

Х.К. Нгонголо, С.П. Смышляев

**СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ СЕЗОННЫМИ ОСАДКАМИ
С МАРТА ПО МАЙ В ЭКВАТОРИАЛЬНОЙ
ВОСТОЧНОЙ АФРИКЕ И КВАЗИДВУХЛЕТНИЙ ЦИКЛ
СТРАТОСФЕРНЫХ ПЕРЕНОСОВ (КДЦ)**

H.K. Ngongolo, S.P. Smyshlyayev

**THE RELATIONSHIPS BETWEEN THE MARCH-MAY SEASONAL
RAINFALL IN EQUATORIAL EAST AFRICA
AND QUASI-BIENNIAL OSCILLATION (QBO)
IN THE LOWER EQUATORIAL STRATOSPHERIC ZONAL WINDS**

Корреляционный и композитный анализ связей интенсивности осадков в течение сезона продолжительных дождей в Восточной Африке с фазами КДЦ в стратосферном зональном ветре использовался для исследования прогнозирующего потенциала информации о фазах КДЦ для количества осадков в сезон продолжительных дождей с использованием данных за период с 1979 по 2003 г. Показано, что наблюдаемое количество осадков выше/ниже нормы в Экваториальной Восточной Африке связано с западными/восточными фазами стратосферного зонального ветра соответственно.

Ключевые слова: КДЦ-индекс, SOI-индекс, март по май – сезон дождей в Восточной Африке.

In this study, simple correlation and composites analysis based on the phases of the QBO was used to examine the teleconnections between March to May seasonal rainfall over East Africa and the different QBO phases in the stratospheric zonal wind and also explore the predictive potential of the long rainy season using information about the phases of the QBO for the period 1979–2003. It is shown that, above/below normal rainfall in equatorial eastern Africa is associated with the stratospheric westerly/easterly zonal wind phases.

Key words: QBO-Index; SOI index; March to May seasonal rainfall in East Africa.

1. Введение

В экваториальной Восточной Африке регулярно отмечаются два главных сезона дождей, а именно период продолжительных дождей (с марта по май) и период кратковременных дождей (с октябрь по декабрь). На формирование особенностей сезонов дождей в исследуемом регионе определяющее влияние оказывают изменение температуры поверхности океана (ТПО) и фазы Эль-Ниньо южного колебания (ЭНЮК). В исследованиях соотношений между интенсивностью сезонов дождей над Восточной Африкой и ТПО и ЭНЮК больше внимания традиционно уделяется периоду кратковременных дождей [10, 13, 15], а анализу и прогнозу более важного для сельскохозяйственного производства и других социально-экономических деятельности во многих областях региона сезону продолжительных дождей уделяется относительно меньше внимания. При этом при анализе влияющих факторов межгодовой изменчивости интен-

сивности осадков в тропиках в основном рассматривается роль ЭНЮК, а другие важные долгосрочные факторы изменчивости климата мало учитываются. Однако сезон продолжительных дождей связан со сложными взаимодействиями между многими региональными и крупномасштабными процессами, вызывающими большую неоднородность в пространственном распределении осадков [1, 11, 14, 17] и мала связанными с фазами ЭНЮК [15]. В этой связи для анализа наблюдаемых особенностей сезона продолжительных дождей и выделения определяющих предикторов необходимо рассматривать и другие влияющие на интенсивность осадков климатические факторы.

Одним из процессов, определяющим климатическую изменчивость в экваториальной зоне, в целом, и интенсивность осадков, в частности, является квазидвухлетняя циркуляция (КДЦ) [3]. КДЦ – квазипериодическое изменение знака зонального ветра на высотах тропосферы и стратосферы от восточного к западному направлению и наоборот с периодичностью около 28 месяцев. Результаты многих работ показали сигнал КДЦ в различных атмосферных параметрах и различных областях Земного шара [2, 8, 9, 11]. Среди этих стратосферных и тропосферных переменных можно отметить температуру, содержание озона, интенсивность индийских муссонных осадков и африканских осадков [12, 14, 19].

Как показали предыдущие исследования [3, 4, 18], для проблемы анализа и прогноза интенсивности осадков в экваториальной зоне определяющую роль играет изменчивость стратосферного зонального ветра, поэтому в настоящей работе рассматривается только влияние стратосферной КДЦ на особенности сезонов дождей в Восточной Африке. Предполагается [3], что стратосферная КДЦ формируется, прежде всего, в результате взаимодействия собственных экваториальных волновых мод со средним зональным потоком через механизм передачи импульса среднему зональному потоку в процессе разрушения волн при перемещении по высоте [3].

Процессы ЭНЮК и КДЦ являются связанными [6], причем направление воздействия идет со стороны ЭНЮК, в результате чего Южное Колебание (ЮК) основного периода может удвоить период колебаний КДЦ, что, в свою очередь, приводит к двукратному изменению знака зонального ветра в течение года. С другой стороны, КДЦ также может воздействовать на ЭНЮК, увеличивая главное отрицательное изменение ЮК, которое связано с событием Эль-Ниньо Южное Колебание (ЭНЮК) [6]. Таким образом, на развитие ЭНЮК может оказывать воздействие восточная фаза КДЦ в нижней стратосфере [6].

Связь между ЭНЮК и КДЦ необходимо учитывать при поиске оптимальных предикторов интенсивности осадков и других климатических параметров в тропической зоне [6]. Много попыток было сделано для исследования потенциала предсказуемости сигналов КДЦ из-за его постоянства и появления во многих атмосферных параметрах [5, 7, 8, 9]. В частности, были обнаружены значительные связи между фазами КДЦ в зональном ветре в нижней стратосфере

ре (около 30 мб) и изменчивостью летних муссонных осадков в Индии [8, 9]. Было показано, что сильная восточная фаза КДЦ связана со слабыми муссонами, а слабые восточная и западная фазы связаны с активными муссонами. Преобладающие ветра в стратосфере во время летнего муссона являются преимущественно восточными, что приводит к их ослаблению в результате проявления западных фаз КДЦ в нижней стратосфере. Анализ фаз КДЦ и интенсивности осадков в Южной Африке показал значительную корреляцию (+0,6) между КДЦ и региональными осадками для западной фазы КДЦ [7]. Огалло и др. [16] изучали характеристики КДЦ над Восточной Африкой, используя зональные композиты ветра из Найроби, Кении ($1^{\circ} 18' \text{ ю.}, 36^{\circ} 45' \text{ в.}$) за период с 1966 по 1987 г. Их результаты, основанные на спектральном анализе, показали господство периода 28 месяцев в зональной компоненте ветра. Результаты также показали некоторые значительные (на 5%-ном уровне) связи между осадками и сигналом КДЦ, основанные на изменении зонального ветра.

Неопределенность в связи между фазами КДЦ и режимом осадков в Юго-Восточной Африке требует дальнейшего исследования этой проблемы с точки зрения поиска оптимальных предикторов интенсивности осадков в течение сезона продолжительных дождей. Поэтому целью настоящей работы является исследование соотношения между различными фазами КДЦ в стратосферном зональном ветре и сезоном продолжительных дождей над Экваториальной Восточной Африкой, а также исследование прогнозирующего потенциала информации о фазах КДЦ для сезона продолжительных дождей.

2. Исходные данные и методология

Ввиду большой изменчивости распределения осадков по области анализ был основан на 11 однородных климатологических зонах (рис. 1), чтобы исследовать связи осадков этих зон с КДЦ. Детали относительно идентификации 11 однородных климатических зон над Восточной Африкой, адаптированные в этом исследовании, могут быть получены из статьи [20]. Средние ежемесячные индексы климата: индекс Южного Колебания (SOI) и индекс глобально усредненного экваториального стратосферного зонального ветра на 30 мб (КДЦ) были получены из базы данных центра анализа климата (CPC/NOAA). Индекс Южного колебания (SOI) и индекс КДЦ взяты за период с 1979 по 2003 г. Стратификация индексов КДЦ была основана на четырех сезонах: с марта по май (МAM), с июня по август (JJA), с сентября по ноябрь (SON) и с декабря по февраль (DJF). Данные об осадках были синхронизированы с данными КДЦ-индексов и индекса Южного Колебания в течение периода с 1979 по 2003 г. Стандартизированные отклонения осадков для Восточной Африки с 71 метеорологической станции и их аномалии были вычислены в течение сезона продолжительных дождей МAM по соотношению: $(X - \bar{X})/\rho$, где X – МAM осадков в год, \bar{X} и ρ – их среднее значение и стандартное отклонение за период

с 1979 по 2003 г. Методология, используемая в этом исследовании, была основана на применении корреляционного и композитного анализа осадков, основанных на фазе КДЦ.

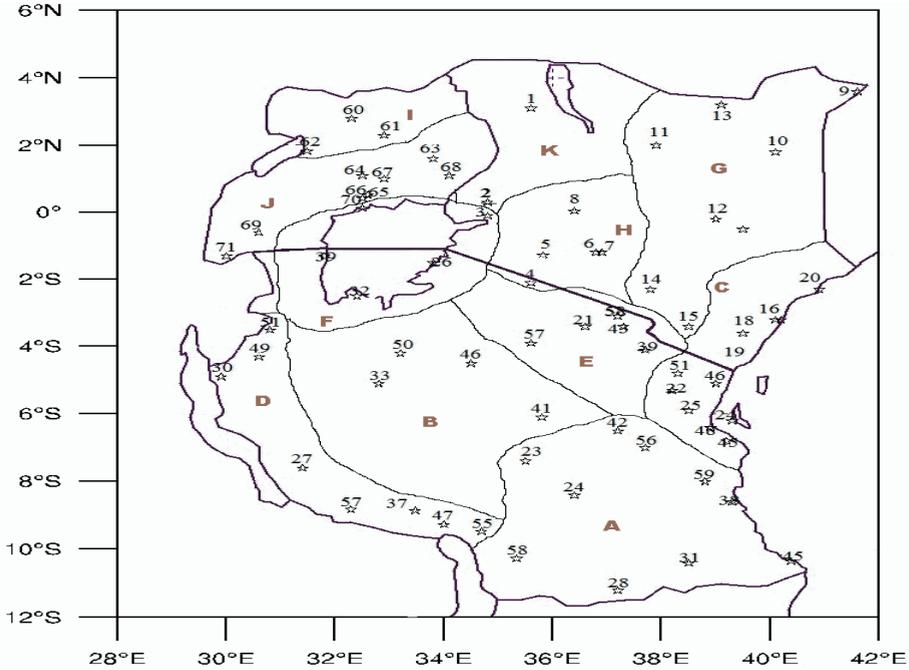


Рис. 1. Климатические однородные зоны Восточной Африки

Цель этого анализа выделение сигнала КДЦ, который может быть использован как переменный предиктор для сезонного прогнозирования. Каждый 71 индекс осадков и региональный временной ряд индекса осадков для 11 зон был сначала коррелирован с экваториальным усредненным стратосферным зональным ветром для идентификации пространственной степени соотношений между КДЦ и осадками. Зоны, которые значительно коррелировали с КДЦ, были идентифицированы и кросс-коррелированы с индексом Южного колебания для проверки вклада каждого из двух индексов планетарного климата в сезон продолжительных дождей. Эти временные ряды зон были тогда обобщены в категории использованием таблиц сопряженности, основанных на западных и восточных фазах КДЦ. Нулевой и лаг-корреляционный анализ использовался в этом исследовании, статистическая значимость коэффициента корреляции (r) протестирована с помощью Z-преобразования Фишера и критерия Стьюдента. Статистика Стьюдента использовалась для решения значительной корреляции от матрицы [22]. Образцы пространства и времени значительных корреляций использовались для исследования связи между индексом КДЦ и индексом Юж-

ного колебания и региональными осадками. Коэффициент корреляции (r) рассчитывался по формуле:

$$r = \frac{\sum_1^N (Y_i - \bar{Y})(X_i - \bar{X})}{\sqrt{\sum_1^N (Y_i - \bar{Y})^2 \sum_1^N (X_i - \bar{X})^2}}, \quad (1)$$

где \bar{Y} – среднее значение для $Y_1 \dots Y_N$; \bar{X} – среднее значение для $X_1 \dots X_N$; N – размер выборки, $-1 \leq r \leq 1$ – положительные и отрицательные значения, показывающие положительные или отрицательные отношения, соответственно. Оценка эмпирического коэффициента корреляции проводится с помощью Z-преобразования Фишера:

$$Z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \quad (2)$$

и критерия Стьюдента $\left| \frac{Z}{\sigma_Z} \right| \geq \alpha_{KP}$, где α_{KP} соответствует 5, 1 или 0,1 %-ному уровню значимости. Среднеквадратическое отклонение параметра Z равно:

$$\sigma_Z = \frac{1}{\sqrt{N-3}}. \quad (3)$$

В композит-анализе использовались годы, которые имеют осадки выше нормы и совпадающие с западными фазами КДЦ, а также годы с осадками ниже нормы и совпадающими с восточной фазой КДЦ. Годы, имеющие стандартизированный индекс осадков $\geq 0,12$, были классифицированы как осадки выше нормы, а годы, имеющие стандартизированный индекс осадков $\leq -0,12$, были классифицированы как годы осадков ниже нормы. Выбор этого диапазона стандартизированного индекса осадков основан на критерии Стьюдента, примененном на объеме выборки 25 лет. T -показатели на высоких и низких индексах осадков показывают, что два ряда значительно различны на 95%-ном уровне значимости.

3. Анализ результатов

3.1. Связи между сезонными осадками и КДЦ-индексом

Было установлено, что основание для использования низкого экваториального стратосферного зонального индекса ветра в сезонной предсказуемости базируется на его тенденции продолжаться в течение нескольких месяцев после фазового перехода от восточного до западного и наоборот. Рис. 2 показывает нулевую и лаг-корреляцию между сезоном продолжительных дождей по одно-

родным зонам осадков в Восточной Африке и КДЦ-индексом на 30 мб за период с 1979 по 2003 г. Основанные на критерии Стьюдента (объем выборки 25 лет) коэффициенты корреляции $[r] \geq 0,51$ представляют собой уровень значимости выше 5 %.

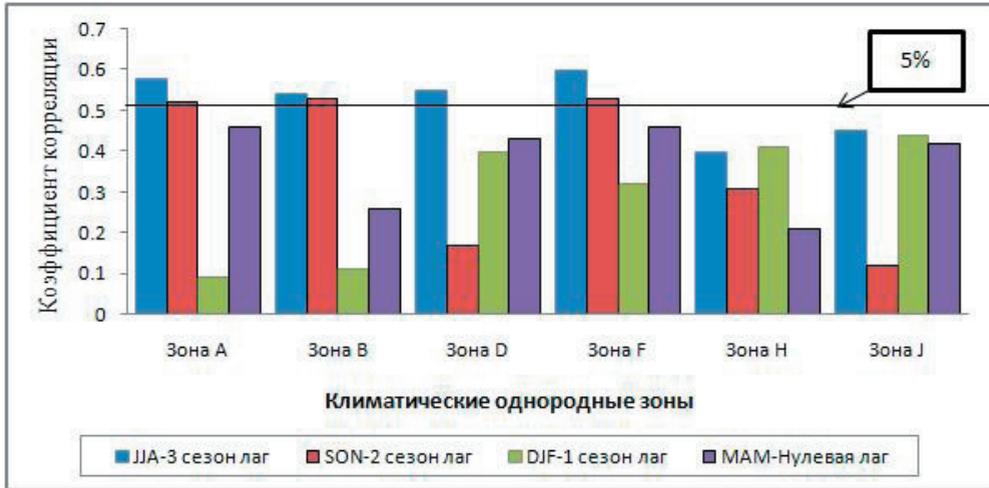


Рис. 2. Средние корреляции образцов, трех сезонов лаг, двух сезонов лаг, одного сезона лаг и нулевая лаг между индексом КДЦ и сезоном дождей по Восточной Африке с марта по май (для коэффициента корреляции выше 5% уровень значимости обозначен)

В табл. 1 приводится обобщение сезонных и ежемесячных индексов корреляции между этими двумя переменными. Результаты показывают значительную нулевую и лаг-корреляцию между КДЦ-индексом и осадками в зоне F, включающую регион вокруг озера Виктории (+0,6), южную часть Танзании (зону А) приблизительно + 0,6, западную часть Танзании (зону D) приблизительно + 0,6, центральную часть Танзании (зону В), восточную, центральную и западную Уганду (зону Ж) и центральные зоны разломов и область Найроби (зона Н).

КДЦ/осадки корреляции в этих зонах значительно высоки в течение по крайней мере пяти месяцев до сезона дождей с марта по май. Самая высокая значительная корреляция между сезонными осадками и КДЦ-индексом составляет + 0,6, наблюдается между МАМ индексом осадков и JJA КДЦ-индексом предыдущего года и уменьшается к относительно целевому сезону дождей МАМ.

Эти лаг-отношения между двумя переменными показывают высокие перспективы использования их в развитии методологии предсказания. Однако корреляции внезапно разрушаются между 3 и 2 лагами сезонов для зон D, Н и J. Внезапный крах в корреляциях предполагает, что долгосрочное прогнозирование (двух сезонов или заранее), невозможно выполнить в этих трех зонах. JJA КДЦ-индекс предыдущего года может использоваться для прогнозирования МАМ сезона дождей с значительным результатом. Наблюдаемые области значительных лаг-корреляций предполагают, что сезонная предсказуемость в тех

областях практически возможна. Была вычислена кросс-корреляция между КДЦ-индексом, осадками и индексом Южного Колебания (SOI), полученные индексы представлены в табл. 2. Эти результаты показывают хорошую связь между КДЦ-индексом и региональными осадками со значительным нулевым и лаг-корреляциями +0,5 (приблизительно 25 %-ная дисперсия) и +0,6 (приблизительно 36 %-ная дисперсия) соответственно. Факт, что два индекса планетарного климата (КДЦ и Южного колебания) статистически не связаны в нулевом и лаг-времени, вселяет большее доверие в использовании их как предикторов для прогнозирования сезона дождей.

Таблица 1

Нулевая и лаг-коэффициент корреляции (r) между усредненными экваториальными стратосферными зональными ветрами на 30 мб (индекс КДЦ) и сезоном дождей с марта по май по 11 однородным зонам по Восточной Африке (объеме выборки 25 лет)

Период	Зона А	Зона В	Зона С	Зона D	Зона Е	Зона F	Зона G	Зона H	Зона I	Зона J	Зона K
JJA	0,58**	0,54**	-0,42*	0,55**	0,11	0,60**	0,32	0,40*	0,41*	0,45*	0,20
SON	0,52**	0,53**	-0,34	0,17	-0,19	0,53**	0,35	0,41*	0,26	0,12	0,09
DJF	0,09	0,11	-0,15	0,40*	0,45*	0,32	0,33	0,31	0,28	0,44*	0,25
MAM	0,46*	0,26	-0,21	0,43*	0,41*	0,46*	0,20	0,21	0,35	0,42*	0,23
JUNE	-0,04	0,47*	-0,34	0,40*	0,16	0,56**	0,23	0,41*	0,40*	0,43*	0,20
JULY	-0,50*	0,54**	-0,43*	0,46*	0,13	0,59**	0,33	0,40*	0,41*	0,40*	0,19
AUG	-0,49*	0,57**	-0,41*	0,37	0,03	0,57**	0,38	0,42*	0,36	0,29	0,18
SEPT	-0,39	0,55**	-0,38	0,26	-0,08	0,55**	0,38	0,42*	0,30	0,19	0,13
ОКТ	-0,51**	0,52**	-0,35	0,17	-0,19	0,52**	0,35	0,43*	0,26	0,13	0,10
NOV	-0,55**	0,50*	-0,29	0,07	-0,29	0,46*	0,31	0,40*	0,20	0,05	0,03
DEC	-0,51**	0,44*	-0,25	0,02	-0,35	0,32	0,20	0,41*	0,12	-0,02	-0,04
JAN	0,39	-0,20	0,04	0,27	0,52**	0,23	0,17	0,03	0,09	0,40*	0,17
FEB	0,36	-0,09	0,02	0,31	0,53**	0,29	0,15	0,12	0,18	0,31	0,29
MAR	0,18	0,08	-0,08	0,40*	0,48*	0,38	0,16	0,16	0,28	0,47*	0,26
APR	-0,04	0,20	-0,23	0,43*	0,44*	0,46*	0,19	0,21	0,35	0,44*	0,24
MAY	-0,27	0,35	-0,29	0,40*	0,30	0,51**	0,22	0,42*	0,38	0,32	0,18

Примечания: ** 99%-ный уровень значимости, * 95%-ный уровень значимости.

Таблица 2

Нулевая и лаг-кросс-корреляции матрицы для осадков, КДЦ и индекса Южного Колебания (SOI) за период 1979–2003 гг.

	Индекс осадков Зон F	КДЦ-индекс (МАМ)	SOI-индекс (МАМ)	КДЦ-индекс (июль)
КДЦ-индекс (МАМ)	0,46*			
SOI -индекс (МАМ)	-0,15	0,15		
КДЦ-индекс (июль)	0,59**	0,78**	0,10	
SOI -индекс (июль)	0,07	0,21	0,44*	-0,04

Примечания: ** 99%-ный уровень значимости; * 95%-ный уровень значимости.

3.2. Потенциал предсказуемости сезона дождей с использованием КДЦ-индекса

Рис. 3 показывает временной ряд КДЦ-индекса и индекса Южного Колебания (SOI) за период с 1979 по 2003 г., годы с западными и восточными фазами КДЦ-индекса и индекса Южного Колебания. Западные фазы КДЦ-индекса наблюдались в течение 1980, 1983, 1985, 1986, 1988, 1990, 1993, 1995, 1997, 1999 и 2002 гг.; восточные фазы в течение 1979, 1982, 1984, 1987, 1989, 1992, 1994, 1996, 1998, 2000, 2001 и 2003 гг. Эти наблюдения совпадают с таковыми из Мукерджи [9], использующего зональные данные ветра на 30 мб из Бальбоа (9°N , 80°W), Огалло и др. [16], использующих зональные компоненты ветра для Найроби, Кении ($1^{\circ}18'S$, $36^{\circ}45'E$). С другой стороны, частые отрицательные фазы были доминирующими с индексом Южного Колебания в анализируемом периоде. В течение 1982, 1984, 1987, 1992, 1994, 1998 и 2003 гг. восточные фазы КДЦ-индекса совпали с низкими (отрицательными) фазами индекса Южного Колебания. Все эти годы, за исключением 1984 и 1994, были классифицированы как годы ЭНЮК [21]. Это наблюдение объясняется тем, что ЭНЮК имеет тенденцию, связанную с восточными фазами КДЦ.



Рис. 3. Средний ежегодный временной ряд для КДЦ-индекса (а) и индекса Южного Колебания (SOI) (б)

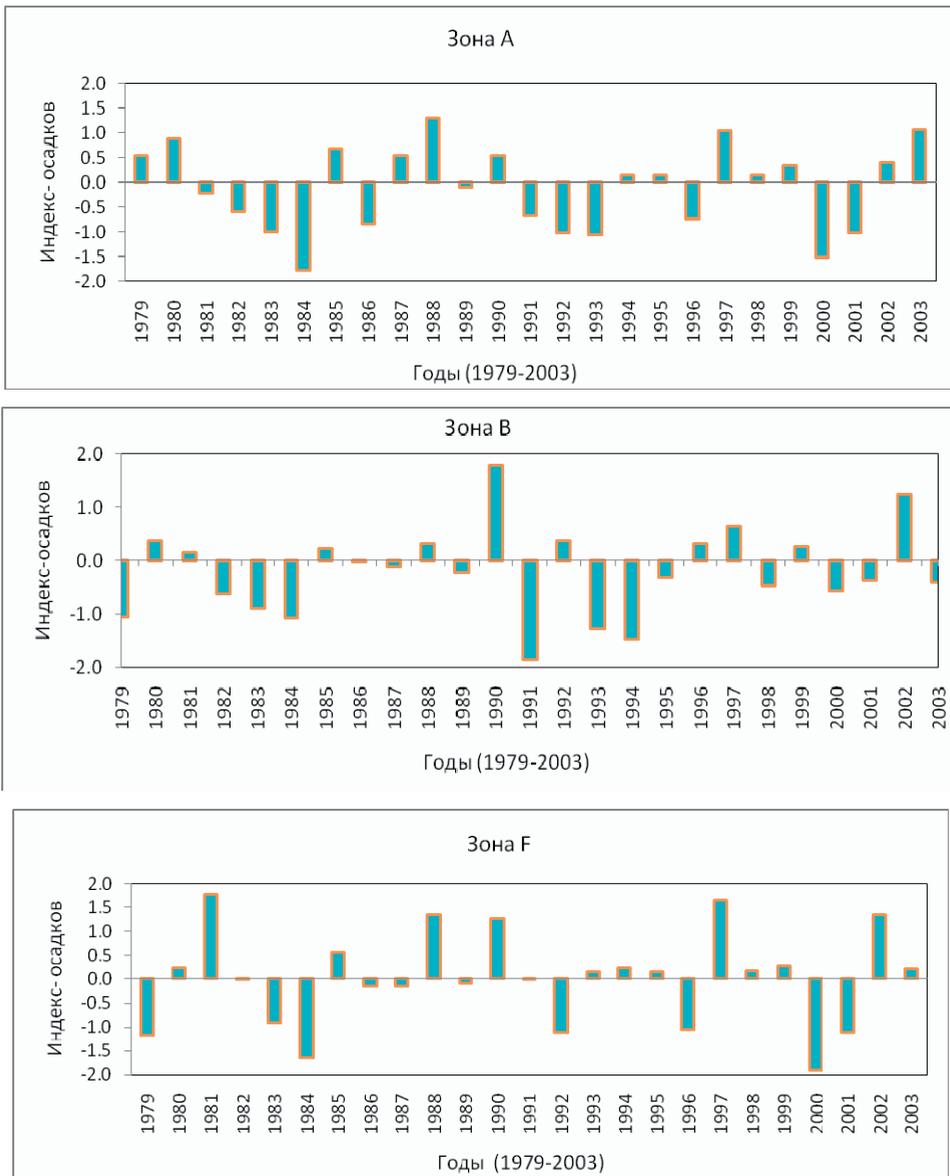


Рис. 4. Стандартизированный временной ряд осадков для трех однородных зон: зона А (южная часть Танзании), зона В (центральная часть Танзании), зона F (регион вокруг озера Виктория)

Рис. 4 показывает временной ряд осадков от трех однородных зон Восточной Африки, которые мы идентифицировали как имеющие значительную корреляцию с КДЦ-индексом. Обобщения сезонных дождей в этих трех зонах в категории с использованием таблиц сопряжённости (западные и восточные фазы КДЦ кратко излагаются в табл. 3).

Таблица сопряженности для зональных фаз ветра на уровне 30 мб и аномалий сезона дождей с марта по май в трех однородных зонах над Восточной Африкой

Зона	Фаза КДЦ-индекса	Аномалии количества осадков			
		AN	NN	BN	Сумма
Зона А	Западная фаза				
	Восточная фаза	3	1	8	12
	Сумма	10	3	10	23
Зона В	Западная фаза	7	1	3	11
	Восточная фаза	3	2	7	12
	Сумма	10	3	10	23
Зона F	Западная фаза	8	1	2	11
	Восточная фаза	2	2	8	12
	Сумма	10	3	10	23

Примечания: AN – осадки выше нормы ($X_i \geq X_{\text{средний}} + 0,12\sigma$); BN – осадки ниже нормы ($X_i \leq X_{\text{средний}} - 0,12\sigma$); NN – осадки около нормы ($X_{\text{средний}} - 0,12\sigma \leq X_i \leq X_{\text{средний}} + 0,12\sigma$); σ – стандартное отклонение; X_i означает наблюдения.

Основанные на этих трех зонах стратосферные западные фазы ветра соответствуют осадкам выше нормы, которые наблюдались в 7 из 11 случаев для зоны А, в 7 из 11 для зоны В и в 8 из 11 для зоны F, условные вероятности приблизительно 0,6; 0,6 и 0,7 для соотношений осадков выше нормы в течение сезона продолжительных дождей над экваториальным восточным африканским регионом и западной фазой КДЦ. Осадки ниже нормы, совпадающие с западной фазой КДЦ, наблюдались в 1983 г. в течение анализируемого периода. Этот год был классифицирован как удлинённый год ЭНЮК [21].

Стратосферные восточные фазы ветра и осадки ниже нормы наблюдались в 8 из 12 случаев для зоны А, в 7 из 12 для зоны В, и в 8 из 12 для зоны F, условные вероятности приблизительно 0,7; 0,6 и 0,7 для осадков ниже нормы в этих трех зонах и восточной фазе стратосферного зонального ветра.

Результаты, полученные в этом исследовании, поддерживают понятие осадков выше/ниже нормы, связанное со стратосферным западным/восточным зональным фазами ветра. Приблизительно 70 % вероятности наблюдается между западной фазой КДЦ и осадками над Восточной Африкой. Отношения терпят неудачу в течение лет сильных событий ЭНЮК. Эти хорошие связи между фазами КДЦ и сезонами осадков показывают надежный потенциал для предсказуемости осадков с использованием информацией о фазах КДЦ. Значительные корреляции между осадками в зонах А, В и F и КДЦ-индексом сохраняется в течение двух сезонов до сезона продолжительных дождей, но разрушается в зонах D, H и J. В остальной части исследования мы используем индекс осадков для зоны F как пример для проверки потенциала предсказуемости сезона дождей с использованием КДЦ-индексом.

На рис. 5 представлен временной ряд осадков по региону вокруг озера Виктория (зона F) и КДЦ-индекса в июле предыдущего года. Из рисунка видно, что приблизительно 70 % больших положительных/отрицательных аномалий осад-

ков наблюдались во время периода большого положительного/отрицательного КДЦ-индекса. Некоторые из экстремумов аномалий осадков не были связаны с КДЦ-индексом. Коэффициент корреляции между КДЦ-индексом и подрегионными осадками был равен 0,59, является 99%-ным уровнем значимости, основанным на критерии Стьюдента. Эта значительная корреляция показывает некоторые надежные связи между сезонами дождей и КДЦ. Надежные отношения между сезоном продолжительных дождей и КДЦ-индексом показывают высоко прогнозирующий потенциал. Для целей прогнозирования региональных осадков наиболее полезным индексом представляется тенденция индекса КДЦ перед сезоном дождей. Положительные тенденции – это разность между значениями с октября по декабрь (OND) и JJA индекса КДЦ, она может быть хорошим индикатором для ненаступления засухи в Восточной Африке. Кроме того, негативная тенденция может быть хорошим индикатором для ненаступления сильных дождей над регионом.

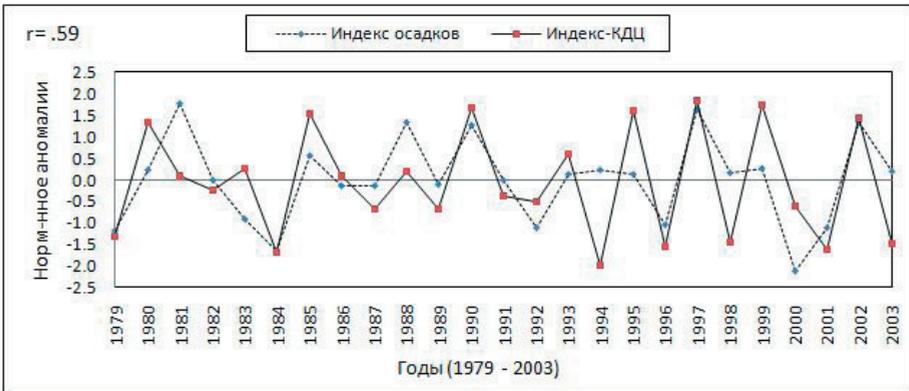


Рис. 5. Временной ряд осадков по региону вокруг озера Виктория (зона F) и КДЦ-индекса в июле предыдущего года

На рис. 6 показана диаграмма рассеяния (разброса) в период с марта по май сезона дождей по региону вокруг озера Виктория и экваториальным зональным ветром на 30 мб за июль (а) и тенденция – разность между значениями с октября по декабрь и периодом с июня по август КДЦ индекса (б). Коэффициент корреляции между аномалиями осадков над Восточной Африкой в зоне F и разница между OND и JJA КДЦ индекса представляет собой +0,63 (приблизительно 40%-ная дисперсия), который является выше, чем для JJA сезона дождей (+0,6). Как показано на рис. 6, большинство лет сильных засух находится в более низком левом секторе, а большинство лет очень сильных осадков находится в верхнем правом секторе диаграммы рассеяния (разброса). Близкое отсутствие пунктов в более низком правом углу этой диаграммы рассеяния предполагает, что положительная тенденция КДЦ индекса была хорошим предиктором для невозникновения засухи по экваториальной Восточной Африке.

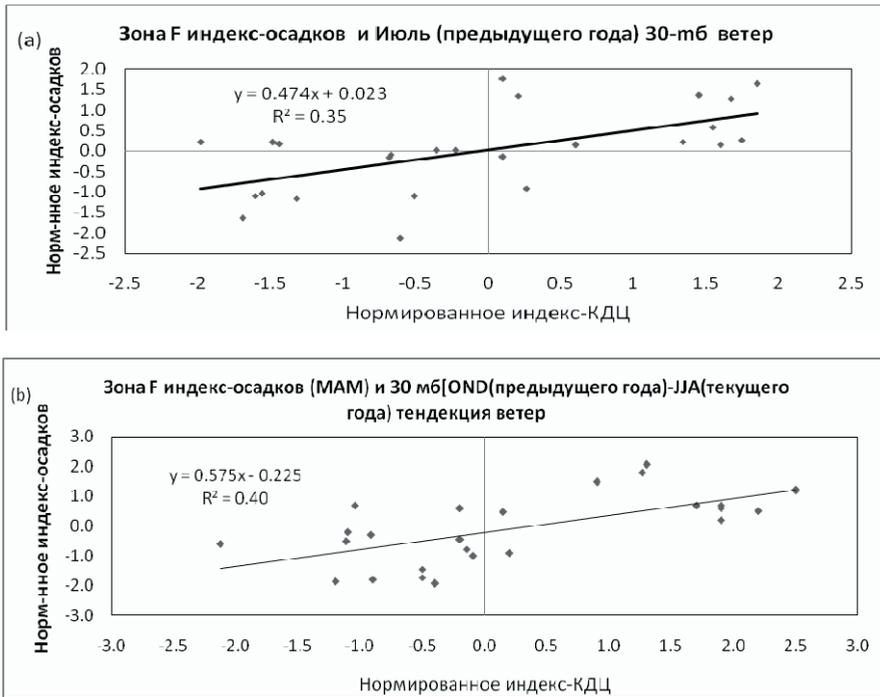


Рис. 6. Диаграмма рассеяния между сезоном дождей МАМ по региону вокруг озера Виктория и экваториальным зональным ветром на 30 мб за июль (а), и тенденция-разность между значениями с октября по декабрь и периодом с июня по август КДЦ индекса (б)

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ исследования отношений между различными фазами КДЦ для стратосферного зонального ветра и длительности сезона продолжительных дождей Экваториальной Восточной Африки позволяет сделать следующие выводы:

- отношения между сезонами дождей в марте-мае и эль-Ниньо относятся к ограниченному числу лет, когда эль-Ниньо происходит, тогда отношения между КДЦ-индексом и сезонами дождей применимы во всех годах. Поэтому мониторинг обоих параметров может обеспечить очень полезное руководство для долгосрочного прогноза сезона дождей по региону;
- выделение этих областей, являющиеся очень важными для сельскохозяйственного производства при сезонном прогнозе климата, были бы шагом к улучшению перспективного проектирования в промышленности;
- чтобы улучшить прогнозирование сезона дождей в марте-мае в восточно-африканских странах, которое оказывает существенное влияние на все секторы экономики, включая сельское хозяйство, водоснабжение и выработку электроэнергии, и занимает большую часть региона, можно рекомендовать использовать КДЦ-индекс как предиктор.

Литература

1. *Beltrando G.*, 1990: Space-time variability in April and October–November over East Africa during the period 1932–1983. *J. Climatol.*, 10, 691–702.
2. *Hasebe F.*, 1980: A global analysis of the fluctuation of total ozone-II; Non-stationary annual oscillation, quasi-biennial oscillation and long-term variations in total ozone. *J. Met. Soc. Japan.* 58, 104–117.
3. *Holton J.R. and R.S. Lindzen*, 1972: An updated theory for the quasi-biennial cycle of the tropical stratosphere. *J. Atmos. Sci.* 29, 1076–1080.
4. *Holton J. R. and H.C. Tan*, 1980: The influence of equatorial quasi-biennial oscillation on the global circulation at 50 mb. *J. Atmos. Sci.* 37, 2200–2208.
5. *July M.R., Mc Queen C. and K. Levey*, 1994: SOI and QBO signals in the African region. *Theor. Appl. Climatol.* 50, 103–115.
6. *Lau K. and P.J. Sheu*, 1988: Annual cycle, Quasi-Biennial Oscillation and Southern Oscillation in global precipitation. *J. Geophys. Res.* 93, No. D9, 10975–10988.
7. *Mason S.J. and P.D. Tyson*, 1992: The modulation of sea surface temperature and rainfall associations over southern Africa with Solar activity and Quasi-Biennial Oscillation. *J. Geophys. Res.* 97, No. D5, 5847–5856.
8. *Mukherjee B.K., K. Indira, R.S. Reddy and B.H. V. Ramana Murty*, 1979: High-level warming, winds and Indian summer monsoon. *Mon. Wea. Rev.* 107, 1581–1588.
9. *Mukherjee B.K., K. Indira, R.S. Reddy and B.H. V. Ramana Murty*, 1985: Quasi-biennial oscillation in stratospheric zonal winds and Indian summer monsoon. *Mon. Wea. Rev.* 113, 1421–1424.
10. *Mutai C.C., Ward M.N. and Coleman A.W.*, 1998: Towards the prediction of the East Africa short rains based on sea-surface temperature-atmosphere coupling. *Int. J. Climatol.* 18, 975–997.
11. *Nicholson S.E.*, 1996: A review of Climate Dynamics and Climate Variability in Eastern Africa. *The Limnology, Climatology and Paleoclimatology of the East African Lakes.* Gordon and Breach, New York, 57pp.
12. *Nicholson S.E. and Entekhabi D.*, 1986: The quasi-periodic behavior of rainfall variability in Africa and its relationship to the Southern Oscillation. *Arch., Met. Geoph. Biocl. Ser. A*, 34, 311.
13. *Nicholson S.E. and B.S. Nyenzi*, 1990: Temporal and spatial variability of SSTs in the tropical Atlantic and Indian Oceans. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 42, 1–17.
14. *Ogallo L.J.*, 1982: Quasi-periodic patterns in the East Africa rainfall records. *Kenya J. Sci. and Techn.* A3, PP. 43–54.
15. *Ogallo L.J., Janowiak J.E. and Halpert M.S.*, 1988: Teleconnection between seasonal rainfall over East Africa and Global sea surface temperature anomalies. *J. Met. Soc. Jpn.* 66, 807–822.
16. *Ogallo L.J. R., Okoola and D.N. Wanjohi*, 1994: Characteristics of Quasi-Biennial Oscillation over Kenya and their predictability potential for seasonal rainfall. *Mausam*, 45, No. 1, 57–62.
17. *Okoola R.E.*, 1998: Spatial evolution of the active patterns across the equatorial Eastern Africa region during northern hemisphere spring season using Outgoing Longwave Radiation records. *Meteorol. Atmos. Phys.* 66, 51–63.
18. *Plumb R.A.*, 1977: The interaction of two internal waves with the mean flow: Implications for the theory of the quasi-biennial oscillation. *J. Atmos. Sci.* 34, 1847–1858.
19. *Rasmusson E.M., Akrhin P.A., Chen W.Y. and J.B. Jalickee*, 1981: Biennial variations in the surface temperature over the United States as revealed by singular value decomposition. *Mon. Wea. Rev.* 109, pp. 587–598.
20. *Smyshlyaev S.P. and H.K. Ng'ongolo*, 2010: The predictive potential of seasonal rainfall in Equatorial East Africa. *Meteorological Technology International*, pp. 102–105.
21. *Trenberth K.E.*, 1997: The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 78, 2771–2777.
22. *Yevjevich V.*, 1972: *Probability Statistics in Hydrology* Fort Collins, CO, Water Resources Publication, 302 pp.

Работа выполнена в рамках мероприятия 1.3.1 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственный контракт № П2595 от 26 ноября 2009 г.) по направлению «Физика атмосферы».