом и рядами в ближайших пунктах наблюдения [27–30]. Для этого минимальный совместный период наблюдений был задан в 10 лет, минимальное количество аналогов в уравнении – 3, минимальное значение коэффициента корреляции – 0,8, среднее отношение коэффициента уравнения регрессии к его средней квадратической ошибке – 2,0, что соответствует 95 % доверительному интервалу. Полученные результаты представлены в табл. 1, где в колонке 2 указано количество станций, по которым были восстановлены недостающие данные из общего числа станций 57; в колонке 3 в числителе и знаменателе – средние значения количества лет до и после восстановления соответственно.

Таблица 1

**Оценка восстановления пропусков наблюдений и приведения рядов к многолетнему периоду на метеостанциях Центральной Африки с начала наблюдений до 2022 года**

Месяцы	Кол-во станций, в которых восстановлены данные	Среднее кол-во лет до и после восстановления
1	13	72/79
2	24	80/91
3	17	72/80
4	10	87/93
5	13	73/84
6	15	75/86
7	9	84/90
8	11	75/86
9	8	65/77
10	19	74/82
11	17	79/88
12	22	81/91

Таблица 2

**Результаты оценки стационарности временных рядов осадков по критериям Фишера и Стьюдента за период 1950–2022 гг. в Центральной Африке**

Район	Влажный период		Сухой период
	Стационарные ряды в %		Стационарные ряды в %
	Критерий Фишера	Критерий Стьюдента	Критерий Стьюдента
1	84,1 %	82,3 %	87,8 %
2	83,4 %	83,4 %	86,2 %
3	83,3 %	81,8 %	–
4	82,2 %	77,8 %	84,4 %
Среднее значение	83,3 %	81,3 %	86,2 %

Как видно из табл. 1, среднее число лет восстановленных наблюдений варьируется от 6 лет в апреле и июле до 12 лет в сентябре, что можно объяснить низкой корреляцией между осадками по территории. Поэтому, чтобы рассматривать ряды практически одинаковой длины, был выбран период 1950–2022 гг. Для этого периода была проведена оценка стационарности дисперсий и средних за две одинаковые половины ряда, результаты которой представлены в табл. 2. В связи с очень большими значениями дисперсий временных рядов для засушливого периода рассматривался только критерий Стьюдента.

Результаты, приведенные в табл. 2, показывают, что дисперсия и средние значения обеих частей временного ряда являются стационарными более чем в 80 % рядов.

**Методы исследования.** В данном исследовании использован метод, основанный на климатической классификации внутригодовых распределений осадков и на оценке эффективности проведенной классификации на основе рассчитанных коэффициентов парной корреляции между средними для выделенных однородных районов внутригодовыми распределениями осадков и внутригодовыми климатическими распределениями осадков на каждой станции всей территории Центральной Африки.

Методика оценки многолетних изменений осадков разная для влажного и сухого сезонов года. Так, для влажного сезона проводится аппроксимация многолетних временных рядов месячных сумм осадков моделями нестационарного среднего: моделью линейного тренда и моделью ступенчатого изменения среднего значения с оценкой их эффективности и статистической значимости по сравнению с моделью стационарной выборки [31–35]. Для оценки эффективности моделей использовался такой показатель, как стандартное отклонение (СКО) остатков модели  $\sigma_\varepsilon$ , и чем оно меньше, тем лучше модель. Стандартное отклонение остатков связано с коэффициентом детерминации модели ( $R^2$ ) следующей функциональной зависимостью:

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_y \sqrt{1 - R^2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_y$  — стандартное отклонение исходного ряда, характеризующее естественную изменчивость.

Очевидно, что для модели стационарной выборки  $\sigma_\varepsilon = \sigma_y$ , а  $R^2=0$ . Если модель нестационарного среднего эффективнее модели стационарной выборки, то ее  $\sigma_\varepsilon < \sigma_y$ . Поэтому мерой эффективности любой модели нестационарного среднего может служить относительная разность  $\Delta = (\sigma_y - \sigma_\varepsilon) / \sigma_y$ , выраженная в %. В первом приближении можно принять, что если  $\Delta > 10\%$ , то модель нестационарного среднего эффективнее, чем модель стационарного среднего. Оценить статистически значимое отличие модели нестационарного среднего от стационарной модели можно также на основе критерия Фишера при сравнении расчетного значения  $F = \sigma_y^2 / \sigma_\varepsilon^2$  с критическим  $F_{кр}$  при заданном уровне значимости  $\alpha$  и объеме выборки  $n$  [20]. В работе [21] приведена формула, связывающая  $\Delta$  и  $F_{кр}$  при  $\alpha = 5\%$ . Так, при  $n=120$   $F_{кр}=1,35$  и  $\Delta=13,8\%$ , а при  $n=60$   $F_{кр}=1,53$  и  $\Delta=19,4\%$ . При аппроксимации временного ряда моделью ступенчатого изменения среднего определяется также и год перехода от одних стационарных условий к другим итерациям при достижении минимума суммы квадратов отклонений от каждого среднего двух частей ряда —  $T_{ст}$ .

Для сухого сезона многолетние ряды осадков конкретного месяца содержат достаточно много лет с отсутствием осадков, и поэтому для оценки их изменений применялся другой подход, основанный на сравнении средних значений осадков для двух половин временного ряда. Разности средних осадков двух частей ряда рассчитывались как в мм ( $\Delta = \bar{X}_2 - \bar{X}_1$ ), так и в % по отношению к средним осадкам первой половины ряда:  $(\Delta / X_1) * 100\%$ . Однако оценить, являются ли эти разности значительными, можно только путем сравнения их с естественной изменчивостью осадков, которая количественно характеризуется их стандартным отклонением (СКО) для всего ряда. Если изменения среднего значения превышают стандартное отклонение, их можно считать существенными. В соответствии с правилом трех сигм для нормального распределения, двукратное превышение стандартного отклонения соответствует статистически значимому отличию средних с вероятностью 95 %.

## Результаты и их обсуждение

**Климатическая классификация внутригодовых распределений осадков.** Пространственные распределения осадков каждого месяца года на территории Центральной Африки показаны на рис. 2.

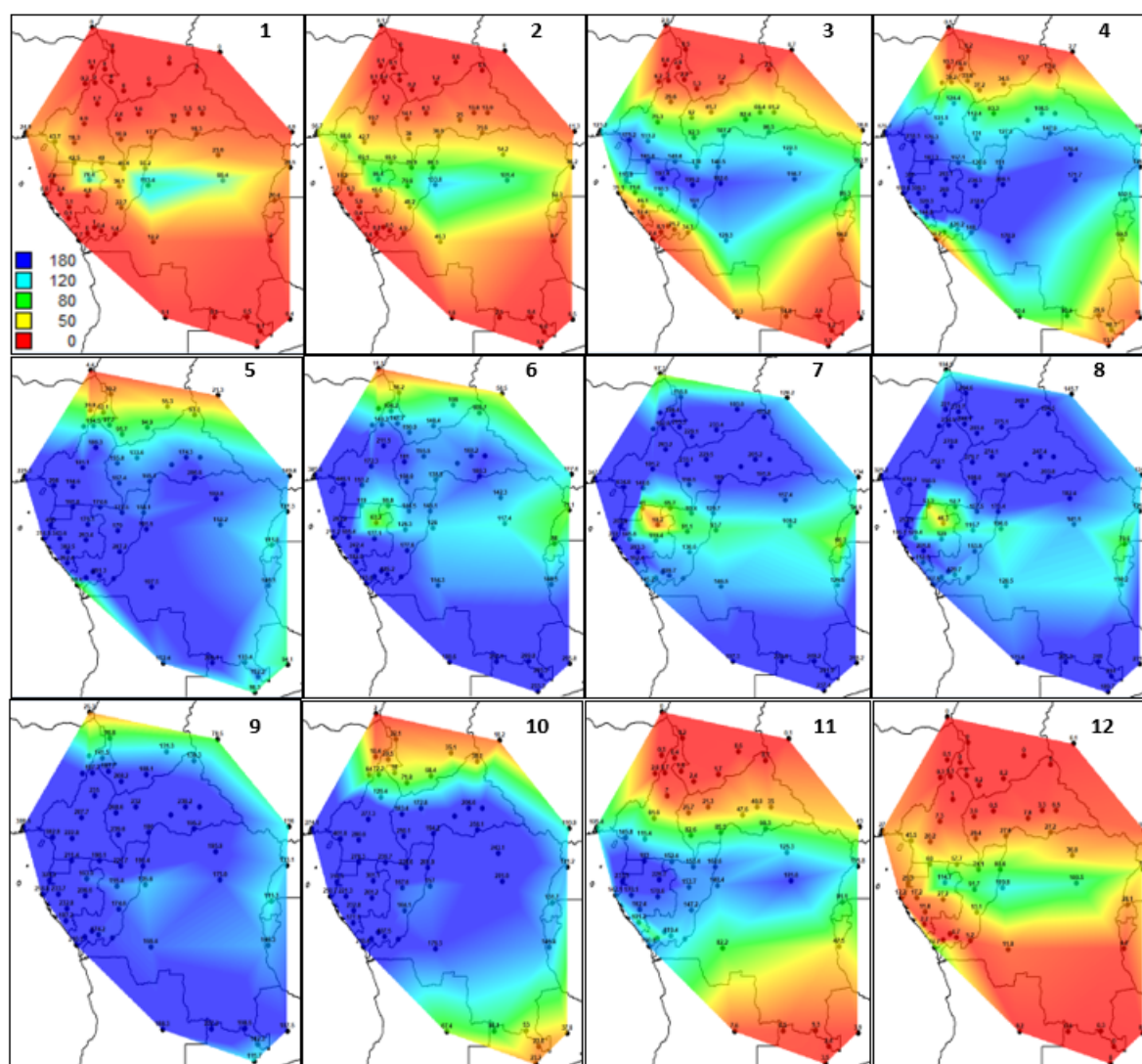


Рис. 2. Пространственные распределения средних многолетних значений осадков в центральной Африке с начала наблюдений до 2021 г.

Анализ пространственных распределений многолетних месячных средних значений осадков в течение года позволяет сделать следующие выводы. Наименьшее количество осадков, которое характеризует месяцы сухого сезона года и составляет менее 100 мм в месяц, наблюдается с ноября по март, и осадки в среднем по территории изменяются от 13,8 мм в январе до 79,2 мм в ноябре. Этот период года характеризуется африканским зимним муссоном, когда холодный, сухой воздух из Северной Африки движется на юг вслед за смещением внутритропической зоны конвергенции (ВЗК). За исключением экваториальной влажной области, где в этот период уменьшение осадков незначительно, на севере и юге рассматриваемой территории имеет место сухой сезон с существенным уменьшением осадков. Начиная с апреля и далее, в период африканского летнего муссона, наблюдается увеличение количества осадков, достигающее самых высоких средних территориальных значений в июле (178 мм), августе (192 мм) и в сентябре (196 мм). Это увеличение является результатом движения влажного воздуха из Атлантики в сторону более теплого и сухого континента вслед за перемещением ВЗК на север. Поэтому внутригодовые распределения осадков в разных частях Центральной Африки не одинаковы, и следует установить районы, однородные по типу этих распределений.

Результаты многих исследований позволяют сделать вывод о том, что не удастся выявить высокой согласованности внутригодовой изменчивости, общей для всего Центрально-африканского региона [37]. Кроме того, хотя эти исследования, основанные на анализе главных компонент, позволяют выявить основные области ковариации, они не дают возможности провести количественное срав-

нение пространственной согласованности осадков между различными регионами континента [38]. Поэтому в качестве альтернативы здесь рассматриваются корреляции между межгодовыми вариациями осадков на разных станциях. Как установлено в предыдущих исследованиях, из-за низкой парной корреляции многолетних рядов осадков, можно рассматривать только связанность их средних многолетних внутригодовых распределений [33].

В результате средние многолетние внутригодовые распределения осадков в соответствии с началом и окончанием влажного и сухого периодов были объединены в 4 однородные района, как показано на рис. 3. Из рис. 3 следует, что для первого района влажный период включает месяцы с мая по октябрь со средними значениями от 117,8 мм в мае до 121,6 мм в октябре, достигая максимума 252,7 мм в августе. Для второго однородного района влажный период длится с апреля (175,5 мм) по ноябрь (124,3 мм) с двумя максимумами (229,5 мм в мае и 208,1 мм в октябре). В третьем экваториальном районе наблюдаются два влажных периода: с марта (175,4 мм) по июнь (109 мм) с максимумом (193,3 мм) в апреле и с сентября (173,4 мм) по ноябрь (174,3 мм) с максимумом 223,8 мм в октябре. В четвертом южном районе влажный период длится с мая (131,3 мм) по сентябрь (176,3 мм) с максимумами в июне и июле (227,8 мм и 220,5 мм) соответственно.

Оценка эффективности выполненного районирования осуществлена на основе расчета коэффициентов парной корреляции между средним внутригодовым распределением осадков в каждом районе и внутригодовыми распределениями осадков на станциях. Если районирование выполнено эффективно, то следует ожидать, что коэффициенты корреляции между средним внутригодовым распределением осадков будут высокими со станциями внутри района и низкими со станциями за его пределами. На рис. 4 показан пример коэффициентов корреляции между средним внутригодовым распределением осадков в районе 1 на севере территории и внутригодовыми климатическими распределениями осадков на каждой из 57 метеостанций рассматриваемой территории.

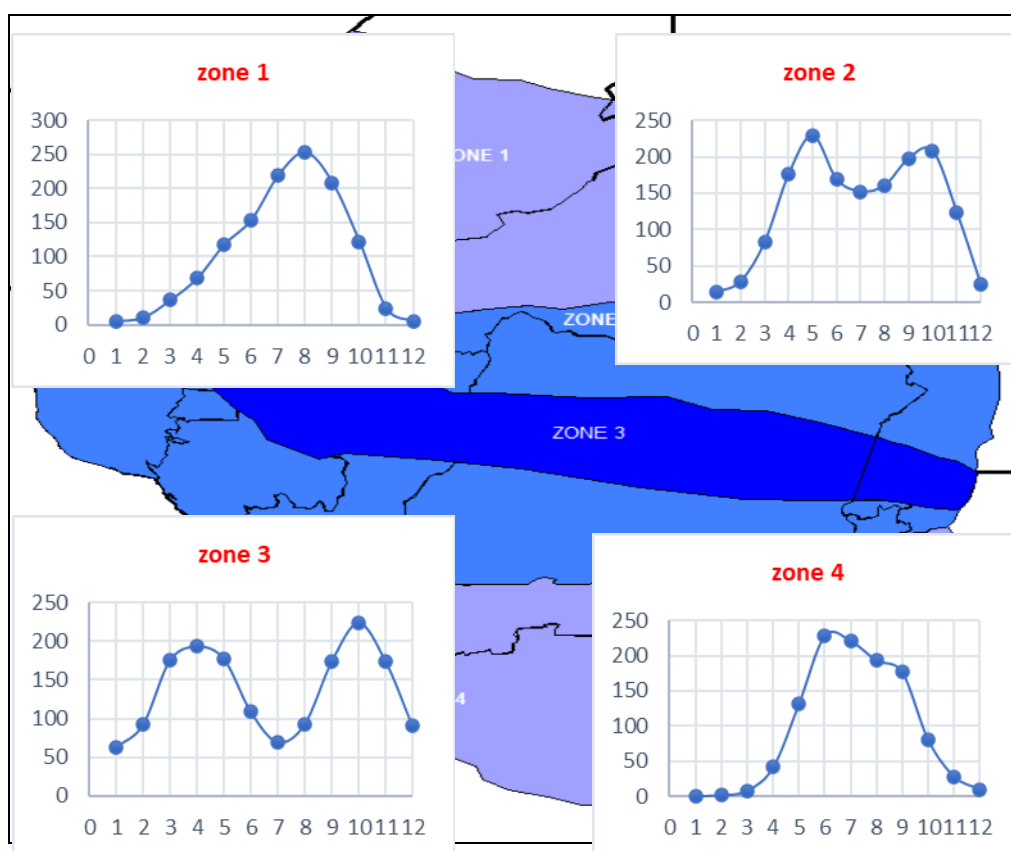


Рис. 3. Внутригодовые климатические распределения осадков в выделенных однородных районах на территории Центральной Африки

Как видно из рис. 4, для первых по порядку 20 метеостанций, находящихся внутри района 1, имеют место высокие коэффициенты парной корреляции ( $R = 0,9-1,0$ ), а для остальных станций они существенно ниже.

Левая вертикальная линия на рис. 4 разделяет метеостанции, находящиеся в первом северном районе и в остальных, вторая вертикальная линия выделяет справа метеостанции, находящиеся в четвертом южном районе, в котором внутригодовое распределение похоже на распределение в районе 1 (рис. 3), что приводит к росту коэффициентов парной корреляции ( $R=0,8 - 0,9$ ) со станциями в южном районе. Однако, хотя эти внутригодовые распределения в двух районах и одновершинные (рис. 3), но максимум осадков в них приходится на разные месяцы.

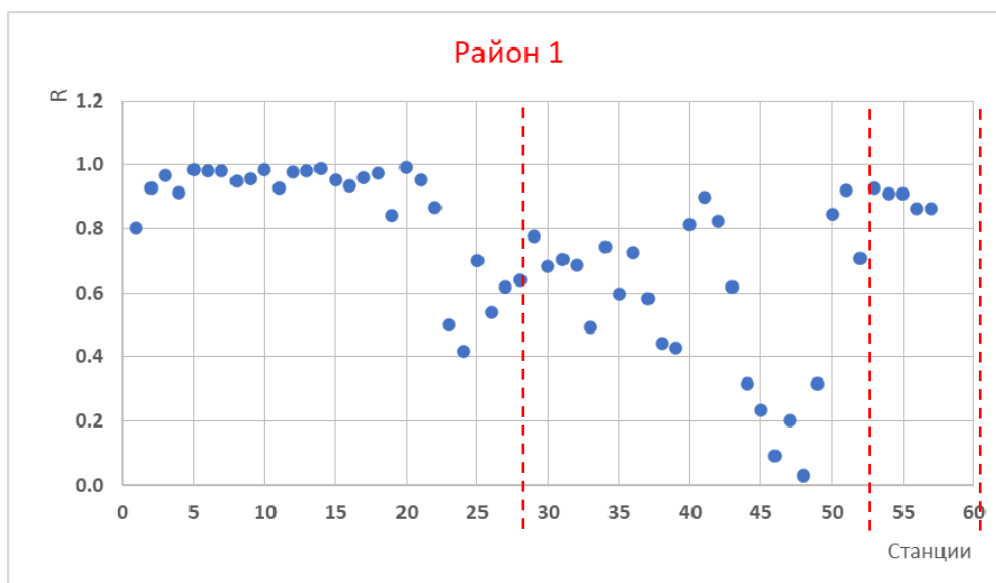


Рис. 4. Коэффициенты корреляции между территориальным средним внутригодовым распределением в районе 1 и внутригодовыми распределениями на всех остальных метеостанциях

**Оценка климатических изменений в рядах осадков влажного периода.** Для оценки типа изменения в многолетних рядах осадков влажного периода года, вызванного современным изменением климата, рассматривались две модели нестационарного среднего: линейного тренда и ступенчатых изменений. Этими моделями была осуществлена аппроксимация временных рядов осадков каждого месяца в каждом из четырех выделенных однородных районов, и средние показатели эффективности нестационарных моделей приведены в табл. 3, где  $\Delta_{Тр}$  и  $\Delta_{Ст}$  – относительные разности (в %) стандартов остатков стационарной и соответствующей модели нестационарного среднего (тренда и ступенчатых изменений),  $R$  – коэффициент корреляции осадков со временем.

Таблица 3

**Средние показатели эффективности моделей нестационарного среднего для однородных районов осадков влажного периода**

№ месяца	$\Delta_{Тр}$	$\Delta_{Ст}$	$R$	$\Delta_{Тр}$	$\Delta_{Ст}$	$R$	$\Delta_{Тр}$	$\Delta_{Ст}$	$R$	$\Delta_{Тр}$	$\Delta_{Ст}$	$R$
	район 1			район 2			район 3			район 4		
4				1,9	3,9	-0,11	3,0	5,4	-0,21			
5	1,8	3,9	-0,08	1,9	4,3	-0,11	4,4	6,8	-0,25	3,3	4,8	-0,08
6	3,1	6,7	-0,07	1,5	3,6	-0,03	2,1	5,5	-0,10	1,6	3,1	-0,07
7	1,9	4,5	-0,05	1,7	4,5	-0,06				1,1	3,5	-0,03
8	1,9	5,4	-0,11	2,4	4,7	-0,07				1,0	2,9	-0,07
9	3,3	7,2	-0,12	2,2	4,5	-0,12	5,2	7,5	-0,19	2,0	4,1	-0,02
10	1,5	4,0	0,00	2,5	4,4	-0,15	3,9	6,1	-0,25			
11				1,6	3,6	-0,11	1,9	5,0	-0,12			

Анализ табл. 3 показывает, что во всех районах показатели нестационарности в среднем изменяются от  $\Delta_{Tr} = 1,0\%$  в октябре до  $\Delta_{Tr} = 4,4\%$  в сентябре для модели линейного тренда и от  $\Delta_{Ст} = 2,9\%$  в мае до  $\Delta_{Ст} = 6,8\%$  в сентябре для модели ступенчатого изменения. Поэтому модели нестационарного среднего и не эффективны ( $\Delta_{Tr}$  и  $\Delta_{Ст} < 10\%$ ), и статистически не отличаются от модели стационарного среднего. Коэффициенты корреляции со временем  $R$  также статистически незначимы при продолжительности ряда 72 года (1950–2021 гг.) и при уровне значимости  $\alpha=5\%$ . Вместе с тем коэффициенты корреляции со временем являются отрицательными и отражают общую тенденцию уменьшения осадков, хотя это уменьшение и не является статистически значимым.

На рис. 5 представлены пространственные распределения коэффициентов корреляции  $R$  среднемесячных осадков со временем, полученные для каждой метеостанции и для месяцев влажного сезона, общих для всех четырех однородных климатических районов. Статистически значимыми при  $\alpha=5\%$  являются коэффициенты корреляции при  $R > |0,23|$ .

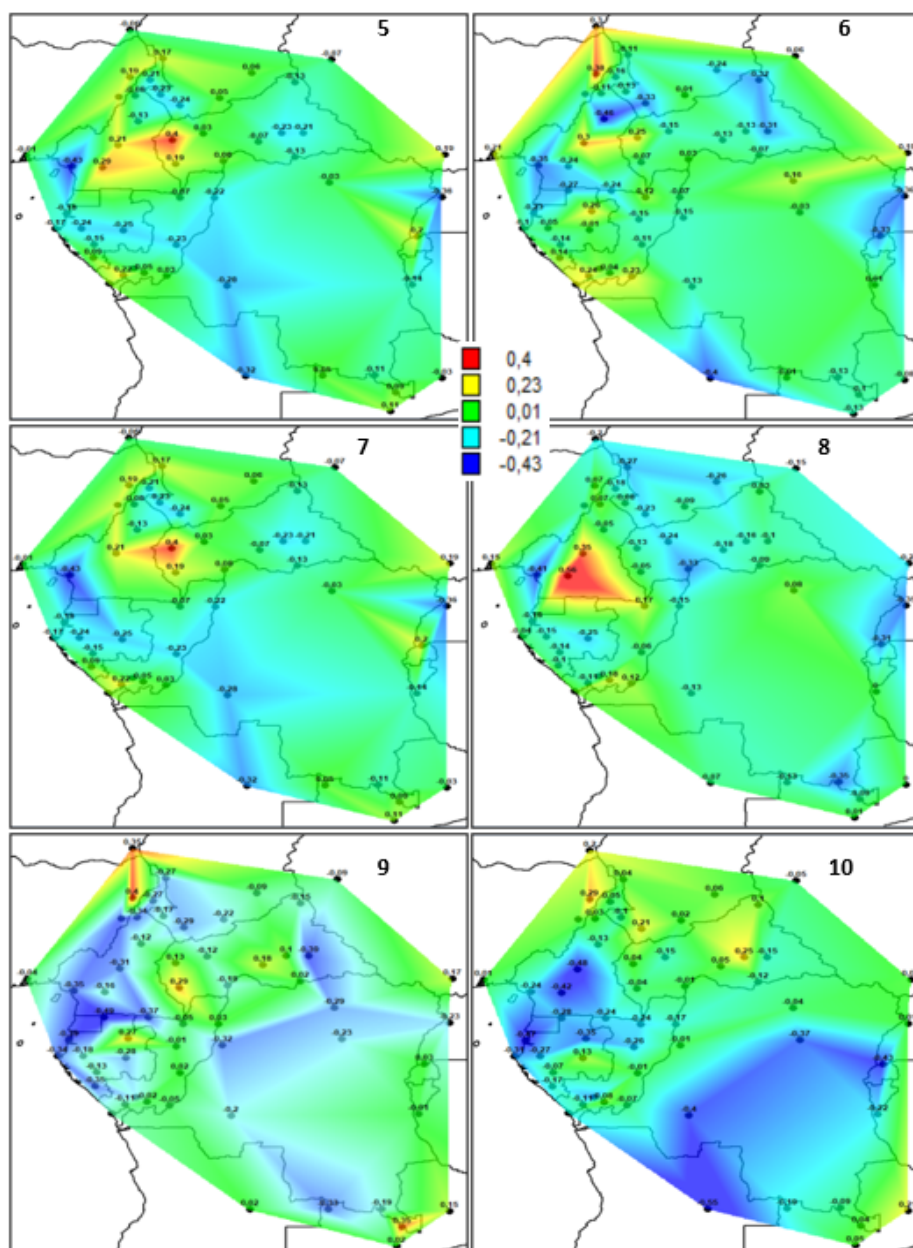


Рис. 5. Пространственные распределения коэффициентов корреляции осадков со временем для месяцев влажного сезона года на территории Центральной Африки



Общие закономерности из анализа пространственных распределений  $R$  на рис. 5 за разные месяцы состоят в том, что помимо больших территорий статистически незначимых  $R$  имеют место области статистически значимых отрицательных  $R$  и даже отдельные локальные образования статистически значимых положительных  $R$ . Так, области со статистически значимыми отрицательными  $R$  в период с мая по август наблюдаются на западе около Гвинейского залива и на юге, где  $R$  достигает  $-0,46$  в июне. В отдельных, как правило, горных, локальных образованиях на востоке в рифтовой зоне и на северо-западе в центральной части Камеруна  $R$  принимает положительные значения:  $R=0,56$  (август, Центральноафриканская Республика) и  $R=0,38$  (июнь, север Камеруна). В сентябре и октябре, когда летняя фаза муссона заканчивается, области статистически значимых отрицательных  $R$  расширяются на западе и юге территории, а сами значения достигают  $R = -0,49$  в сентябре и  $R = -0,56$  в октябре.

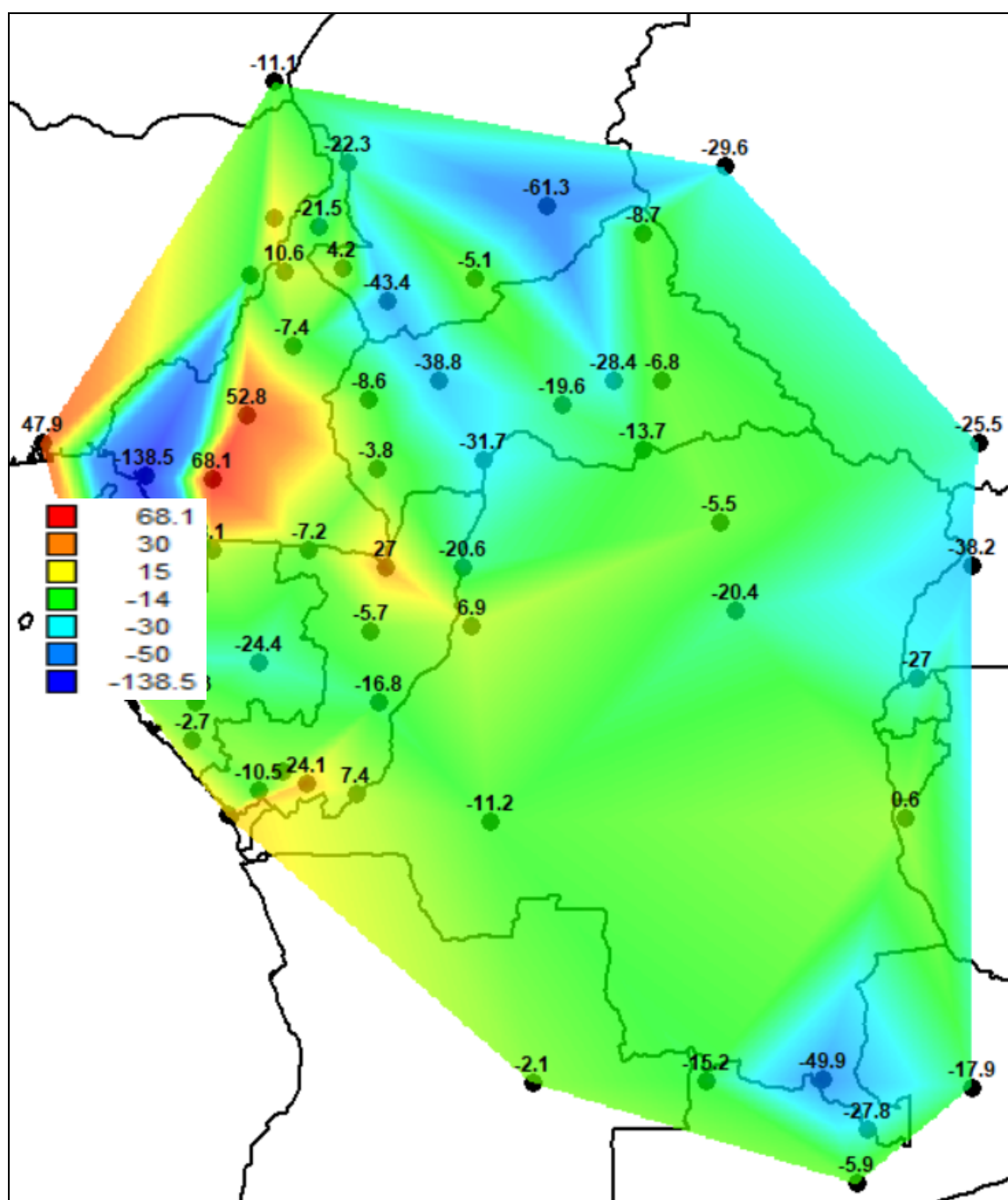


Рис. 6. Пространственное распределение  $\Delta$  в мм для осадков августа

Физическая интерпретация полученных результатов об уменьшении и увеличении осадков может быть следующая. Потепление климата и повышение температуры поверхности центральной части Атлантики и Гвинейского залива приводит к росту испарения и увеличению потока влаги, что должно привести и к росту осадков. Однако, в соответствии с законом Клапейрона – Клаузиуса, более теплый воздух может содержать большее количество водяного пара, и поэтому находящаяся в атмосфере влага не выпадает в виде осадков. Вместе с тем в горных районах, начиная с определенной высоты местности, эта влага может конденсироваться, что и вызывает увеличение осадков. Поэтому во влажный сезон и наблюдается некоторое уменьшение осадков на равнинной территории и их увеличение на отдельных метеостанциях в горах.

Для количественной оценки величины изменения осадков ряды были разделены пополам и вычислены разности (в мм и в % по отношению к среднему первой половины ряда) между средними значениями осадков второй и первой частей временного ряда:  $\Delta = \bar{X}_2 - \bar{X}_1$ , где  $\bar{X}_1$  и  $\bar{X}_2$  — средние первой и второй частей ряда. Также были рассчитаны отношения  $\Delta$  к естественной изменчивости (СКО). Стационарность средних значений была оценена по критерию Стьюдента и получено, что при  $\alpha=5\%$  гипотеза о стационарности не отклоняется для 87,8 % случаев из всех рядов наблюдений. В качестве примера на рис. 6 приведено пространственное распределение  $\Delta$  в мм для осадков августа.

Из пространственного распределения  $\Delta$  следует, что области, характеризующиеся уменьшением осадков ( $|\Delta| > 15$  мм), расположены на западе, севере и востоке территории, где  $\Delta$  изменяется от  $-25,5$  мм на востоке до  $-138,5$  мм на западе у Гвинейского залива. Кроме того, локальные области увеличения также расположены на западе, достигая 68 мм в южном Камеруне.

На рис. 7 представлено пространственное распределение  $\Delta$  по отношению к СКО также для осадков августа.

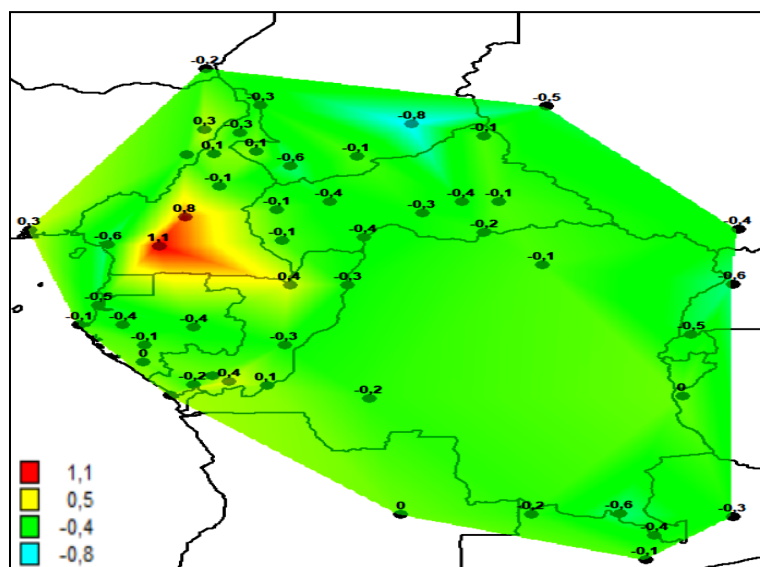


Рис. 7. Пространственное распределение  $\Delta$  в долях СКО для осадков августа

Из рассмотрения рис. 7 следует, что наибольшие значения  $\Delta/\text{СКО}$  в случае уменьшения осадков имеют место на западе, севере и востоке (до 0,8 СКО), а в случае увеличения осадков в горах достигают 0,8–1,1 СКО (юг Камеруна). В общем же, как и следует из оценки по статистическим критериям, изменение осадков пока не является статистически значимым и практически во всех случаях не превышает естественной климатической изменчивости.

**Оценка климатических изменений в рядах осадков сухого периода.** Месяцами сухого периода года, характерными практически для всех однородных климатических районов, являются декабрь, январь и февраль. В эти месяцы среднемесячное количество осадков не достигает 30 мм. Из-за особенностей многолетних временных рядов, связанных с большим числом нулевых значений осадков, аппроксимация моделями нестационарного среднего невозможна. Поэтому для таких временных рядов рассчитывались только  $\Delta$  в мм и в %, полученные по разности средних значений двух половин

ряда. Пространственные распределения  $\Delta$  и отношений  $\Delta$ /СКО для всех трех зимних месяцев сухого сезона приведены на рис. 8.

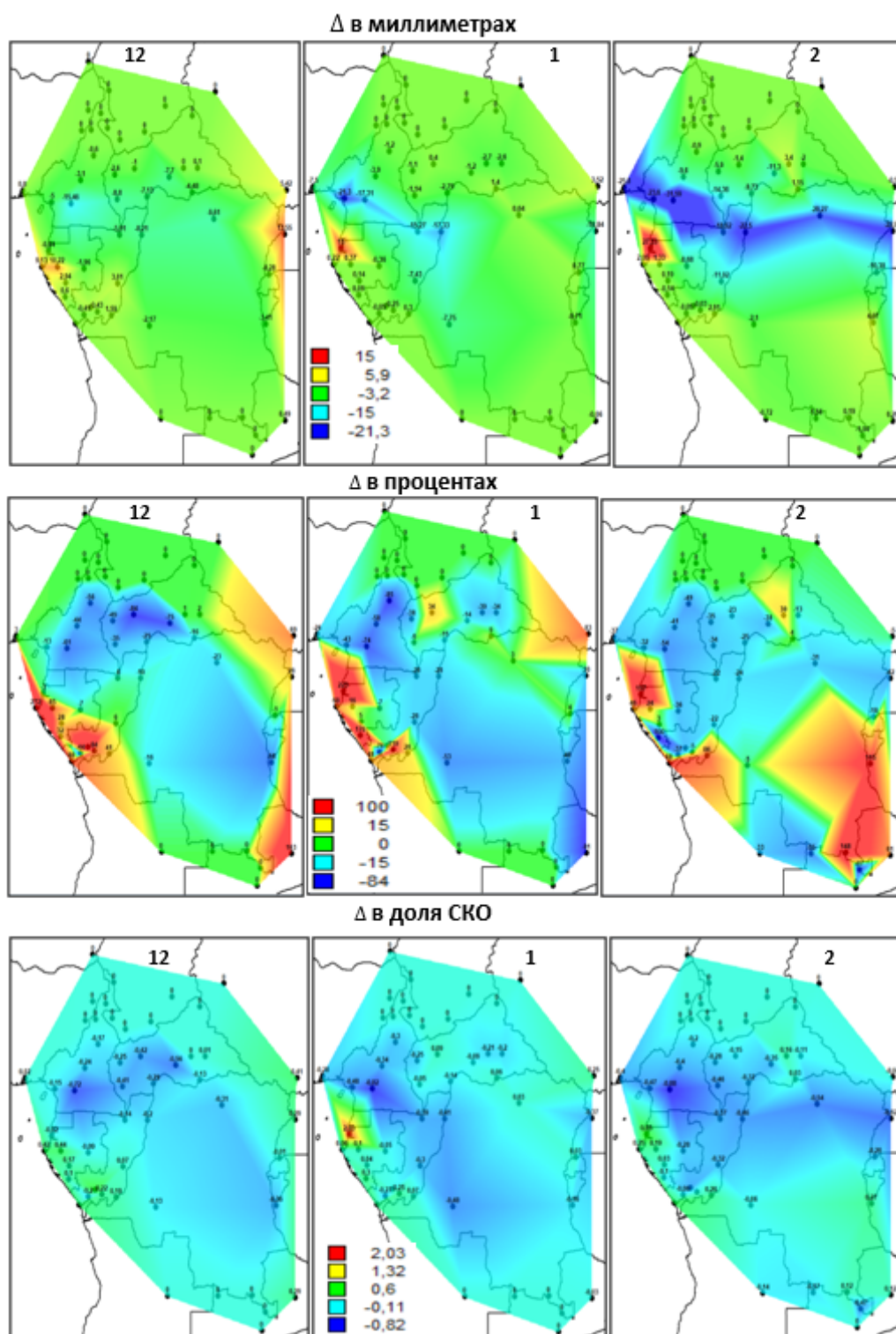


Рис. 8. Пространственные распределения  $\Delta$  (в мм, % и в долях СКО) для осадков декабря, января и февраля (на рис. указаны номера месяцев 12, 1, 2)

Анализ пространственных распределений на рис. 8 показывает, что в сухой сезон также имеет место уменьшение осадков, но оно не превышает СКО. Наибольшие значения  $\Delta$ , достигающие  $-31,6$

мм, представлены полосой вдоль экватора, которая относится к однородному району 3 с большим количеством осадков практически в течение всего года и с двумя внутригодовыми максимумами осадков. Вместе с тем имеет место и увеличение осадков вблизи Гвинейского залива, достигающее 15 мм, а также на востоке территории. Относительные  $\Delta$  в % могут достигать 80–100 % из-за большой естественной изменчивости осадков в месяцы сухого сезона. В долях СКО эти изменения в основном меньше 1, и только на западе вблизи Гвинейского залива  $\Delta/\text{СКО} > 1$  и даже 2х в январе.

## Выводы

В результате выполненного исследования по оценке проявления влияния современного изменения климата на осадки Центральной Африки получены следующие основные выводы:

1. Внутригодовые распределения осадков по территории не одинаковые, в них выделяются влажные и сухие периоды, и по типу внутригодовых распределений было выделено 4 однородных района:

- северный с одномодальным распределением и максимумом осадков в августе;
- центральный с двумя максимумами осадков и слабо выраженным сухим периодом между ними;
- экваториальный с двумя максимумами осадков и хорошо выраженным сухим периодом между ними в июле;
- южный с одномодальным распределением и максимумом осадков в июне.

2. Проведена оценка эффективности районирования и получено, что связанность средних районных внутригодовых распределений с внутригодовыми распределениями осадков отдельных метеостанций высокая с коэффициентами корреляции 0,9–1,0 внутри района и существенно уменьшается со станциями за его пределами.

3. Для осадков влажного и сухого сезонов применена разная методика оценки изменений средних значений многолетних рядов: аппроксимация моделями нестационарного среднего (линейный тренд и ступенчатые изменения среднего) для осадков в месяцы влажного периода года и сравнение средних значений за две половины ряда для осадков в месяцы сухого периода года в связи с большим числом случаев отсутствия осадков во временных рядах.

4. Для месяцев влажного периода года получена общая тенденция уменьшения осадков по территории с наибольшим снижением до 60–130 мм в августе на западе территории, хотя имели место отдельные области роста осадков до 50–68 мм в основном в горных районах. Вместе с тем эти изменения осадков практически всегда не являются статистически значимыми, что установлено и по статистическому критерию Стьюдента, и по оценке статистической значимости коэффициента корреляции осадков со временем, и по отношению к естественной изменчивости, которое не превышало 1,0. Хотя в связи с современным потеплением климата и ростом испаряемости с океана такой вывод кажется несколько непонятным, но может быть объяснен проявлением закона Клапейрона – Клаузиуса, когда при повышении температуры возрастает и возможность большего содержания водяного пара в атмосфере.

5. Для месяцев сухого сезона года (декабрь – февраль) также имеет место общая статистически незначимая тенденция уменьшения осадков на большей части территории Центральной Африки, но вблизи Гвинейского залива наблюдается повышение осадков, которое превышает 1,0 и даже 2,0 СКО в январе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPCC. AR5. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (дата обращения: 23.04.2023).
2. Santer B.D., Taylor K.E., Wigley T.M., Johns, T.C., Jones P.D., Karoly D.J., ... & Tett S.A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere // *Nature*. 1996. 382(6586). P. 39–46.
3. Mitchell T.D., Hulme M. Predicting regional climate change: living with uncertainty // *Progress in Physical Geography*. 1999. 23(1). P. 57–78.
4. Giorgi F., Francisco R. Evaluating uncertainties in the prediction of regional climate change // *Geophysical Research Letters*. 2000. 27(9). P. 1295–1298.
5. IPCC 2007. URL: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4\\_wg2\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf). (дата обращения: 23.04.2023).
6. Kamga F.M. Validation of general circulation climate models and projections of temperature and rainfall changes in Cameroon and some of its neighbouring areas // *Theoretical and applied climatology*. 2000. 67(1). P. 97–107.

7. Hulme Mike, Doherty Ruth, Ngara Todd et al. African climate change: 1900-2100 // *Climate research*. 2001. Vol. 17, № 2. P. 145–168.
8. New Mark, Todd Martin, Hulme Mike et al. Precipitation measurements and trends in the twentieth century // *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. 2001. Vol. 21, № 15. P. 1889–1922.
9. Tsalefac M., Hiol Hiol F., Mahé G., Laraque A., Sonwa D.J., Scholte P., ... & Doumenge C. (2015). Climat de l'Afrique centrale : passé, présent et futur // In: De Wasseige Carlos, Tadoum Martin, Eba'a Atyi Richard, Doumenge Charles (eds.) *Les forêts du Bassin du Congo – Forêts et changements climatiques*. 2015. P. 37–52.
10. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FinalDraft\\_Chapter09.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_Chapter09.pdf).
11. Creese A., Washington R. A process-based assessment of CMIP5 rainfall in the Congo Basin: the September–November rainy season // *Journal of Climate*. 2018. Vol. 31, № 18. P. 7417–7439.
12. Gutiérrez et al., 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis / Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, 2021. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Atlas.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Atlas.pdf).
13. Ranasinghe et al. *Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment*. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter12.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter12.pdf) (дата обращения: 23.04.2023).
14. Seneviratne, S. I. et al. *Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate*. URL: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter\\_11.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_11.pdf) (дата обращения: 23.04.2023).
15. Maidment Ross I., Allan Richard P. et Black Emily. Recent observed and simulated changes in precipitation over Africa // *Geophysical Research Letters*. 2015. Vol. 42, № 19. P. 8155–8164.
16. Zhou Liming, Tian Yuhong, Myneni Ranga B. et al. Widespread decline of Congo rainforest greenness in the past decade // *Nature*. 2014. Vol. 509, № 7498. P. 86–90.
17. Hua Wenjian, Zhou Liming, Chen Haishan, et al. Possible causes of the Central Equatorial African long-term drought // *Environmental Research Letters*. 2016. Vol. 11, № 12. P. 124002.
18. Nicholson S.E., Klotter D., Dezfuli A.K., et al. New rainfall datasets for the Congo Basin and surrounding regions // *Journal of Hydrometeorology*. 2018. Vol. 19, № 8. P. 1379–1396.
19. Hu Lisuo, Luo Jing-Jia, Huang Gang, et al. Synoptic features responsible for heat waves in Central Africa, a region with strong multidecadal trends // *Journal of Climate*. 2019. Vol. 32, № 22. P. 7951–7970.
20. Spinoni Jonathan, Naumann Gustavo, Carrao Hugo, et al. World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010 // *International Journal of Climatology*. 2014. Vol. 34, № 8. P. 2792–2804.
21. Climate Explorer. URL: <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> (дата обращения: 23.04.2023).
22. Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru>.
23. Coulibaly Jeanne Y., Chiputwa Brian, Nakelse Tebila et al. Adoption of agroforestry and the impact on household food security among farmers in Malawi // *Agricultural systems*. 2017. Vol. 155. P. 52–69.
24. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.
25. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 78 с.
26. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2008. 408 с.
27. Лобанов В.А., Лемешко Н.А., Жильцова Е.Л., Горлова С.А., Ренева С.А. Методы восстановления многолетних рядов температуры воздуха // *Сборник работ по гидрологии*. СПб.: Гидрометеиздат. 2004. № 27. С. 54–68.
28. Лобанов В.А., Лемешко Н.А., Жильцова Е.Л., Горлова С.А., Ренева С.А. Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на Европейской территории России // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 2. С. 5–14.
29. Лобанов В.А., Смирнов И.А., Шадурский А.Е. Практикум по климатологии. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2011. Ч.1. 144 с.
30. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.
31. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Выделение зон климатического риска на территории России при современном изменении климата. СПб.: изд. РГГМУ, 2013. 123 с.
32. Лобанов В.А., Тошачова Г.Г. Особенности и причины современных климатических изменений в России // *Географический вестник*. 2016. № 3(38). С. 79–89.
33. Лобанов В.А., Кириллина К.С. Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). СПб.: Изд-во РГГМУ, 2019. 157 с.
34. Шукри О.А.А., Лобанов В.А., Хамид М.С. Современный и будущий климат Аравийского полуострова. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2018. 190 с.

35. Лобанов В.А., Наурозбаева Ж.К. Влияние изменения климата на ледовый режим Северного Каспия. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2021. 140 с.
36. Лобанов В.А. Лекции по климатологии. Часть 2. Динамика климата. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2018. 377 с.
37. Makanga Jean Damien Maloba, Samba Gaston. Organisation pluviométrique de l'espace Congo-Gabon (1951–1990). Science et changements planétaires // Sécheresse. 1997. Vol. 8, № 1. P. 39–45.
38. Camberlin Pierre. L'Afrique Centrale dans le contexte de la variabilité climatique tropicale interannuelle et intrasaisonnière // L'Afrique Centrale, le Cameroun et les changements globaux. 2007. P. 25–39.

Поступила в редакцию 23.05.2023

Мама Магбини Токпа, аспирант

E-mail: mtmamya2013@gmail.com

Лобанов Владимир Алексеевич, доктор технических наук,  
профессор кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

E-mail: va\_lobanov56@mail.ru

Мханна Ааед Исмаил Назир, кандидат физико-математических наук

доцент кафедры метеорологии, климатологии и охраны атмосферы

E-mail: aaedmohanna2001@mail.ru

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»

192007, Россия, г. Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79

Морозова Светлана Владимировна, кандидат географических наук,

доцент кафедры метеорологии и климатологии

E-mail: swetwl@yandex.ru

Алимпиева Мария Александровна, ассистент кафедры метеорологии и климатологии

E-mail: alimpiewa@rambler.ru

ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
имени Н.Г. Чернышевского»

410012, Россия, г. Саратов, ул. Астраханская, 83

***Mami Magbini Tokpa, V.A. Lobanov, A.I.N. Mhanna, S.V. Morozova, M.A. Alimpieva***

**ESTIMATION OF MODERN CHANGES IN ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN CENTRAL AFRICA**

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-2-217-232

Long-term time series of monthly precipitation from the beginning of observations to 2022 at 57 meteorological stations in central Africa were studied to assess the impact of climate change on precipitation dynamics in this part of the African continent. The spatio-temporal distributions of precipitation for the dry and wet seasons have been obtained and it has been established that the least amount of precipitation is observed from November to March, and the biggest - from April to October. According to the type of intra-annual changes in precipitation, four homogeneous climatic regions were identified, and in each of them an assessment of the changes that occurred was given. Various methodological approaches have been applied to assess changes in precipitation in the months of the wet and dry seasons of the year. In general, no significant changes in the dynamics were found, however, a general trend was established for a decrease in precipitation during the months of the wet season and their increase in certain parts of the territory during the months of the dry season of the year. The decrease in wet season months ranged from -25.5 mm to -138.5 mm or 0.8 to 1.2 RMSD and a separate increase of 52.8 mm and 68.1 mm or 0.8 to 1.1 RMSD. During the dry season, the largest decrease was in the north and central regions, reaching -31.6mm (0.88 RMSD) in February, while a significant increase occurred in the coastal areas of the Gulf of Guinea, reaching 15mm (2 RMSD) in January.

**Keywords:** sum of monthly precipitation, climate change, modeling of long-term time series, intra-annual distribution, regionalization, dynamics of precipitation norms, Central Africa.

#### REFERENCES

1. IPCC. AR5. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (accessed: 23.04.2023).
2. Santer B.D., Taylor K.E., Wigley T.M., Johns, T.C., Jones P.D., Karoly D.J., ... & Tett S.A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere, in *Nature*, 1996, 382(6586), pp. 39-46.

3. Mitchell T.D., Hulme M. Predicting regional climate change: living with uncertainty, in *Progress in Physical Geography*, 1999, 23(1), pp. 57-78.
4. Giorgi F., Francisco R. Evaluating uncertainties in the prediction of regional climate change, in *Geophysical Research Letters*, 2000, 27(9), pp. 1295-1298.
5. IPCC 2007. Available at: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4\\_wg2\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf) (accessed: 23.04.2023).
6. Kamba F. M. Validation of general circulation climate models and projections of temperature and rainfall changes in Cameroon and some of its neighbouring areas, in *Theoretical and applied climatology*, 2000, 67(1), pp. 97-107.
7. Hulme Mike, Doherty Ruth, Ngara Todd et al. African climate change: 1900-2100, in *Climate research*, 2001, vol. 17, no. 2, pp. 145-168.
8. New Mark, Todd Martin, Hulme Mike et al. Precipitation measurements and trends in the twentieth century, in *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 2001, vol. 21, no. 15, pp. 1889-1922.
9. Tsalefac M., Hiol Hiol F., Mahé G., Laraque A., Sonwa D.J., Scholte P., ... & Doumenge C. Climat de l'Afrique centrale : passé, présent et futur, In: De Wasseige Carlos, Tadoum Martin, Eba'a Atyi Richard, Doumenge Charles (eds.) Les forêts du Bassin du Congo – Forêts et changements climatiques, 2015, pp. 37-52.
10. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Available at: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGII\\_FinalDraft\\_Chapter09.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_Chapter09.pdf) (accessed: 23.04.2023).
11. Creese A. et Washington R. A process-based assessment of CMIP5 rainfall in the Congo Basin: the September–November rainy season, in *Journal of Climate*, 2018, vol. 31, no. 18, pp. 7417-7439.
12. 12. Gutiérrez et al., 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis / Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2021. Available at: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Atlas.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Atlas.pdf)
13. Ranasinghe et al. Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. Available at: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter12.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter12.pdf) (accessed: 23.04.2023).
14. Seneviratne S.I. et al. Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. Available at: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Chapter\\_11.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_11.pdf) (accessed: 23.04.2023).
15. Maidment Ross I., Allan Richard P. et Black Emily. Recent observed and simulated changes in precipitation over Africa, in *Geophysical Research Letters*, 2015, vol. 42, no. 19, pp. 8155-8164.
16. Zhou Liming, Tian Yuhong, Myneni Ranga B. et al. Widespread decline of Congo rainforest greenness in the past decade, in *Nature*, 2014, vol. 509, no. 7498, pp. 86-90.
17. Hua Wenjian, Zhou Liming, Chen Haishan, et al. Possible causes of the Central Equatorial African long-term drought, in *Environmental Research Letters*, 2016, vol. 11, no. 12, p. 124002.
18. Nicholson S.E., Klotter D., Dezfuli A.K., et al. New rainfall datasets for the Congo Basin and surrounding regions, in *Journal of Hydrometeorology*, 2018, vol. 19, no. 8, pp. 1379-1396.
19. Hu Lisuo, Luo Jing-Jia, Huang Gang, et al. Synoptic features responsible for heat waves in Central Africa, a region with strong multidecadal trends, in *Journal of Climate*, 2019, vol. 32, no. 22, pp. 7951-7970.
20. Spinoni Jonathan, Naumann Gustavo, Carrao Hugo, et al. World drought frequency, duration, and severity for 1951–2010, in *International Journal of Climatology*, 2014, vol. 34, no. 8, pp. 2792-2804.
21. Climate Explorer. Available at: <http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi?someone> (accessed: 23.04.2023).
22. *Pogoda i klimat* [Weather and climate], Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru> (accessed: 11.01.2023) (in Russ.).
23. Coulibaly Jeanne Y., Chiputwa Brian, Nakelse Tebila et al. Adoption of agroforestry and the impact on household food security among farmers in Malawi, in *Agricultural systems*, 2017, vol. 155, pp. 52-69.
24. Zaks L. *Statisticheskoe otsenivanie* [Statistical estimation], Moscow: Statistika Publ., 1976, 598 p. (in Russ.).
25. *Rekomendatsii po statisticheskim metodam analiza odnorodnosti prostranstvenno-vremennykh kolebaniy rechnogo stoka* [Recommendations on Statistical Methods for Analyzing the Homogeneity of Spatio-Temporal Fluctuations in River Flow], St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 1984, 78 p. (in Russ.).
26. Malinin V.N. *Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoy informatsii* [Statistical Methods for Analyzing Hydrometeorological Information], St. Petersburg: RGGMU Publ., 2008, 408 p. (in Russ.).
27. Lobanov V.A., Lemeshko N.A., Zhiltsova E.L., Gorlova S.A., Reneva S.A. [Methods for restoring long-term series of air temperature], in *Sbornik rabot po gidrologii*, St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2004, no. 27, pp. 54-68 (in Russ.).
28. Lobanov V.A., Lemeshko N.A., Zhiltsova E.L., Gorlova S.A., Reneva S.A. [Restoration of long-term air temperature series in the European territory of Russia], in *Meteorologiya i gidrologiya*, 2005, no. 2, pp. 5-14 (in Russ.).
29. Lobanov V.A., Smirnov I.A., Shadursky A.E. *Praktikum po klimatologii* [Workshop on climatology], St. Petersburg: RGGMU Publ., 2011, Part 1, 144 p. (in Russ.).
30. *Opreделение osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Determination of the main calculated hydrological characteristics], Moscow: Gosstroy Rossii, 2004, 73 p. (in Russ.).

31. Lobanov V.A., Shadursky A.E. *Vydelenie zon klimaticheskogo riska na territorii Rossii pri sovremennom izmenenii klimata* [Identification of climatic risk zones on the territory of Russia under current climate change], St. Petersburg: RGGMU Publ., 2013, 123 p. (in Russ.).
32. Lobanov V.A., Toshhakova G.G. [Features and causes of modern climate change in Russia], in *Geographical bulletin*, 2016, no. 3(38), pp. 79-89 (in Russ.).
33. Lobanov V.A., Kirillina K.S. *Sovremennye i budushchie izmeneniya klimata Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Current and future climate change in the Republic of Sakha (Yakutia)], St. Petersburg: RGGMU Publ., 2019, 157 p. (in Russ.).
34. Shukri O.A.A., Lobanov V.A., Hamid M.S. *Sovremennyy i budushchiy klimat Araviyskogo poluostrova* [Current and Future Climate of the Arabian Peninsula], St. Petersburg: RGGMU Publ., 2018, 190 p. (in Russ.).
35. Lobanov V.A., Naurozbayeva Zh.K. *Vliyanie izmeneniya klimata na ledovyy rezhim Severnogo Kaspiya* [Climate change on the ice regime of the Northern Caspian], St. Petersburg: RGGMU Publ., 2021, 140 p. (in Russ.).
36. Lobanov V.A. *Lektsii po klimatologii. Chast' 2: Dinamika klimata* [Lectures on climatology. Part 2: Climate dynamics], St. Petersburg: RGGMU Publ., 2018, 377 p. (in Russ.).
37. Makanga Jean Damien Maloba, Samba Gaston. Organisation pluviométrique de l'espace Congo-Gabon (1951-1990). Science et changements planétaires, in *Sécheresse*, 1997, vol. 8, no. 1, pp. 39-45.
38. Camberlin Pierre. L'Afrique Centrale dans le contexte de la variabilité climatique tropicale interannuelle et intrasaisonnière, in *L'Afrique Centrale, le Cameroun et les changements globaux*, 2007, pp. 25-39.

Received 23.05.2023

Mami Magbini Tokpa, post-graduate student

E-mail: mtmamy2013@gmail.com

Lobanov V.A., Doctor of Technical Sciences,

Professor of the Department of Meteorology, Climatology and Air Protection

E-mail: va\_lobanov56@mail.ru

Mhanna Aaed Ismail Nazir, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Meteorology, Climatology and Air Protection

E-mail: aaedmohanna2001@mail.ru

Russian State Hydrometeorological University

Voronezhskaya st., 79, St. Petersburg, Russia, 192007

Morozova S.V., Candidate of Geography, Associate Professor at Department of Meteorology and Climatology

E-mail: swetwl@yandex.ru

Alimpieva M.A., Assistant of the Department of Meteorology and Climatology

E-mail: alimpiewa@rambler.ru

Saratov State University

Astrakhanskaya st., 83, Saratov, Russia, 410012