ПРИЧИННАЯ СВЯЗЬ МЕЖДУ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИНДЕКСАМИ ОКЕАНА И СОЛНЕЧНОЙ ПОСТОЯННОЙ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 100 ЛЕТ

Скакун А.А., Волобуев Д.М.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

CAUSAL RELATIONSHIP BETWEEN OCEAN CLIMATE INDICES AND THE SOLAR CONSTANT OVER THE PAST 100 YEARS

Skakun A.A., Volobuev D.M.

Pulkovo Observatory, St.-Petersburg, Russia

We have estimated the causal relationship between TSI and ocean indices NAO, NINO 3.4, PDO over the past century using the method of conditional dispersions [1]. Pearson's correlation is usually used as a criterion for the presence or absence of a relationship between time series, but it is not always indicative for nonlinear systems like climate. Therefore, we implemented one of the methods of nonlinear dynamics to detect connections in the Sun-climate system. We use the conceptual ocean-atmosphere model [2] with TSI added as a forcing to calibrate the method. We show that the method provides expected results for connection of TSI and model temperature with and without noise in the time series. The result of the method in presence of noise in the model data seems to be very close to ones obtained further for the empirical series.

The method reveals that 1) NINO 3.4 and PDO depend on TSI; 2) NINO 3.4 depends on NAO; 3) the method cannot show presence or absence of a connection between NAO and TSI, and direction of the link between NINO 3.4 and PDO.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-237-240

Введение

Тепловое излучение Солнца, которое выражается в виде солнечной постоянной (TSI), несомненно, оказывает влияние на земной климат [3]. Достоверно неизвестно, насколько велико это влияние, т.к. земной климат является сложной системой со многими составляющими. Кроме того, вариации амплитуды TSI малы по сравнению со средним значением 1361 Вт м^{-2} и составляют всего десятые доли процента. Это значит, что необходим какой-то механизм усиления сигнала солнечной активности, чтобы его вклад в климатическую систему стал заметен. Подобные нелинейные механизмы усиления влияния TSI могут существовать не только в приполярных областях [4], но и в тропической атмосфере и в океане [5], т.е. локальный климат в океанах может быть чувствителен к относительным вариациям амплитуды TSI. Состояние океанов описывается с помощью эмпирических океанических индексов, таких как Североатлантическое колебание (NAO), Эль-Ниньо (NINO 3.4) и Тихоокеанское десятилетнее колебание (PDO). По этим индексам можно определить сильные изменения шаблона

локального климата в океане, например, явление Эль-Ниньо. В этой работе мы попробуем определить, есть ли вклад солнечной постоянной TSI в изменения океанических индексов.

Исходные данные

Мы будем использовать временные ряды эмпирических климатических индексов NAO, NINO 3.4 и PDO, а также реконструкцию TSI за последние 120 лет. Климатические индексы получаются путем измерения некоторых параметров океана (температуры поверхности или давления воздуха) на станциях в разных географических зонах. В частности, индекс NAO определяется как разность давлений воздуха на уровне моря на Азорских островах (экваториальная зона 30°N) и в Исландии (полярная зона 65°N) и отражает паттерн движения атмосферных масс в Северной Атлантике. Индексы NINO 3.4 и PDO основаны на данных о температуре поверхности Тихого океана. NINO 3.4 измеряется в экваториальной зоне Тихого океана (5°N – 5°S , 120°W – 170°W), а PDO охватывает большую его часть (севернее 20°N). Оба этих индекса отражают вариации локального климата в Тихом океане.

Рис. 1. Нормированные фильтрованные временные ряды с погрешностями. Толстыми линиями показаны оригинальные временные ряды, серыми тенями – погрешности.

Мы использовали ряды, доступные по ссылкам [6–8], там же можно найти точные процедуры расчета индексов. Кроме того, мы будем использовать реконструкцию TSI Naval Research Laboratory под названием NRLTSI2, которая была получена путем соединения данных космических наблюдений с модельной оценкой TSI по солнечным пятнам и факелам [9]. Все временные ряды мы привели к равномерной временной сетке с шагом

1 месяц на протяжении времени 1901-01:2020-12 и сгладили скользящим средним с окном 12 месяцев (рис. 1).

Рис. 2. Результат работы метода для пар временных рядов. Графики зависимости σ от ϵ для временных рядов (a) Model T и TSI (b) NINO 3.4 и TSI (c) PDO и TSI (d) NAO и TSI (e) NINO 3.4 и NAO (f) NINO 3.4 и PDO. Тенями показаны погрешности работы метода при зашумлении рядов.

Методика

Для определения наличия и направления связи между двумя временными рядами мы используем т.н. метод условных дисперсий [1]. Метод предполагает, что два рассматриваемых временных ряда были спродуцированы динамическими системами, свойства которых можно восстановить с помощью реконструкции динамики из одномерного ряда по Такенсу [10], т.е. построения пространства вложения с использованием запаздывающих координат. Для двух реконструированных временных рядов производится расчет условной дисперсии (σ), которая характеризует зависимость дисперсии точек одного временного ряда от ϵ при условии, что синхронные точки второго временного ряда ϵ -близки в пространстве вложения. Работа метода была откалибрована на модели взаимодействия океан–атмосфера [2], в которой в качестве одной из переменных выступила аномалия температуры поверхности воды, усредненная по восточной части экваториальной зоны Тихого океана (Model T, см. рис. 1). Мы добавили в модель (1,2) форсинг в виде ряда TSI и получили, что метод может определить влияние

временного ряда TSI на Model T даже при наличии шумов в данных (см. рис. 2а).

$$dT/dt = RT + \gamma h - e_n (h+bT)^3 + S*TSI, \quad (1)$$

$$dh/dt = -rh - \alpha bT \quad (2)$$

Здесь h – аномалия глубины термоклина в западной части Тихого океана, $R = \gamma b - c$, $\gamma = 0.75$, $e_n = 1$, $b = 1.625$, $S = 0.01$, $\alpha = 0.125$, $r = 0.25$.

Результаты

С помощью метода условных дисперсий мы сравнили между собой пары эмпирических временных рядов (рис. 2). Метод показал, что: а) TSI влияет на NINO 3.4 и PDO; б) NAO влияет на NINO 3.4; в) метод не может определить направление связи для NINO 3.4 и PDO; г) метод не может показать наличие или отсутствие связи для рядов NAO и TSI.

Литература

1. Čenys A., Lasienė G., Pyragas K. Estimation of interrelation between chaotic observables // *Physica D: Nonlinear Phenomena*. 1991. Т. 52. № 2-3. С. 332-337.
2. Jin F.F. An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part I: Conceptual model // *Journal of the atmospheric sciences*. 1997. Т. 54. № 7. С. 811-829.
3. Stevens M.J., North G.R. Detection of the climate response to the solar cycle // *Journal of the atmospheric sciences*. 1996. Т. 53. № 18. С. 2594-2608.
4. Volobuev D.M. Central Antarctic climate response to the solar cycle // *Climate dynamics*. 2014. Т. 42. № 9-10. С. 2469-2475.
5. White W.B., Liu Z. Non-linear alignment of El Nino to the 11-yr solar cycle // *Geophysical Research Letters*. 2008. Т. 35. № 19.
6. NAO <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/nao/>
7. NINO 3.4 https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Nino34/
8. PDO <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/>
9. Coddington O. et al. A solar irradiance climate data record // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2016. V. 97. № 7. P. 1265-1282.
10. Takens F. Distinguishing deterministic and random systems. // *Nonlinear dynamics and turbulence*, ed. by Barenblatt G.J., Jooss G., Joseph D.D. – N.Y.: Pitman, 1983. – P. 314-333.