

РЕДУКЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ СОЛНЕЧНЫХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ НА ОСНОВЕ ГИПОТЕЗЫ О НЕПРЕРЫВНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ СОЛНЦЕ-КЛИМАТ

Волобуев Д.М., Скакун А.А.

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

REDUCTION OF SOLAR AND CLIMATE INDICES UNCERTAINTIES BASED ON THE HYPOTHESES ABOUT CONTINUOUS DYNAMICAL CONNECTION BETWEEN SUN AND CLIMATE

Volobuev D.M., Skakun A.A.

Pulkovo Observatory, St.-Petersburg, Russia

Estimates of confidence intervals for the average values of solar and climate indices are important for modeling and prognostic problems. The formal approach is based on the interpretation of the measured data as independent Gaussian, random variables. It can lead to an overestimation of the confidence intervals, mainly due to the relationship of neighboring values in regular changes, for example, in a seasonal cycle for climate, or in a quasi-biennial cycle for the Sun, a significant skewness in statistical distributions, and other factors. Here we propose a new approach to estimate the confidence interval of empirical time series based on the hypothesis of the existence of a continuous dynamic Sun-Climate relationship. Within this approach, we add Gaussian noise to the Total Solar Irradiance (TSI) and El Niño (Nino3.4) by varying the noise amplitude with previously estimated confidence intervals. Increasing the noise amplitude increases conditional dispersion up to a complete loss of relationship. We found out that there is a noise threshold value which can be the estimation of the true confidence interval. Based on our calculations, we conclude that there is a significant overestimation of the width of the confidence intervals given for the TSI and Nino 3.4 indices.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-45-48

Введение

Физическое состояние Солнца и климата в каждый момент времени описывается очень большим количеством переменных. В порядке упрощения для описания динамики пользуются редуцированными моделями с небольшим количеством переменных, напр. [1]. Сравнение моделей с наблюдениями зачастую сталкивается с проблемой измерений, где измеряемые параметры x , как правило, не являются физическими переменными P , входящими в набор уравнений, необходимый для описания динамики. Вместо этого измеряемые параметры продуцируют индексы I , характеризующие состояние системы в некотором смысле. Рассматриваемые в данной работе индексы TSI и индекс Эль-Ниньо Nino34 именно таковы.

Таким образом, для интерпретации наблюдений и проверки модельных предположений, нам нужно знать сложную функцию $P(I(x_i))$ известную с ошибкой ΔP , зависящей не только от ошибки параметров Δx_i , но и от

ошибки связи $P(I)$, поскольку сама связь $P(I)$, строго говоря, не известна, из-за наличия дополнительных не измеряемых x_m или неизвестных x_n переменных, от которых P также зависит т.е. $P(I(x_i), x_m, x_n)$. В частности, на рассматриваемом интервале реконструкция TSI рассматривается как функция площади пятен и площади факелов TSI(A, F), а интересующий нас поток приходящей коротковолновой радиации SW (физическая переменная) является функцией TSI, высокой и низкой облачности, состава атмосферы и т.д. Аналогично, NINO3.4 является функцией температуры поверхности моря на двух станциях, но физической переменной является тепловой поток, переносимый через приэкваториальную область Тихого океана, зависящий также от температуры в других точках океана, циклонической активности и т.д.

Все Δx_i известны, и ΔI можно приблизительно оценить по формулам ошибки для косвенных измерений. Приблизительно потому, что используемое предположение о гауссовости x_i может не выполняться. Оценки же ΔP нельзя определить без дополнительных предположений, т.к. Δx_m и x_n неизвестны.

В данной работе мы рассматриваем вариант оценки погрешности динамических переменных $\Delta P'(I)$ в предположении, что $P' = \text{const} \cdot I$, и что уравнения двух систем связаны малым параметром в смысле обобщенной синхронизации. Наличие такой связи предполагалось ранее [1] и было подтверждено нами с использованием метода условной дисперсии [3]. $P'(I)$ также не являются физическими переменными, но, следуя подходу Такенса [3], мы предполагаем, что существует диффеоморфизм $P' \rightarrow P$.

Исходные данные

Мы будем использовать временные ряды эмпирических климатических индексов NINO 3.4, и реконструкцию TSI за последние 120 лет. Индекс NINO3.4 измеряется в экваториальной зоне Тихого океана (5N-5S, 120W-170W). Этот индекс отражает вариации локального климата в Тихом океане, в частности, т.н. Эль-Ниньо – Южное колебание, оказывающее существенное влияние и на глобальный климат [4]. Для оценки шума во временном ряде NINO 3.4 мы использовали данные из независимого источника – KAPLAN database [5], среднее значение погрешности ряда KAPLAN на пересечении рядов (от 1901-01 до 1991-12) оказалось равным 0.21 °C. Также мы будем использовать реконструкцию TSI под названием NRLTSI2, которая была получена путем соединения данных космических наблюдений с модельной оценкой TSI по солнечным пятнам и факелам [6]. 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 13 месяцев.

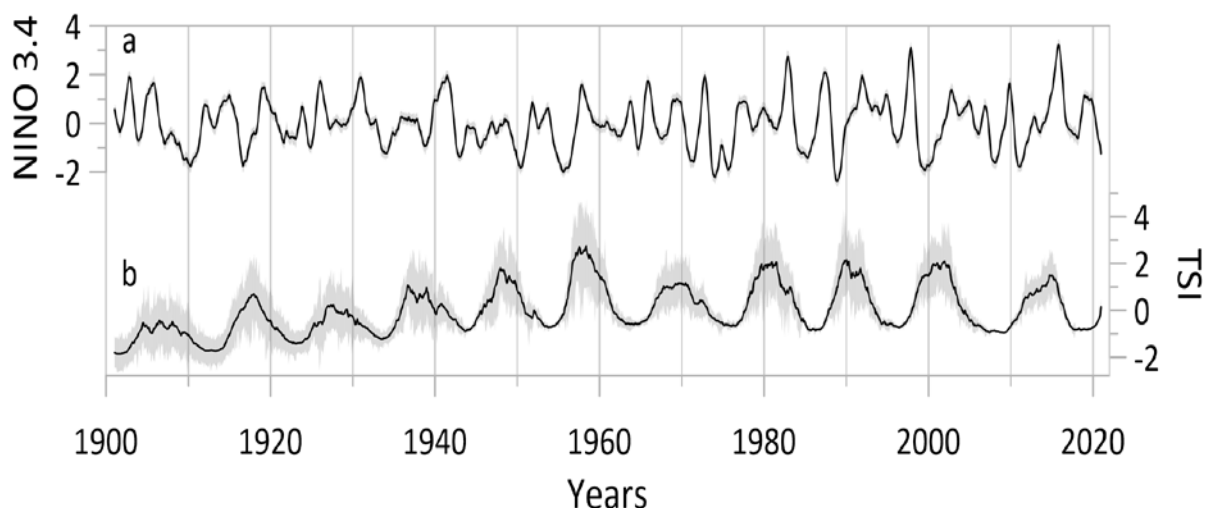


Рис. 1. Нормированные фильтрованные временные ряды с погрешностями. Толстыми линиями показаны оригинальные временные ряды, серыми тенями – погрешности.

Методика

Для определения наличия и направления связи между двумя временными рядами мы используем т.н. метод условных дисперсий [7], его приложение к климатическим задачам рассмотрено на примере глобального потепления [8]. Метод предполагает, что два рассматриваемых временных ряда были порождены динамическими системами, свойства которых можно восстановить с помощью реконструкции динамики из одномерного ряда по Такенсу [3], т.е. получения пространства вложения запаздывающих координат.

Работа метода была откалибрована на модели взаимодействия океан-атмосфера [9], в которой в качестве одной из переменных выступила температура поверхности Тихого океана. При этом добавление шумов позволяет оценивать погрешности методом Монте-Карло.

Результаты

С помощью описанного метода мы сравнили между собой пары эмпирических временных рядов (рис. 2). Добавление шума в TSI в пределах известных доверительных интервалов показало, что множество зашумленных кривых условной дисперсии не включает оригинальные кривые, уменьшение амплитуды добавленного шума в 12 раз приводит к включению оригинальной кривой во множество шумовых. Таким образом, оценка доверительных интервалов для временных рядов TSI и NINO34 завышена примерно в 12 раз.

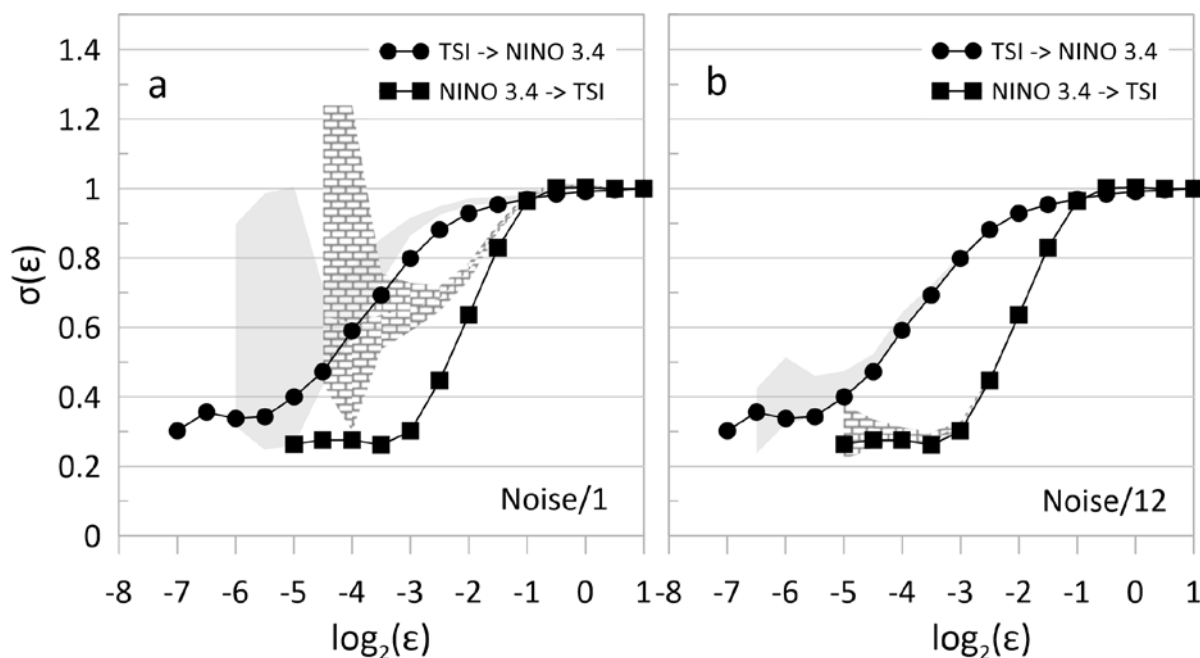


Рис. 2. Результат работы метода для пар временных рядов. а) MCD для рядов с исходными погрешностями. б) MCD для рядов с погрешностями, уменьшенными в 12 раз.

Литература

1. White W.B., Liu Z. Non-linear alignment of El Nino to the 11-yr solar cycle // Geophysical Research Letters. 2008. Т. 35. №. 19.
2. Скакун А.А., Волобуев Д.М. Причинная связь между климатическими индексами океана и солнечной постоянной за последние 100 лет. / Тр. Конф. ССЗФ-2021, стр. 237-240.
3. 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;
4. NOAA NINO 3.4 https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Nino34/
5. Kaplan database <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.Indices/.nino/.KAPLAN/.NINO34/>
6. Coddington, O., J. Lean, P. Pilewskie, et al. (2016). A solar irradiance climate data record, Bull. Amer. Meteor. Soc., doi:10.1175/BAMS-D- 14-00265.1.
7. Čenys A., Lasienė G., Pyragas K. Estimation of interrelation between chaotic observables // Physica D: Nonlinear Phenomena. 1991. Т. 52. №. 2-3. С. 332-337. [https://doi.org/10.1016/0167-2789\(91\)90130-2](https://doi.org/10.1016/0167-2789(91)90130-2)
8. Verbitsky M.Y. et al. Detecting causality signal in instrumental measurements and climate model simulations: global warming case study // Geoscientific Model Development. 2019. Т. 12. №. 9. С. 4053-4060.
9. 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.