

СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ ЭЛЬ-НИНЬО 2015-2016 ГОДОВ И ЕГО ВЕРИФИКАЦИЯ

*О.В. Марчукова, Е.Н. Воскресенская,
А.С. Лубков*

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

Статья посвящена построению оперативного прогноза события Эль-Ниньо 2015-2016 гг., а также и его верификации на основе пространственной классификации событий Эль-Ниньо и статистических методов прогноза с использованием современных данных о среднемесячных значениях температуры поверхности океана из массива NOAA_OI_SST_V2.

Введение. В течение последних двух десятилетий различные крупномасштабные климатические модели (на сегодняшний день используется 17 динамических и 9 статистических моделей [1]) сфокусированы на мониторинге и прогнозировании квазициклического феномена Эль-Ниньо – Южное Колебание (ЭНЮК), которое включает в себя два эпизода: теплый (Эль-Ниньо) и холодный (Ла-Нинья) [2, 3]. Несмотря на усовершенствование подходов моделирования и технологий мониторинга характеристик Эль-Ниньо из космоса и в океане, прогнозирование этого события остается несовершенным.

Последнее из событий Эль-Ниньо, зафиксированных перед событием 2015-2016 гг., было Эль-Ниньо 2009-2010 гг. При этом, несмотря на некоторые утверждения отдельных специалистов, высказывающие мысль о том, что нынешние события становятся более интенсивными, оно по своей силе к таковым не относилось. Самым сильным событием в современной литературе называется Эль-Ниньо 1997-1998 гг.

Что касается наблюдаемого события 2015-2016 гг., отметим, что уже в начале 2014 г. специалисты, занимающиеся

прогнозами Эль-Ниньо, начали писать о возможном развитии крупного события в 2015 г. Были представлены прогнозы возможного Эль-Ниньо, полученные на основе информации, предоставленной прогнозистами из разных климатических центров. 11 сентября 2015 г. в статье [4] было сказано, что развивающееся Эль-Ниньо 2015-2016 гг. может стать "одним из самых сильных", то есть интенсивнее события 1997-1998 гг. Однако, в работах [5, 6] было показано, что Эль-Ниньо 2015-2016 гг. достигнет своего пика в конце 2015 г. и будет по интенсивности характеризоваться скорее, как «от умеренного до сильного» события, чем одним из сильнейших. Интересно при этом отметить, что наблюдаемые атмосферные и океанические условия перед Эль-Ниньо 1997-1998 гг. были схожи с условиями, наблюдаемыми весной 2014 г. [1] и высказывались предположения о начале развития нового мощного события. Однако Эль-Ниньо началось только весной 2015 г. Несмотря на это, авторы настоящей работы, проводившие мониторинг и исследование данного события в течение всех этапов его формирования и эволюции, придерживаются мнения о том, что Эль-Ниньо 2015 г. по характеру развития является наиболее близким к единственному в истории наблюдений столь интенсивному событию. Их сходство проявляется в характере пространственного распространения аномалий температуры поверхности океана (АТПО), в степени интенсивности аномалий, в особенностях динамики их развития, а также, что является немаловажным, во времени начала (месяц года) события. В ходе проведения мониторинга АТПО в период 2014-2015 гг. анализировались температурные поля экваториальной зоны Тихого океана и их эволюция от месяца к месяцу с привлечением для сопоставления архивных исторических данных.

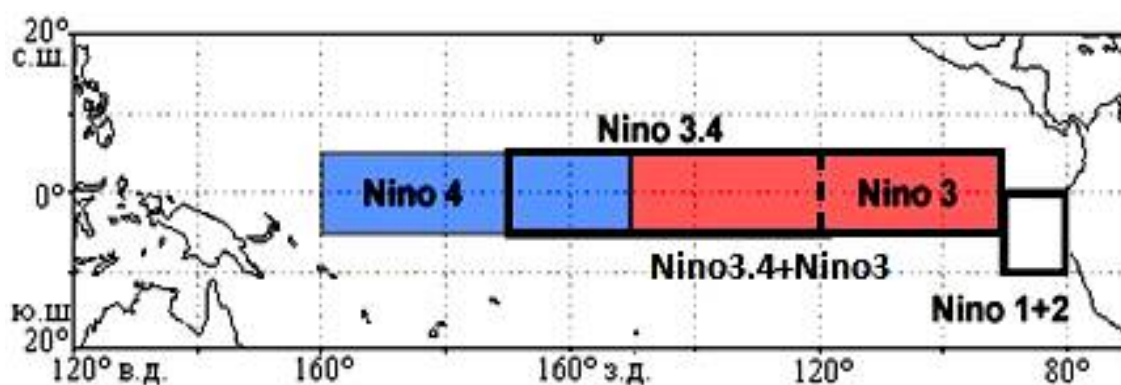
Основная цель настоящей работы – дать оперативный прогноз развития текущего события Эль-Ниньо в районе Nino3.4+Nino3 (5° с.ш. – 5° ю.ш. и 170° з.д. – 90° з.д.) в октябре 2015 г. на осно-

ве использования статистических методов, и провести его верификацию с реальным состоянием температурных аномалий в экваториальной зоне Тихого океана, наблюдавшихся в ходе эволюции события.

Данные. В работе для проведения анализа используются среднемесячные поля температуры поверхности океана (ТПО), полученные из современного массива *NOAA_OI_SST_V2* Национального управления океанических и атмосферных исследований (*NOAA*) в период с декабря 1981 г. по март 2016 г. Шаг

пространственной сетки этого массива составляет 1° [7]. В указанный массив заложена спутниковая информация о ТПО, поступающая на сервер один раз в 7 дней, и скорректированная с помощью метода Рейнольдса.

По данным массива *NOAA_OI_SST_V2* был рассчитан температурный индекс Эль-Ниньо в районе Nino3.4+Nino3 (рис. 1), представляющий собой естественную аномалию ТПО после исключения из рядов данных эффекта глобального потепления и сезонной изменчивости.



Р и с. 1. Районы Тихого океана, для которых рассчитываются температурные индексы Эль-Ниньо

Разработка метода прогноза. Для прогноза развития Эль-Ниньо 2015 г. в районе Nino3.4+Nino3 на основании пространственной классификации, проведенной в работах [8 – 13], был предложен следующий алгоритм построения прогностической статистической модели:

1. Определяется тренд, наилучшим образом аппроксимирующий фактические данные. Существенным моментом при этом является предложение использовать полиномиальный тренд, что позволяет сократить ошибку прогностической модели.

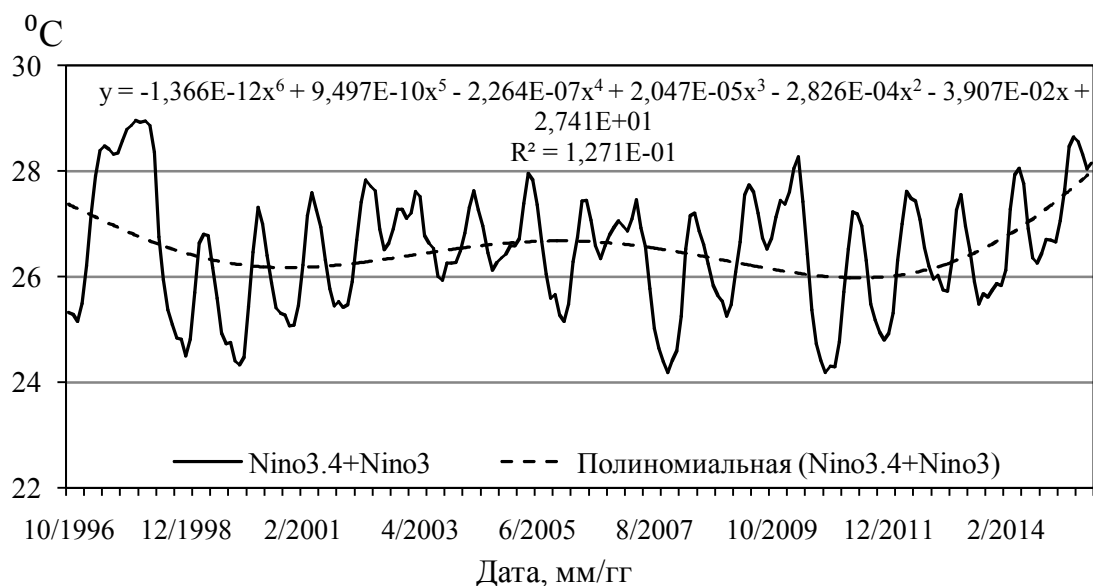
2. Вычитанием из фактических значений индекса значения тренда, определяются величины сезонной компоненты и корректируются ряды таким образом, чтобы их сумма была равна нулю.

3. Рассчитываются ошибки модели как разность между фактическими значениями и значениями модели.

4. Проводится построение модели прогнозирования: $F = T + S \pm E$, где F – прогнозируемое значение; T – тренд; S – сезонная компонента; E – ошибка модели.

5. На основе модели строится окончательный статистический прогноз изменения индекса Nino3.4+Nino3. Для этого предлагается использовать методы экспоненциального сглаживания, что позволяет учесть возможное будущее изменение тенденций, на основе которых построена трендовая модель.

В проведенной работе для индекса Nino3.4+Nino3 был получен полиномиальный тренд с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,13$ (рис. 2). Изменения ТПО в районе Nino3.4+Nino3 учитывались для промежутка с октября 1996 г. по сентябрь 2015 г. Таким образом, сезонная компонента рассчитывалась для 19 сезонов.



Р и с. 2. Ход среднемесячных значений ТПО в районе Nino3.4+Nino3 с октября 1996 г. по сентябрь 2015 г. и его полиномиальный тренд

Аддитивная модель прогноза была составлена следующим образом:

$$F_{\text{пр } t} = aF_{\phi(1997)} + (a-1)F_{\text{м } t}, \quad (1)$$

где $F_{\text{пр } t}$ – прогнозируемое значение аномалии ТПО; $F_{\phi(1997)}$ – фактическое значение аномалии ТПО при Эль-Ниньо 1997-1998 гг.; a – константа сглаживания; $F_{\text{м } t}$ – значение модели. В качестве предыдущего года был взят не 2014, а 1997, потому что именно в том году наблюдался Эль-Ниньо восточного типа.

Таким образом, по полученной модели (1) был спрогнозирован ряд значений индекса Nino3.4+Nino3 по массиву NOAA_OI_SST_V2 на 12 месяцев. На рис. 3 видно, что максимальная фаза Эль-Ниньо 2015-2016 гг. должна выпасть на октябрь-декабрь с пиком в ноябре. Была определена среднеквадратическая ошибка модели (E) по формуле

$$E = \frac{\sum O^2}{\sum (T + S)^2}, \quad (2)$$

где T – трендовое значение изменения ТПО в районе Nino3.4+Nino3; S – сезонная компонента; O – отклонения модели от фактических значений. Значение среднеквадратической ошибки (E) составило 0,09%. Величина полученной

ошибки позволяет говорить о том, что построенная модель хорошо аппроксимирует фактические данные, то есть, она вполне удовлетворительно отражает тенденции изменения среднемесячных значений ТПО в экваториальной зоне Тихого океана, определяющие события Эль-Ниньо, и является предпосылкой для построения прогнозов высокого качества.

Полученные результаты. В работе [10] на основании анализа индекса Nino3.4+Nino3 было определено, что началом события Эль-Ниньо 2015 г. явился апрель месяц. К этому времени аномалия ТПО составляла +0,76°C. Прогноз текущего Эль-Ниньо, представленный на рис. 3, был составлен в октябре 2015 г., когда был уже известен характер пространственного распределения положительной аномалии в экваториальной зоне Тихого океана. Для верификации составленного прогноза потребовалось полгода. Прогностическая модель с учетом тренда, сезонной компоненты и характера эволюции Эль-Ниньо 2015 г. определила фазу максимального развития, приходящуюся на октябрь-декабрь месяцы со сглаженным пиком в ноябре и декабре (+2,49°C и +2,50°C). Реальные данные индекса Nino3.4+Nino3, полученные из массива NOAA_OI_SST_V2

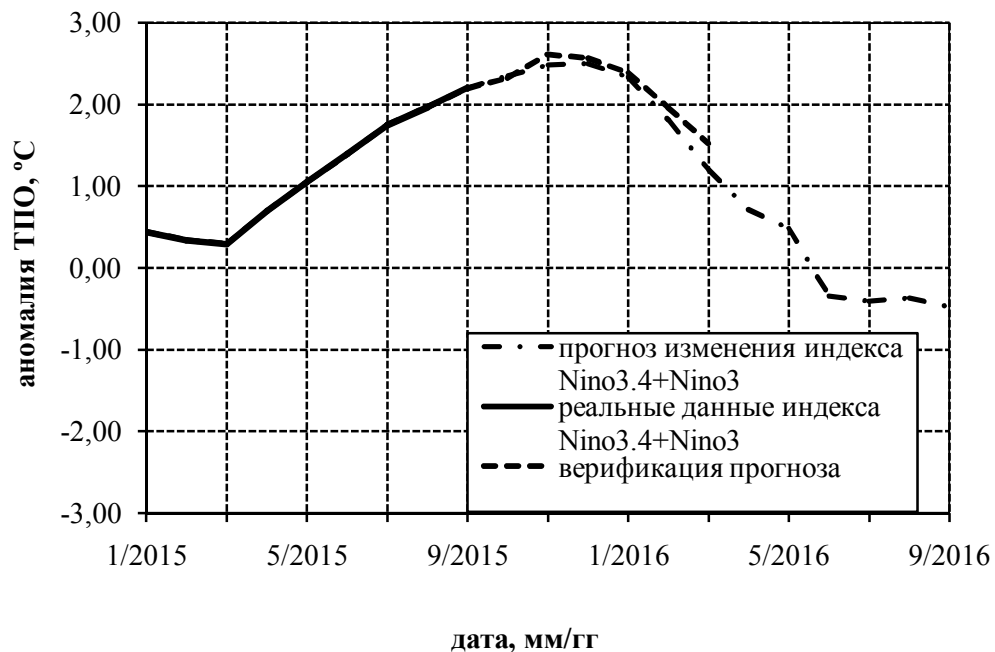
показали, что максимальная фаза развития приходилась на ноябрь-январь с явным пиком в ноябре ($+2,61^{\circ}\text{C}$). Напомним, что максимальная фаза развития Эль-Ниньо в данной работе – это три месяца с максимально-положительными значениями аномалий ТПО в районе $\text{Nino3.4}+\text{Nino3}$. Несмотря на небольшие неточности в определении фазы максимального развития, среднее отклонение спрогнозированного индекса от реального составило $+0,12^{\circ}\text{C}$, а максимальное – $+0,33^{\circ}\text{C}$, отмеченное в марте 2016 г. В действительности, получилось, что Эль-Ниньо 2015-2016 гг. интенсивнее, чем было спрогнозировано, однако, характер достижения его пика и спада практически точно описан выбранной моделью статистического прогноза.

Стоит отметить, что авторы работ [5, 6] оказались правы, когда сделали вывод, что Эль-Ниньо 2015-2016 гг. будет не самым сильным в истории по интенсивности. По нашим расчетам максимальное значения индекса $\text{Nino3.4}+\text{Nino3}$ события 1997-1998 гг. составило $+2,86^{\circ}\text{C}$, а для 2015-2016 гг. – $+2,61^{\circ}\text{C}$.

Обсуждение и выводы. В ходе проведенной работы разработан алгоритм статистического прогноза с учетом тренда, сезонной компоненты и пространст-

венной классификации событий Эль-Ниньо. В теории значение среднеквадратической ошибки полученной прогностической модели составило 0,09%. Эта величина полученной ошибки позволила говорить, что построенная модель будет хорошо аппроксимировать фактические данные, то есть вполне отражать тенденции изменения средимесячных значений ТПО в экваториальной зоне Тихого океана, определяющие события Эль-Ниньо, что сможет служить предпосылкой для построения прогнозов высокого качества. На практике средняя ошибка отклонения спрогнозированного ряда индекса $\text{Nino3.4}+\text{Nino3}$ массива *NOAA_OI_SST_V2* от реальных полученных значений составила 6,7%.

Несмотря на небольшие несовпадения в прогнозе фазы максимального развития Эль-Ниньо 2015-2016 гг., среднее отклонение спрогнозированного индекса от реально наблюдаемого составило $+0,12^{\circ}\text{C}$, а максимальное – $+0,33^{\circ}\text{C}$ (в марте 2016 г.). Эль-Ниньо 2015-2016 гг. оказался интенсивнее, чем было спрогнозировано, однако, характер его эволюции, достижения пика и последующего спада практически точно описан модернизированной моделью статистического прогноза.



Р и с. 3. Реальные значения аномалий индекса $\text{Nino3.4}+\text{Nino3}$ и спрогнозированные по массиву *NOAA_OI_SST_V2*

В заключение следует отметить, что текущее Эль-Ниньо очень похоже на событие 1997-1998 гг. При этом оно не является самым сильным по интенсивности значений аномалий в экваториальной зоне Тихого океана, отмечаемым в истории наблюдений. Однако от него следует ожидать таких же серьезных последствий в изменениях гидрометеорологических условий во всех регионах Земли, которые наблюдались в 1998-1999 гг. [12, 14]. Полученный в настоящей работе прогноз показывает следующее. Эль-Ниньо 2015-2016 гг. закончится в июне 2016 г., после чего в течение нескольких последующих месяцев в системе океан-атмосфера будет продолжаться нейтральное состояние. Увязывая характер текущего события со сценарием события 1997-1998 гг., осенью 2016 г. следует ожидать начало холодной фазы ЭНЮК – события Ла-Нинья, с соответствующим формированием максимально отрицательной аномалии в центре экваториальной зоны Тихого океана. Прогностическая модель для такого события на основании статистических методов, будет иметь другой вид. Поэтому для его своевременного оперативного описания следует развивать соответствующий метод прогноза уже в ближайшее время.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Институт природно-технических систем» при частичной финансовой поддержке РФФИ гранта № 16-05-00231.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Glantz M.H.* Shades of Chaos: Lessons Learned About Lessons Learned About Forecasting El Nino and Its Impacts // *Int. J. Disaster Risk Sci.* – 2015. – 6. – P. 94–103.
2. *Philander S.G.* El Niño, La Niña and the Southern Oscillation // *Academic Press. San Diego, CA.* –1990. – 289 p.
3. *McPhaden M.J., Zebiak S.E., Glantz M.H.* ENSO as an integrating concept in Earth science // *Science*, 2006. – V. 314. – № 5806. – P. 1740–1745.
4. *Klein K.* NOAA predicts strong El Niño // *Eos.* – 2015. – 96. doi:10.1029/2015EO035535.
5. *Varotsos C.A., Tzanis C.G., Sarlis N.V.* On the progress of the 2015–2016 El Niño event // *Atmos. Chem. Phys.* – 2016. – 16. – P. 2007–2011.
6. *Song Z., Shu Q., Bao Y. et. al.* The prediction on the 2015/16 El Niño event from the perspective of FIO-ESM // *Acta Oceanol. Sin.* – 2015. – V. 34. – № 12. – P. 67–71.
7. *Kalnay E. and Co-authors.* The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996. – V. 77. – P. 437–471.
8. *El Nino Modoki and its possible teleconnection / K. Ashok, S.K. Behera, S.A. Rao [et al.] // J Geophys. Res.*, 2007. 112: C11007.
9. *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. 22: P. 1499–1515.
10. *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. – 2 (22). – С. 80–90.
11. *Yuan Y., Yang H., Li C.Y.* Study of El Nino events of different types and their potential impact on the following summer precipitation in China (in Chinese) // *Acta Meteorol Sin*, 2012. 70: P. 467–478.
12. *Yuan Y., Yang S.* Impacts of different types of El Nino on the East Asian climate: Focus on ENSO Cycles // *J Clim*, 2012. doi: 10.1175/JCLI-D-11-00576.1.
13. *Singh A., Delcroix T., Cravatte S.* Contrasting the flavors of El-Nino-Southern Oscillation using sea surface salinity observations // *J. Geophys. Res.* – 2011. – 116. – C06016.
14. *Семенов Е.К.* Грандиозные последствия далекого «Эль-Ниньо» // *Россия в окружающем мире. Электронный сборник МНЭПУ.* – 1999.