

УДК 551.583

ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ РАЗНЫХ ТИПОВ ЯВЛЕНИЙ ЭЛЬ-НИНЬО В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

© 2022 г. И. И. Мохов^{a, b, *}

^aИнститут физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер., 3, Москва, 119017 Россия

^bМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Ленинские горы, 1, с. 2, ГСП-1, Москва, 119991 Россия

*e-mail: mokhov@ifaran.ru

Поступила в редакцию 15.07.2021 г.

После доработки 30.09.2021 г.

Принята к публикации 07.10.2021 г.

Получены оценки изменений в течение последних семи десятилетий (1950–2019 гг.) частот переходов между разными фазами процессов Эль-Ниньо. С положительными (фаза Эль-Ниньо) и отрицательными (фаза Ла-Нинья) аномалиями температуры поверхности в экваториальных широтах Тихого океана связаны сильнейшие межгодовые вариации глобальной приповерхностной температуры. Выявлены существенные различия тенденций для явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья разного типа, характеризующихся аномалиями температуры поверхности в экваториальных широтах восточной (Niño3) и центральной (Niño4) областей Тихого океана. В том числе, отмечены тенденции увеличения повторяемости фаз Эль-Ниньо с использованием индекса Niño4 и повторяемости нейтральных фаз с использованием индекса Niño3. При этом для обоих типов Эль-Ниньо проявляется тенденция уменьшения повторяемости фаз Ла-Нинья. Существенный вклад в отмеченные тенденции связан с режимами продолжительного, не менее года, проявления соответствующих фаз.

Ключевые слова: изменения климата, разные типы явлений Эль-Ниньо, повторяемость фазовых переходов

DOI: 10.31857/S0002351522010084

ВВЕДЕНИЕ

С процессами Эль-Ниньо, характеризующимися сильными аномалиями температуры поверхности в экваториальных широтах Тихого океана, связаны сильнейшие межгодовые вариации глобальной приповерхностной температуры. Влияние этих квазициклических процессов (со средней периодичностью около 4–5 лет) значительно проявляется в разных регионах Земли. В многочисленных исследованиях процессов, связанных с явлениями Эль-Ниньо, проведен разносторонний анализ их особенностей и механизмов формирования с использованием различных данных и модельных расчетов. Эффекты квазирегулярных процессов Эль-Ниньо значительно проявляются в особенностях атмосферной циркуляции, температурного и гидрологического режимов не только в тропических, но и в средних широтах, и даже в полярных. В том числе выявлено значимое влияние Эль-Ниньо для режимов центров действия атмосферы, блокингов, тропических циклонов, региональных режимов наводнений, летних засух и зимних морозов [1–42]. Связь событий Эль-Ниньо с Южным колебанием и их влияние на

внетропические широты выявлены Я. Бьеркнесом [2, 3]. Первые результаты были представлены им в докладе “Взаимодействие атмосферы и океана” в Москве в Институте физики атмосферы в июне 1963 г.

Проявляются разные типы явлений Эль-Ниньо и для их детектирования предложен целый ряд индексов. Каноническое явление Эль-Ниньо характеризуется достаточно сильными положительными аномалиями температуры поверхности в экваториальных широтах восточной части Тихого океана. Противоположная фаза с соответствующими достаточно сильными отрицательными температурными аномалиями называется Ла-Нинья. Наряду с этим выделяется другой тип проявлений процессов Эль-Ниньо с достаточно сильными аномалиями температуры поверхности не в восточной, а в центральной части Тихого океана в экваториальных широтах – так называемые Эль-Ниньо Модоки [14].

Особое значение имеют оценки изменений процессов, связанных процессами Эль-Ниньо, при глобальных изменениях. Цель данной работы – оценить тенденции изменений в послед-

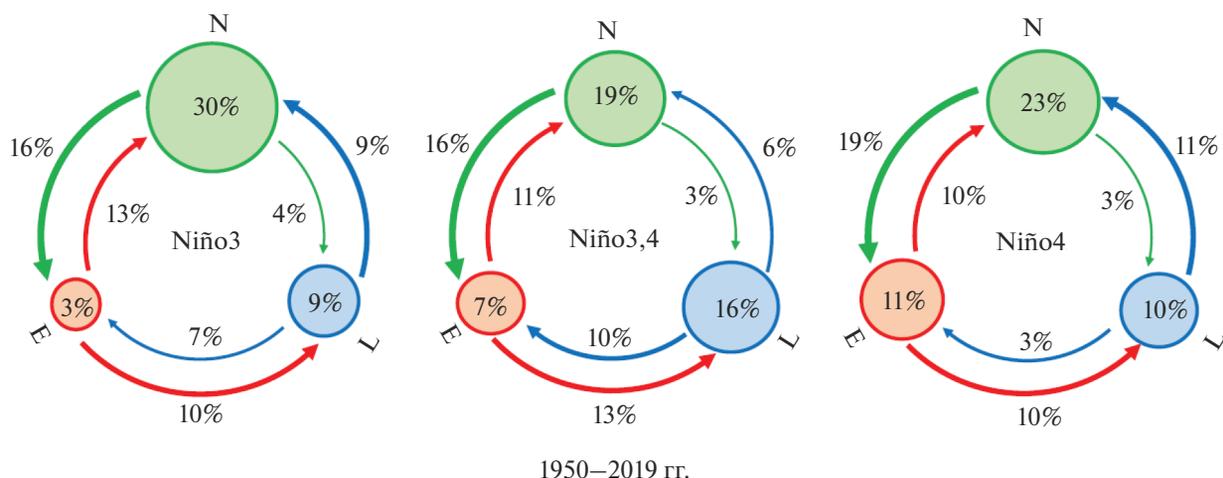


Рис. 1. Оценки вероятности (в %) различных фазовых переходов Эль-Ниньо, характеризующихся различными индексами (Niño3, Niño3.4, Niño4) для 70-летнего периода 1950–2019 гг. в целом.

ние десятилетия частоты различных фазовых переходов для процессов Эль-Ниньо разного типа.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ

При анализе использовались традиционные индексы Эль-Ниньо/Ла-Нинья, характеризующие температуру поверхности океана (ТПО) в областях Niño3 (150–90° W), Niño3.4 (170–120° W) и Niño4 (160° E–150° W) в экваториальных широтах Тихого океана для 70-летнего периода 1950–2019 гг. (<ftp://www.coaps.fsu.edu/>). Теплая фаза Эль-Ниньо (E) и холодная фаза Ла-Нинья (L) определялись значениями индекса не менее 0.5 K и не более –0.5 K, соответственно, в течение нескольких (шести) последовательных месяцев. Все остальные случаи характеризовались как нейтральные фазы (N). Аномалии ТПО в области Niño3 использовались при анализе канонических явлений Эль-Ниньо, а индексы Niño4 – для проявлений Эль-Ниньо в центральной части Тихого океана в экваториальных широтах.

Анализировались девять возможных фазовых переходов для явлений Эль-Ниньо, в том числе: $N \rightarrow E$ – от нейтральной фазы в начале года к фазе Эль-Ниньо в начале следующего года, $N \rightarrow L$ – от нейтральной фазы к фазе Ла-Нинья, $N \rightarrow N$ – при нейтральной фазе в течение года и, соответственно, $E \rightarrow L$ – от фазы Эль-Ниньо к фазе Ла-Нинья, $E \rightarrow N$ – от фазы Эль-Ниньо к нейтральной фазе, $E \rightarrow E$ – при фазе Эль-Ниньо в течение года, $L \rightarrow E$ – от фазы Ла-Нинья к фазе Эль-Ниньо, $L \rightarrow L$ – при фазе Ла-Нинья в течение года аналогично [31] (см. также [25, 29]).

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1 представлены оценки вероятности различных фазовых переходов Эль-Ниньо, характеризующихся различными индексами (Niño3, Niño3.4, Niño4) для 70-летнего периода 1950–2019 гг. Согласно рис. 1 статистика фазовых переходов для Эль-Ниньо существенно различается при использовании разных индексов.

Для 70-летнего периода 1950–2019 гг. в целом повторяемость сравнительно редкого режима $E \rightarrow E$ с продолжением фазы Эль-Ниньо в течение года для событий Эль-Ниньо (типа Модок), проявляющихся в центральной части экваториальных широт Тихого океана, если их характеризовать индексом Niño4, была в 4 раза больше (8 событий), чем для канонических явлений Эль-Ниньо, проявляющихся в восточной части экваториальных широт Тихого океана и характеризуемых индексом Niño3 (2 события).

При использовании индекса Niño3.4, характеризующего аномалии ТПО в приэкваториальной области, объединяющей части областей Niño3 и Niño4, статистика фазовых переходов существенно отличается от полученной при использовании индексов Niño3 и Niño4. В частности, при использовании индекса Niño3.4 повторяемость режимов $N \rightarrow N$ с нейтральной фазой в течение года получена меньшей, чем при использовании индексов Niño3 и Niño4, а для повторяемости режимов $L \rightarrow L$ с фазой Ла-Нинья в течение года – наоборот. Это свидетельствует о том, что при существенных различиях динамики явлений Эль-Ниньо разного типа использовании одного общего индекса может приводить к неадекватным выводам, в частности при оценке тенденций возможных изменений при глобальных изменениях климата.

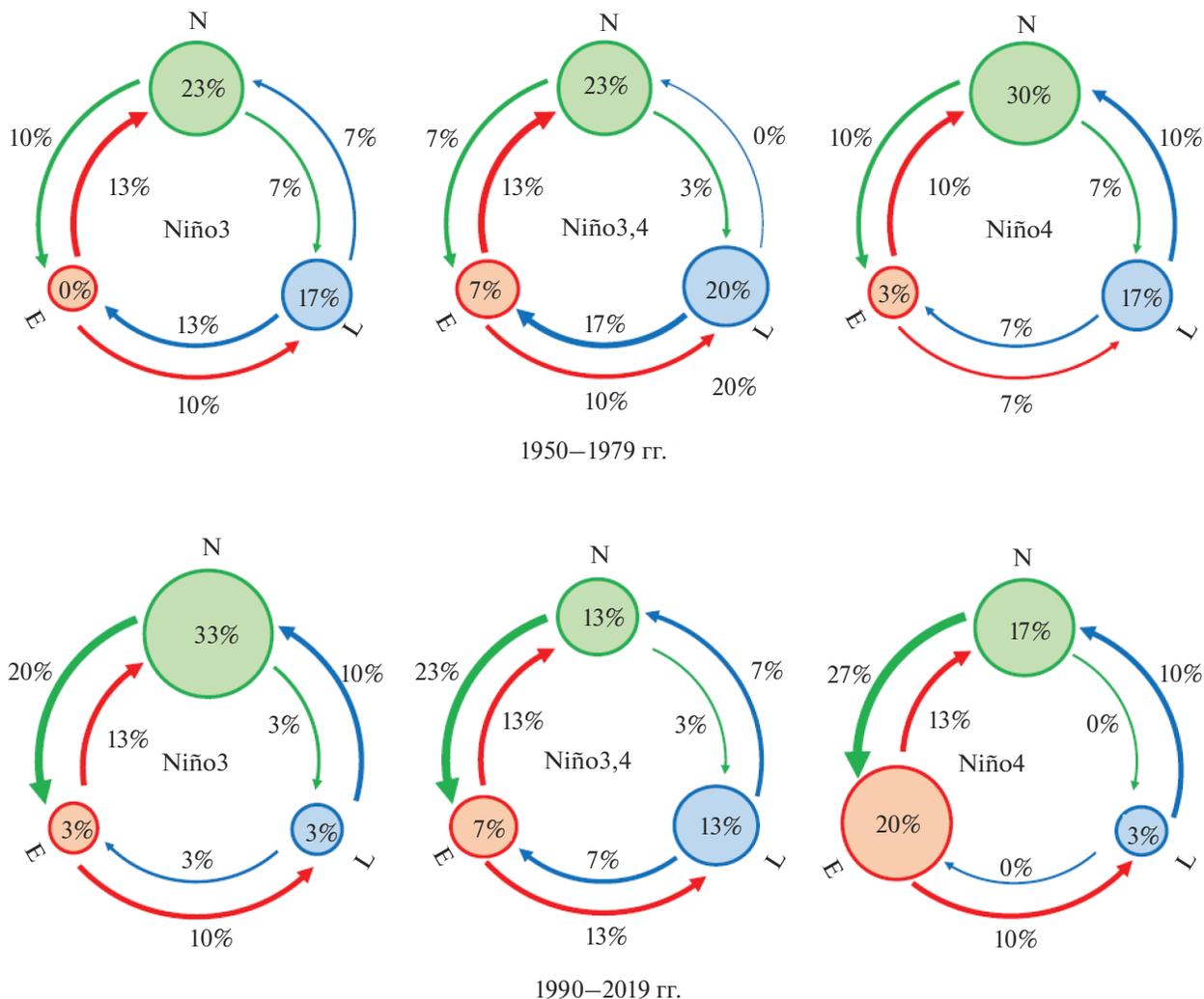


Рис. 2. Оценки вероятности различных фазовых переходов Эль-Ниньо, характеризующихся различными индексами (Niño3, Niño3.4, Niño4) для двух 30-летних периодов 1950–1979 гг. (а) и 1990–2019 гг. (б)

На рис. 2 приведены соответствующие оценки вероятности (в %) различных фазовых переходов Эль-Ниньо, характеризующихся различными индексами (Niño3, Niño3.4, Niño4) для двух 30-летних периодов 1950–1979 и 1990–2019 гг. – в начале и конце анализируемого 70-летнего периода. Согласно рис. 2 статистика фазовых переходов для Эль-Ниньо различается существенно не только при использовании разных индексов, но и для разных периодов.

Согласно рис. 2 для периода 1990–2019 гг. значительно возросла (6 событий) повторяемость режима $E \rightarrow E$, характеризующего индексом Niño4, по сравнению с периодом 1950–1979 гг. (1 событие). При этом повторяемость режима $E \rightarrow E$ для канонического Эль-Ниньо, характеризующего индексом Niño3, относительно 1950–1979 гг. (с отсутствием таких событий) возросла минималь-

но (1 событие). Следует отметить, что для режима $L \rightarrow L$ с использованием индексов Niño3 и Niño4 получено одинаковое соответствующее значительное уменьшение повторяемости для 1990–2019 гг. (1 событие) по сравнению с 1950–1979 гг. (5 событий).

Оценки изменений частоты фазовых переходов явлений Эль-Ниньо, характеризующихся индексом Niño3.4, (представленные на рис. 2) подтверждают существенность проблемы использования одного общего индекса при анализе тенденций возможных изменений, отмеченную при анализе рис. 1.

Более детальные оценки вероятности разных фазовых переходов для разных типов Эль-Ниньо для различных 30-летних периодов с систематизацией по фазе начала перехода представлены в табл. 1. Согласно табл. 1 при использовании ин-

Таблица 1. Оценки вероятности (%) разных фазовых переходов для явлений Эль-Ниньо, определяемых индексами Niño4 и Niño3, для различных 30-летних периодов с систематизацией по фазе начала перехода

Niño4 (Niño3)		Оценки вероятности фазовых переходов из разных фаз Эль-Ниньо (%)									
		1950–1979 гг.		1960–1989 гг.		1970–1999 гг.		1980–2009 гг.		1990–2019 гг.	
$E \rightarrow$	$E \rightarrow E$	3 (0)		7 (3)		10 (3)		17 (3)		20 (3)	
	$E \rightarrow N$	10 (13)	20 (23)	7 (10)	27 (26)	10 (10)	37 (26)	10 (10)	40 (23)	13 (13)	43 (26)
	$E \rightarrow L$	7 (10)		13 (13)		17 (13)		13 (10)		10 (10)	
$N \rightarrow$	$N \rightarrow E$	10 (10)		17 (13)		23 (13)		27 (23)		27 (20)	
	$N \rightarrow N$	30 (23)	47 (40)	27 (30)	47 (46)	13 (37)	39 (50)	13 (40)	40 (63)	17 (33)	44 (56)
	$N \rightarrow L$	7 (7)		3 (3)		0 (0)		0 (0)		0 (3)	
$L \rightarrow$	$L \rightarrow E$	7 (13)		3 (10)		0 (7)		0 (0)		0 (3)	
	$L \rightarrow N$	10 (7)	34 (37)	13 (7)	26 (27)	13 (3)	26 (23)	13 (10)	20 (13)	10 (10)	13 (16)
	$L \rightarrow L$	17 (17)		10 (10)		13 (13)		7 (3)		3 (3)	

декса Niño4 в течение последних десятилетий проявляется тенденция увеличения повторяемости лет с началом в фазе Эль-Ниньо ($E \rightarrow$). Это связано с увеличением повторяемости режимов $E \rightarrow E$. При этом отмечена тенденция уменьшения повторяемости лет с началом в фазе Ла-Нинья ($L \rightarrow$). Это связано с уменьшением повторяемости режимов $L \rightarrow L$, а также перехода $L \rightarrow E$.

При использовании индекса Niño3 отмечена тенденция увеличения повторяемости лет с началом в нейтральной фазе ($N \rightarrow$). Это существенно связано с увеличением повторяемости с переходами $N \rightarrow E$. При этом, как и при использовании индекса Niño4, отмечена тенденция уменьшения повторяемости лет с началом в фазе Ла-Нинья ($L \rightarrow$), что также связано с уменьшением повторяемости режимов $L \rightarrow L$ и перехода $L \rightarrow E$.

В табл. 2 представлены соответствующие оценки вероятности разных фазовых переходов для разных типов Эль-Ниньо для различных 30-летних периодов с систематизацией по фазе конца перехода. Согласно табл. 2 при использовании индекса Niño4 в течение последних десятилетий проявляется тенденция увеличения повторяемости лет с концом в фазе Эль-Ниньо ($\rightarrow E$). Это связано с увеличением повторяемости режимов $E \rightarrow E$ и переходов $N \rightarrow E$, несмотря на уменьшение повторяемости переходов $L \rightarrow E$. При этом отмечена тенденция уменьшения повторяемости лет с концом в фазе Ла-Нинья ($\rightarrow L$). Это связано

с уменьшением повторяемости режимов $L \rightarrow L$, а также переходов $N \rightarrow L$.

При использовании индекса Niño3 отмечена тенденция увеличения повторяемости лет с концом в нейтральной фазе ($\rightarrow N$). При этом, как и при использовании индекса Niño4, отмечена тенденция уменьшения повторяемости лет с концом в фазе Ла-Нинья ($\rightarrow L$), что существенно связано с уменьшением повторяемости режимов $L \rightarrow L$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные оценки с использованием традиционных индексов, характеризующих процессы Эль-Ниньо, свидетельствуют не только о различии повторяемости фазовых переходов для явлений Эль-Ниньо разного типа, но и о существенных различиях тенденций их изменения в течение последних семи десятилетий (1950–2019 гг.).

Для последних десятилетий с использованием индекса Niño4 отмечены тенденции увеличения повторяемости лет с началом ($E \rightarrow$) и концом ($\rightarrow E$) в фазе Эль-Ниньо. В значительной степени это связано с увеличением повторяемости режимов $E \rightarrow E$. Наряду с этим выявлены тенденции уменьшения повторяемости лет с началом ($L \rightarrow$) и концом ($\rightarrow L$) в фазе Ла-Нинья. Это существенно связано с уменьшением повторяемости режимов $L \rightarrow L$.

Таблица 2. Оценки вероятности (%) разных фазовых переходов для явлений Эль-Ниньо, определяемых индексами Niño4 и Niño3, для различных 30-летних периодов с систематизацией по фазе конца перехода

Nino4 (Nino3)		Оценки вероятности фазовых переходов в разные фазы Эль-Ниньо (%)									
		1950–1979 гг.		1960–1989 гг.		1970–1999 гг.		1980–2009 гг.		1990–2019 гг.	
→E	$E \rightarrow E$	3 (0)	20 (23)	7 (3)	27 (26)	10 (3)	33 (23)	17 (3)	44 (26)	20 (3)	47 (26)
	$N \rightarrow E$	10 (10)		17 (13)		23 (13)		27 (23)		27 (20)	
	$L \rightarrow E$	7 (13)		3 (10)		0 (7)		0 (0)		0 (3)	
→N	$E \rightarrow N$	10 (13)	50 (43)	7 (10)	47 (47)	10 (10)	36 (50)	10 (10)	36 (60)	13 (13)	40 (56)
	$N \rightarrow N$	30 (23)		27 (30)		13 (37)		13 (40)		17 (33)	
	$L \rightarrow N$	10 (7)		13 (7)		13 (3)		13 (10)		10 (10)	
→L	$E \rightarrow L$	7 (10)	31 (34)	13 (13)	26 (26)	17 (13)	30 (26)	13 (10)	20 (13)	10 (10)	13 (16)
	$N \rightarrow L$	7 (7)		3 (3)		0 (0)		0 (0)		0 (3)	
	$L \rightarrow L$	17 (17)		10 (10)		13 (13)		7 (3)		3 (3)	

С использованием индекса Niño3 в последние десятилетия проявляется тенденция увеличения повторяемости лет с началом ($N \rightarrow$) и концом ($\rightarrow N$) в нейтральной фазе. Это существенно связано с увеличением повторяемости с переходами $N \rightarrow E$. При этом, как и при использовании индекса Niño4, отмечена тенденция уменьшения повторяемости лет с началом ($L \rightarrow$) и концом ($\rightarrow L$) в фазе Ла-Нинья, что также существенно связано с уменьшением повторяемости режимов $L \rightarrow L$.

Для разностороннего анализа оценок, полученных с использованием традиционных индексов Niño3 и Niño4, целесообразно использовать разные методы выделения явлений Эль-Ниньо (см., напр., [21, 41]). Стоит отметить, что согласно полученным оценкам особенности изменений фазовых переходов явлений Эль-Ниньо, характеризующихся часто используемым индексом Niño3.4, могут существенно отличаться и отличаются от соответствующих особенностей изменений двух разных проявлений процессов, характеризующихся индексами Niño4 и Niño3. Для исследования физических механизмов, с которыми связаны отмеченные изменения, и оценки возможных тенденций в будущем необходимы модельные расчеты. При этом следует учитывать, в частности, возможное существенное смещение в годовом ходе интерва-

лов экстремальных проявлений процессов Эль-Ниньо в случае значительных глобальных изменений [41].

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Данная работа выполнена в рамках проекта РФФ (19-17-00240). Особенности последних лет анализировались в рамках проекта, поддержанного Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2020-776).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. (eds.). Cambridge, Cambridge University Press, 2013, 1535 p.
2. Bjerknes J. A possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature // Tellus. 1966. V. 18. P. 820–829.
3. Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific // Mon. Wea. Rev. 1969. V. 97. P. 163–172.
4. Trenberth K.E. The definition of El Nino // BAMS. 1997. V. 78. P. 2771–2777.

5. Neelin J.D., Battisti D.S., Hirst A.C., Jin F.-F., Wakata Y., Yamagata T., Zebiak S.E. ENSO theory // *J. Geophys. Res.* 1998. V. 103. P. 14261–14290.
6. Арне К., Бенетссон Л., Голицын Г.С. и др. Анализ и моделирование изменений гидрологического режима в бассейне Каспийского моря // Доклады АН. 1999. Т. 366. № 2. С. 248–252.
7. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Клещенко Л.К., Аристова Л.Н. О связи климатических аномалий на территории России с явлением Эль-Ниньо – Южное колебание // *Метеорология и гидрология.* 1999. № 5. С. 32–51.
8. Мохов И.И., Елисеев А.В., Хворостьянов Д.В. Эволюция характеристик климатической изменчивости, связанной с явлениями Эль-Ниньо/Ла-Нинья // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2000. Т. 36. № 6. С. 741–751.
9. Latif M., Sperber K., Arblaster J., Braconnot P., Chen D., Colman A., Cubasch U., Cooper C., Delecluse P., DeWitt D., Fairhead L., Flato G., Hogan T., Ji M., Kimoto M., Kitoh A., Knutson T., LeTreut H., Li T., Manabe S., Marti O., Mechozo C., Meehl G., Power S., Roeckner E., Sirven J., Terray L., Vintzileos A., Voß R., Wang B., Washington W., Yoshikawa I., Yu J., Zebiak S. ENSIP: the El Nino simulation intercomparison project // *Clim. Dyn.* 2001. V. 18. P. 255–276.
10. Петросяни М.А., Гущина Д.Ю. Об определении явлений Эль-Ниньо и Ла-Нинья // *Метеорология и гидрология.* 2002. № 8. С. 24–35.
11. Mokhov I.I., Khvorostyanov D.V., Eliseev A.V. Decadal and longer term changes in El Nino - Southern Oscillation characteristics // *Intern. J. Climatol.* 2004. V. 24. P. 401–414.
12. Larkin N.K., Harrison D.E. On the definition of El Niño and associated seasonal average U.S. weather anomalies // *Geophys. Res. Lett.* 2005. V. 32. P. L13705.
13. McPhaden M.J., Zebiak S.E., Glantz M.H. ENSO as an integrating concept in earth science // *Science.* 2006. V. 314. P. 1740–1745.
14. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Исследование взаимного влияния процессов Эль-Ниньо - Южное колебание и Северо-Атлантического и Арктического колебаний нелинейными методами // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* 2006. Т. 42. № 5. С. 650–667.
15. Bronnimann S. Impact of El Nino – Southern Oscillation on European climate // *Rev. Geophys.* 2007. V. 45. RG3003.
16. Ashok K., Yamagata T. The El Nino with a difference // *Nature.* 2009. V. 461. P. 481–484.
17. Kug J.S., Jin F.F., An S.I. Two types of El Nino events: Cold tongue El Nino and warm pool El Nino // *J. Climate.* 2009. V. 22. P. 1499–1515.
18. Yeh S.-W. et al. El Niño in a changing climate // *Nature.* 2009. V. 461. P. 511–514.
19. Collins M. et al. The impact of global warming on the tropical Pacific Ocean and El Niño // *Nat. Geosci.* 2010. V. 3. P. 391–397.
20. Мохов И.И. Особенности формирования летней жары 2010 г. на Европейской территории России в контексте общих изменений климата и его аномалий // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2011. Т. 47. № 6. С. 709–716.
21. Takahashi K., Montecinos A., Goubanova K., Dewitte B. ENSO regimes: Reinterpreting the canonical and Modoki El Niño // *Geophys. Res. Lett.* 2011. V. 38. L10704.
22. Ham Y.-G., Kug J.-S. How well do current climate models simulate two types of El Niño? // *Clim. Dyn.* 2012. V. 39. P. 383–398.
23. Watanabe M. et al. Uncertainty in the ENSO amplitude change from the past to the future // *Geophys. Res. Lett.* 2012. V. 39. L20703.
24. Bellenger H., Guilyardi E., Leloup J., Lengaigne M., Vialard J. ENSO representation in climate models: From CMIP3 to CMIP5 // *Clim. Dyn.* 2014. V. 42. P. 1999–2018.
25. Kim S.T., Cai W., Jin F.F., Santoso A., Wu L., Guilyardi E., An S.-I. Response of El Nino sea surface temperature variability to greenhouse warming // *Nat. Clim. Change.* 2014. V. 4. P. 786–790.
26. Железнова И.В., Гущина Д.Ю. Отклик глобальной циркуляции атмосферы на два типа Эль-Ниньо // *Метеорология и гидрология.* 2015. № 3. С. 36–50.
27. Мохов И.И., Тимажев А.В. Оценки предсказуемости климатических аномалий в российских регионах в связи с явлениями Эль-Ниньо // Доклады АН. 2015. Т. 464. № 6. С. 722–726.
28. Latif M., Semenov V.A., Wonsun P. Super El Niños in response to global warming in a climate model // *Climatic Change.* 2015. V. 132. P. 489–500.
29. Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах в связи с глобальными изменениями климата // *Метеорология и гидрология.* 2016. № 2. С. 16–28.
30. Мохов И.И., Смирнов Д.А. Взаимосвязь вариаций глобальной приповерхностной температуры с процессами Эль-Ниньо/Ла-Нинья и Атлантическим долгопериодным колебанием // Доклады АН. 2016. Т. 467. № 5. С. 580–584.
31. Мохов И.И., Тимажев А.В. Оценки риска погодно-климатических аномалий в российских регионах в связи с явлениями Эль-Ниньо // *Метеорология и гидрология.* 2017. № 10. С. 22–33.
32. Cai W. et al. Increased variability of eastern Pacific El Niño under greenhouse warming // *Nature.* 2018. V. 564. P. 201–206.
33. Mokhov I.I., Timazhev A.V. Phase transitions for different El Niño types and periods // *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling.* E. Astakhova (ed.). 2019. Rep. No. 49. WCRP Rep. No. 12/2019. S. 6. P. 07–08.
34. Ren H.-L., Zuo J., Deng Y. Statistical predictability of Niño indices for two types of ENSO // *Clim. Dyn.* 2019. V. 52. P. 5361–5382.
35. Wang B., Xiao Luo X., Yang Y.-M., Sun W., Cane M.A., Cai W., Yeh S.-W., Liu J. Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño // *PNAS.* 2019. V. 116. P. 22512–22517.
36. Wang Y., Luo Y., Lu J., Liu F. Changes in ENSO amplitude under climate warming and cooling // *Clim. Dyn.* 2019. V. 52. P. 1871–1882.
37. Zhang Z., Ren B., Zheng J. A unified complex index to characterize two types of ENSO simultaneously // *Sci.*

- Реп. 2019. V. 9. 8373.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-44617-1>
38. Марчукова О.В., Лубков А.С., Воскресенская Е.Н. Качество воспроизведения событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья по разным массивам реконструированных данных температуры поверхности океана // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2020. Т. 65. Вып. 1. С. 96–120.
39. Мохов И.И. Аномальные зимы в регионах Северной Евразии в разных фазах явлений Эль-Ниньо // Доклады АН. 2020. Т. 493. № 2. С. 93–98.
40. Мохов И.И., Чернокульский А.В., Осипов А.М. Центры действия атмосферы Северного и Южного полушарий: особенности и изменчивость // Метеорология и гидрология. 2020. № 11. С. 5–23.
41. Carreric A., Dewitte B., Cai W. et al. Change in strong Eastern Pacific El Niño events dynamics in the warming climate // Clim. Dyn. 2020. V. 54. P. 901–918.
42. Beobide-Arsuaga G., Bayr T., Reintges A., Latif M. Uncertainty of ENSO-amplitude projections in CMIP5 and CMIP6 models // Clim. Dyn. 2021. V. 56. P. 3875–3888.

Changes in the Frequency of Phase Transitions of Different Types of El Niño Phenomena in Recent Decades

I. I. Mokhov^{1, 2, *}

¹ A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Pyzhevsky 3, Moscow, 119017 Russia

² Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory 1-2, GSP-1, Moscow, 119991 Russia

*e-mail: mokhov@ifaran.ru

Estimates of changes in the frequency of transitions between different phases of El Niño processes over the past seven decades (1950–2019) have been obtained. Positive (El Niño phase) and negative (La Niña phase) surface temperature anomalies in the equatorial latitudes of the Pacific Ocean are associated with the strongest interannual variations in global surface temperature. Significant differences in trends were revealed for different types of El Niño and La Niña phenomena, characterized by surface temperature anomalies in the equatorial latitudes of the eastern (Niño3) and central (Niño4) regions of the Pacific Ocean. The tendencies of an increase in the frequency of occurrence of El Niño phases using the Niño4 index and neutral phases using the Niño3 index are noted. At the same time, for both types of El Niño, there is a tendency towards a decrease in the frequency of occurrence of La Niña phases. A significant contribution to the noted trends is associated with the regimes of a long, at least one year, manifestation of the corresponding phases.

Keywords: climate change, different types of El Niño phenomena, frequency of phase transitions