СОЧЕТАНИЕ РАЗНЫХ ТИПОВ ЛА-НИНЬЯ С ТИХООКЕАНСКОЙ ДЕКАДНОЙ ОСЦИЛЛЯЦИЕЙ

О.В. Марчукова, Е.Н. Воскресенская

Институт природно-технических систем, РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28 Email: olesjath@mail.ru

По данным температуры поверхности океана из глобального массива HadISST на пространственной сетке $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ в работе для периода с 1900 по 2014 гг. проведен анализ особенностей событий Ла-Нинья в разные фазы с Тихоокеанской декадной осцилляции с учетом двух типов Ла-Нинья и показаны их различия в повторяемости событий, продолжительности и интенсивности. Проявления особенностей поведения разных типов Ла-Нинья, характерные положительной и отрицательной фазам Тихоокеанской декадной осцилляции продемонстрировано на примерах аномалий среднемесячных полей геопотенциальных высот на 500 мб изобарической поверхности и приземной температуры воздуха с использованием данных реанализа 20 столетия V2с за тот же период. Ключевые слова: Тихоокеанская декадная осцилляция, Ла-Нинья, Эль-Ниньо, Тихий океан, Северо-Атлантическое колебание, глобальные отклики

Поступила в редакцию: 07.02.2019. После доработки: 25.03.2019.

Введение. Эль-Ниньо - Южное колебание (ЭНЮК) и Тихоокеанская декадная осцилляция (ТДО) являются основными модами глобального климата на межгодовом и десятилетнем масштабе. Мода ТДО характеризует климатическую изменчивость в системе океанатмосфера между 20° и 60° с.ш. северной части Тихого океана [1, 2], а мода ЭНЮК – в экваториальной зоне Тихого океана, оказывая существенное дальнодействующее влияние на состояние климата и окружающей среды [3]. ЭНЮК включает в себя два эпизода: теплый, Эль-Ниньо (ЭН) и холодный, Ла-Нинья (ЛН) [4]. Исследования низкочастотных колебаний ТДО, модулирующих ЭНЮК, появились в конце XX века [5-7]. Позже, например, в [8], отмечено, что ЭН чаще возникают в положительную фазу ТДО, а ЛН – в отрицательную фазу ТДО. В [9, 10] показано, что ТДО с участием ЭНЮК способна модулировать глобальные климатические отклики за тысячи километров от Тихого океана через, так называемый. «атмосферный мост».

Однако более корректные оценки глобальных откликов ЭН и ЛН по оценкам многих авторов в последние 20 лет получаются при учете их особенностей и классификации. В последние два десятилетия вырос интерес к изучению разных

типов ЭНЮК. В настоящее время в качестве одной из гипотез принято наличие двух типов: Восточно-Тихоокеанского (ВТ) и Центрально-Тихоокеанского (ЦТ), как ЭН [11-13], так и ЛН [14-16]. В случае ВТ типа ЭН и ЛН максимально развитая аномалия ТПО формируется на востоке экваториальной зоны Тихого океана, а при ЦТ типе – в его центре. Поскольку многими учеными отмечалась важная модулирующая роль ТДО ЭН, при этом рассмотрена связь разных фаз ЭНЮК с ТДО [17]. Комбинация же фаз ТДО с событиями ЛН мало изучена. Целью настоящей работы является исследование особенностей событий ЛН с учетом их классификации в положительную и отрицательную фазы ТДО в период 1900-2014 гг., и анализ их глобальных проявлений в атмосферных полях.

Данные и методы. Для исследования событий ЛН двух типов (ВТ и ЦТ) в работе используются три среднемесячных глобальных поля данных: температуры поверхности океана (ТПО) из массива HadISST на пространственной сетке $1^{\circ}\times1^{\circ}$ с 1870 по 2014 гг. [18], а также данные геопотенциала на изобарической поверхности (ГИП) 500 мб и приземной температуры воздуха (ПТВ) из массива реанализа 20 столетия (20th Century

Reanalysis V2c) с шагом сетки $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ за период с 1900 по 2016 гг. [19].

По данным поля ТПО в районе Nino3.4 с помощью иерархического метода кластерного анализа уточнены годы событий ВТ и ЦТ типов событий ЛН за период с 1900 по 2014 гг., идентифицированные ранее в работе [20]. К ним относятся 12 событий ЛН ЦТ типа (1933-1934, 1949–1950, 1950–1951, 1973–1974, 1975-1976, 1983-1984, 1984-1985, 1988-1989, 1998–1999, 1999–2000, 2010–2011, 2011-2012 гг.) и 12 событий ВТ типа 1916–1917, (1909-1910,1924–1925, 1938–1939, 1942–1943, 1954–1955, 1955– 1956, 1964–1965, 1967–1968, 1970–1971, 1995–1996, 2007–2008 гг.).

Кроме этого, использовался индекс ТДО с официального сайта NOAA.

Из всех рядов данных исключена сезонная изменчивость и линейный тренд. Исследование особенностей аномалий атмосферных полей, соответствующих событиям ЛН ВТ и ЦТ, происходящим на фоне положительной и отрицательной фаз ТДО проводилось методом композитов.

Результаты исследования. Принимая ТДО как смену холодной и теплой фаз каждые приблизительно 20–30 лет, отметим, что в период XX в. отмечено три перехода с одного режима на другой: 1916 г. (начало теплой фазы), 1947 г. (начало холодной фазы) и 1977 г. (начало теплой фазы). Для визуализации процессов ТДО на рис. 1 представлены графики межгодовой и десятилетней изменчивости индекса ТДО для периода 1900–2014 гг.

Для первого масштаба временной ряд индекса сглажен 13-месячным скользящим, а для второго 11-летним скользящим осреднением. На том же рисунке приведен график изменчивости индекса ЭН, отрицательные значения, соответствующие ЛН, выделены синим цветом и указаны типы событий: ВТ или ЦТ. Отметим, что в течение анализируемого периода дважды выделялась положительная фаза ТДО и единожды отрицательная.

Для первого масштаба временной ряд индекса сглажен 13-месячным скользящим, а для второго 11-летним скользящим осреднением. На том же ри-

сунке приведен график изменчивости индекса ЭН, отрицательные значения, соответствующие ЛН, выделены синим цветом и отмечены типы событий: ВТ или ЦТ. Отметим, что в течение указанного периода дважды выделялась положительная фаза ТДО и единожды отри-Совместное рассмотрение пательная. межгодовой изменчивости индекса ТДО и Nino3.4 показывает, что время наступления ЛН преимущественно совпадает с отрицательными аномалиями ТДО за исключением события 1938 г. Что касается десятилетнего масштаба ТДО, то особенности характеристик ЛН в его отрицательную и положительную фазы были рассмотрены более подробно.

Для трех 30-летних периодов ТДО получены следующие композитные характеристики: общее количество и продолжительность ЛН (количество месяцев, в течение которых пороговая отметка индекса ЭН не превышала -0,5°C), а затем его распределение по типам (ВТ и ЦТ), накопленным суммам средней интенсивности аномалий ТПО, средней интенсивности аномалий ТПО, средней продолжительности событий и вклада ВТ и ЦТ в суммарную среднюю интенсивность ЛН. Средняя интенсивность событий ЛН рассчитывалась, как среднее от накопленной суммы среднемесячных аномалий за время существования каждого события. Наиболее показательные оценки сведены в табл. 1. Прокомментируем их. Количество ЛН в положительную фазу как в начале, так и в конце ХХ в. на 30% больше, чем в положительную. При рассмотрении количества с учетом типов, получилось, что оно неравномерно распределялось: 1 ЦТ ЛН и 4 BT ЛН в первую положительную фазу ТДО, а во вторую 4 и 1, соответственно.

Одним из объяснений этого может служить улучшение качества данных для центра Тихого океана, связанное с началом спутниковой эры, а затем со стартом специализированной программы исследования тропической зоны Тихого океана (ТОGA), в рамках которой вдоль экватора были выставлены океанографические буи. Пропорция в распределении типов ЛН в отрицательную фазу примерно равномерная 3 и 4. Особое внимание обратим на продолжительность со-

бытий в отрицательную фазу ТДО. Их средняя величина составляет 16 мес., за счет того, что в этот период ЛН имеют преимущественно двухлетний характер с двумя выраженными осенне-зимними максимумами, в то время как в положительную фазу наблюдается больше однолетних событий с одним максимумом. Анализируя рассмотренную продолжительность по типам, отметим, что в отрицательную фазу ТДО время существования ЦТ и ВТ типов примерно одина-

ково (15 и 16 мес.). По интенсивности (усредненная по количеству событий сумма среднемесячных аномалий ТПО) в эту фазу ТДО аномалии ЛН ВТ (-2,86) значительно сильнее по сравнению с ЛН ЦТ (-1,02). Что касается положительной фазы, то в начале XX в. время существования событий было менее продолжительно. В то же время, и ВТ, и ЦТ ЛН, менее интенсивны. При этом интересно отметить, что более интенсивными ЛН ЦТ стали после 1970.

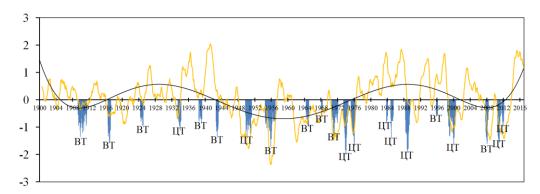


Рис. 1. Графики изменчивости индекса ТДО, сглаженные скользящим 13-месячным (оранжевая линия), и 11-летним (черная линия) осреднением, а также ежемесячные аномалии ТПО без сглаживания в районе Nino3.4, соответствующие ЛН (синие фрагменты)

Таблица 1. События Ла-Нинья в периоды разных фаз ТДО на десятилетнем масштабе

Период	Фаза ТДО	Кол-во ЛН	Кол-во ЛН ЦТ	Кол-во ЛН ВТ	Ср. продолжитель- ность ЛН, мес.	Ср. продолжитель- ность ЛН ЦТ, мес.	Ср. продолжитель- ность ЛН ВТ, мес.	Ср. интенсивность аномалий ТПО, °С	Ср. интенсивность аномалий ТПО ЦТ,	Ср.интенсивность аномалий ТПО ВТ, °C
1916–	<<+>>>	5	1	4	9	9	10	-0,84	-0,8	-0,88
1946										
1947–	<<->>>	7	3	4	16	15	16	-1,94	-1,02	-2,86
1976										
1977–	«+»	5	4	1	11	13	5	-0,74	-0,92	-0,54
2006										

Для демонстрации глобальных откликов сочетания двух типов ЛН с фазами ТДО для периода 1900—2014 гг. анализировались композитные карты аномалий ГИП 500 мб и ПТВ в период с ноября «0» г. по февраль «+1» г. (период, когда отрицательные аномалии ТПО достигают зрелой фазы в экваториальной зоне Тихого океана), представленные на рис. 2 и 3. В положительную фазу ТДО ЛН в ноябре и декабре в поле ГИП 500 мб образуется отрицательная аномалия в высоких широтах южного полушария, а в северном — положительная. В зимние месяцы она смещается на юго-восток, усиливая Северо-Атлантическое Колебание (САК). Сочетание ЛН с отрицательной фазой ТДО сопровождается противоположной картиной: в южном полушарии образуется положительная

аномалия ГИП 500 мб, а в северном – отрицательная аномалия, которая смещается на юго-восток с Арктики через Северную Америку к Атлантике (рисунки не представлены). Это приводит к ослаблению САК в зимний период с января по начало марта.

Принимая во внимание типы ЛН, получается следующее (рис. 2 и 3). В положительную фазу ТДО при ЦТ ЛН отрицательные аномалии ГИП 500 мб в высоких широтах южного полушария более выражены, чем при событиях ВТ типа. При этом образовавшаяся положительная аномалия ГИП 500 мб в северной части Тихого океана в декабре феврале смещается на юго-восток Северной Атлантики, тем самым усиливая САК. В результате, в январе-феврале над северо-западной частью Европы располагаются аномалии ТПВ до 2°С. Т.е., в положительную фазу ТДО более выражены аномалии ЦТ типа ЛН.

В отрицательную фазу ТДО в зимние месяцы лет ВТ ЛН, в декабре – марте в северной части Тихого океана образуется положительная аномалия ГИП 500 мб, и отрицательная – над Северной Америкой. Образовавшийся диполь приводит к втягиванию холодного воздуха из Арктики на континент. Поэтому в районах Канады и в северо-западной части США в течение зимнего периода устойчиво располагается отрицательная аномалия ТПВ. САК ослаблено, что приводит к холодным зимам в северо-западной части Европейского региона. ЦТ в отрицательную фазу выражен слабее.

Выводы. ТДО в отрицательную фазу сопровождается увеличением на 30% количества ЛН и почти втрое их интенсивности по сравнению с его положительной фазой.

Анализ композитных величин характеристик выделенных типов ЛН в сочетании с фазами ТДО обнаружил их некоторые особенности.

В отрицательную фазу ТДО средняя продолжительность ЦТ и ВТ примерно одинакова (15 и 16 мес.). Преимущественное время существования событий – 2 года сопровождается двумя осеннезимними максимумами амплитуды.

В положительную фазу ЛН продолжаются не более одного года и имеют

один максимум в конце осени-начале зимы. При этом в пропорции количества событий ВТ и ЦТ и их интенсивности в начале и конце века отмечены заметные изменение: увеличилось количество событий ЦТ и почти вдвое увеличилась их средняя интенсивность, однако эта интенсивность все равно меньше по сравнению с отрицательной фазой.

Отмеченные особенности имеют характерные глобальные климатические отклики, и, в частности, на территории Европы.

Положительной фазе ТДО в зимние месяцы характерны аномально теплые условия на севере Европы и холодные в ее южных районах. Это особенно выражено при ЛН ВТ типа в январе и феврале в северо-западной части Европы.

Отрицательной фазе ТДО ЛН в зимний период характерны условия, противоположные положительной фазе. В годы событий ЛН ВТ типа особенно выражены аномально холодные зимы на северо-западе Европы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Zhang Y., Wallace J.M., Battisti D.S. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93 // Journal of climate, 1997. Vol. 10, № 5. P. 1004–1020.
- 2. *A Pacific* interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production / N.J. Mantua, S.R. Hare, Y. Zhang [et al.] // Bull. Amer. Meteor. Soc., 1991. Vol. 78, № 6. P. 1069–1079.
- 3. *Goddard L., Dilley M.* El Niño: Catastrophe or opportunity // J. Clim., 2005. Vol. 18, № 5. P. 651–665.
- 4. *Philander S.G.* El Niño, La Niña and the Southern Oscillation // Academic Press. San Diego, CA. 1990, 289 p.
- 5. Wang, B. Interdecadal changes in El Nino onset in the last four decades // J. Climate, 1995. Vol. 8. P. 267–285.
- 6. *Kodera K*. Consideration of the origin of the different midlatitude atmospheric responses among El-Nino events // J. Meteorol. Soc. Jap., 1998. Vol. 76, № 3. P. 347–361.
- 7. Gershunov A., Barrnett T. Interdecadal modulation of ENSO teleconnections // Bull. AMS., 1999. Vol. 79, № 12. P. 2715–2725.

- 8. Lin R.P., Zheng F., Dong X. ENSO frequency asymmetry and the Pacific Decadal Oscillation in observations and 19 CMIP5 models // Adv. Atmos. Sci., 2018. Vol. 35, № 5. P. 495–506.
- 9. Goodrich G.B. Influence of the Pacific Decadal Oscillation on winter precipitation and drought during years of neutral ENSO in the Western United States // Weather Forecast, 2007. Vol. 22. P. 116–124.
- 10. Lee H.S., Yamashita T., Mishima T. Multi-decadal variations of ENSO, the Pacific Decadal Oscillation and tropical cyclones in the western North Pacific // Prog. Oceanogr., 2012. Vol. 105. P. 67–80.
- 11. *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. Clim., 2009. Vol. 22. P. 1499–1515.
- 12. *Kao H.Y.*, *Yu J.Y.* Contrasting eastern Pacific and central Pacific types of ENSO // J. Clim., 2009. Vol. 22. P. 615–632.
- 13. Воскресенская Е.Н., Лубков А.С., Марчукова О.В. Пространственная классификация Эль-Ниньо и условия формирования события 2015 года // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2015. Вып. 2 (22). С. 80–90.
- 14. Yuan Y., Yan H.M. Different types of La Nina events and different responses

- of the tropical atmosphere // Chin. Sci. Bull., 2013. V. 58. № 3. P. 406–41.
- 15. *Impacts* of two types of La Niña on the NAO during boreal winter / W. Zhang, L. Wang, B. Xiang [et al.] // Climate Dynamics, 2014. V. 44. P. 1351–1366.
- 16. Воскресенская Е.Н., Марчукова О.В. Пространственная классификация Ла-Нинья // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. М.: ФГУП Изд-во «Наука», 2017. Т. 53. № 1. С. 125–134.
- 17. Kim J.W., Yeh S.W., Chang E.C. Combined effect of El Niño-Southern Oscillation and Pacific Decadal Oscillation on the East Asian winter monsoon // Clim. Dyn., 2014. Vol. 42. P. 957–971.
- 18. *Global* analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century / N.A. Rayner, D.E. Parker, E.B. Horton [et al.] // J. Geophys. Res. 2003. V. 108 (D14). 4407.
- 19. *Compo G.P.*, *Whitaker J.S.*, *Sardeshmukh P.D.* Feasibility of a 100 year reanalysis using only surface pressure data // Bull. Amer. Met. Soc., 2006. Vol. 87. P. 175–190.
- 20. Ла-Нинья 2016 года в рамках пространственной классификации событий / Марчукова О.В., Воскресенская Е.Н., Маслова В.Н. [и др.] // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2016. Вып. 6 (26). С. 84–92.

THE COMBINATION OF DIFFERENT LA-NINA TYPES OF AND PACIFIC DECADAL OSCILLATION

O.V. Marchukova, E.N. Voskresenskaya

Institute of Natural and Technical Systems, Russian Federation, Sevastopol, Lenin St., 28

Using SST from global HadISST data set (1° x 1° space resolution) the analyses of La-Nina (LN) features for two phases of Pacific Decadal Oscillation (PDO) in 1900 - 2014 were done taking into account two LN type: Central Pacific (CP) and Eastern Pacific (EP). Their differences in frequency, duration and intensity of events were found. The manifestations of LN types for negative and positive PDO is demonstrated for global monthly anomalies of 500 mb geopotential heights (HPH 500) and air temperature from 20th Century Reanalysis V2c data sets in the same period.

Negative PDO phase is accompanied by 30% raising of LN number and about 3 times growth of LN intensity in comparison with positive PDO phase. During negative PDO phase the typical time of their existing is 2 years having 2 autumn-winter maxima. The positive PDO phase is accompanied by 1 year LN duration having one maximum in the mutual autumn-winter time. The proportion of CP and EP LN number of events and their intensity between first and second positive PDO phase in XX century has the significant differences: the LN frequency became higher, the intensity became twice more. However the LN intensity in positive PDO is much less in comparison with LN in negative PDO phase.

Keywords: Pacific Decadal Oscillation, La Niña, El Niño, Equatorial Pacific, global manifestations, North Atlantic Oscillation.

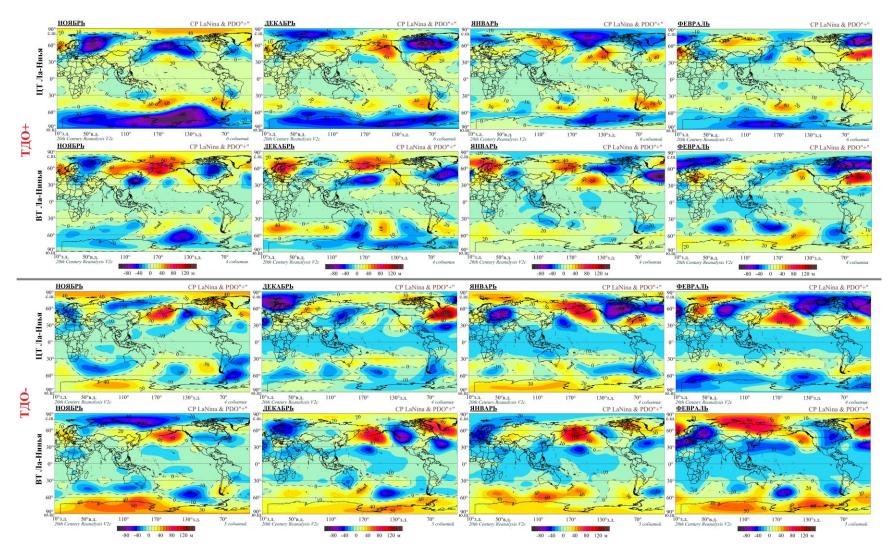


Рис. 2. Сочетание положительной и отрицательной фаз ТДО на десятилетнем масштабе с ВТ и ЦТ типами Ла-Нинья на примере полей аномалий геопотенциальных высот 500 мб уровня для ноября — февраля

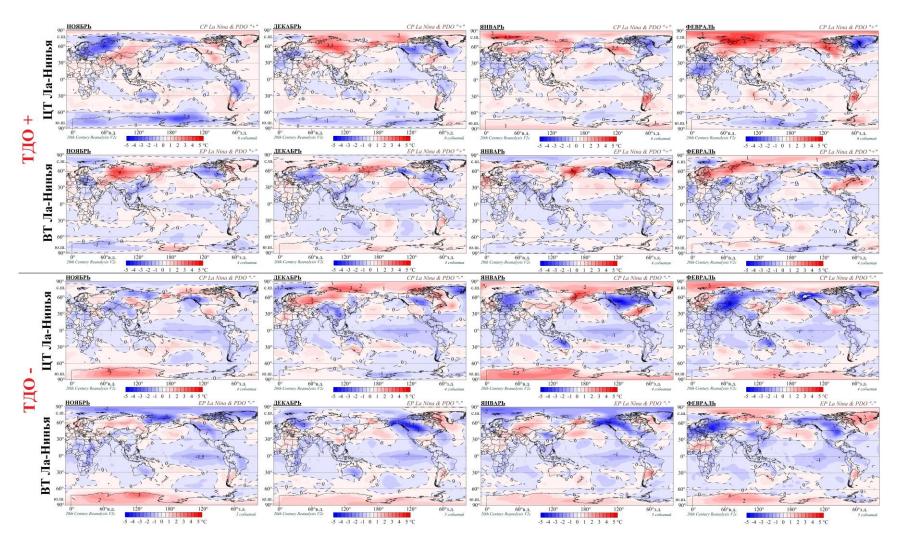


Рис. 3. Сочетание положительной и отрицательной фаз ТДО на десятилетнем масштабе с ВТ и ЦТ типами Ла-Нинья на примере полей аномалий приземной температуры воздуха для ноября – февраля