

УДК 519.24.001.57

Э.Н. Серга, к.геогр.н., Ю.Я. Бунякова, к.геогр.н., А.В. Лобода, к.ф.-м.н.,

В.Ф. Мансарлийский, преп., А.А. Дудинов, ас.

Одесский государственный экологический университет

## МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ИНДЕКСОВ АРКТИЧЕСКОГО, АТЛАНТИЧЕСКОГО И ЮЖНОГО КОЛЕБАНИЙ

*На основе мультифрактального формализма с использованием алгоритма Грассбергера-Прокаччиа выполнен мультифрактальный анализ временных рядов индексов Арктического, Антарктического и Южного колебаний.*

**Ключевые слова:** мультифрактальный анализ, Арктическое, Антарктическое и Южное колебания

### 1. Введение.

В настоящее время достаточно надежно установлено несомненное воздействие некоторых структур телеконнекции на погодные условия и климат над различными регионами Земного шара [1-11]. К числу важнейших крупномасштабных климатообразующих процессов обычно относят Арктическое колебание (АО), Антарктическое колебание (ААО), Южное колебание (ЮК=СО), Североатлантическое колебание, представляющее на самом деле одну из наиболее проявляемых схем телеконнекции во все сезоны. Например, согласно работам [1,2], Североатлантическое колебание объединяет части Восточно-Атлантической и Западно-Атлантической схем телеконнекции. В работе [3] рассмотрены вариации климата, связанные с Североатлантическим колебанием, а в [4] изучается влияние Североатлантического колебания на энергетику внетропических широт. Уместно напомнить, что Североатлантическое колебание состоит из диполя аномалий, один центр которого расположен над Исландией, а второй, имеющий противоположный знак, находится в районе Канарских островов. В случае положительной фазы Североатлантического колебания в высоких широтах Северной Атлантики наблюдается давление, несколько ниже нормального, а над центральной частью Северной Атлантики, востоком США и Западной Европой наблюдается давление, превышающее обычное. В случае отрицательной фазы Североатлантического колебания над указанными районами появляются аномалии противоположных знаков. Упомянутые фазы соответствуют изменениям интенсивности Североатлантического струйного течения, а также крупномасштабных зональных и меридиональных переносов тепла и влаги [2,6-10]. Это индуцирует соответствующие изменения в полях температуры и осадков, что проявляется над регионами от восточной части Северной Атлантики до Центральной Европы. Следуя [3], следует также упомянуть существенную корреляцию между зимними индексами Североатлантического колебания и блокирующими ситуациями в указанном регионе, причем процесс блокирования наблюдается при значительной меридиональной циркуляции. В работах [5,8] в рамках изучения энергетики атмосферы применялось вейвлет-разложение для идентификации связи между индексами Североатлантического колебания и запасами вихревой кинетической энергии в умеренных широтах и тропиках. В работе [11] на основе мультифрактального формализма с использованием алгоритма Грассбергера-Прокаччиа выполнен мультифрактальный анализ временных рядов индексов Североатлантического и ЮК, флуктуаций вихревой кинетической энергии в средних и тропических широтах.

Целью настоящей работы является мультифрактальный анализ временных рядов индексов временных рядов индексов Арктического, Антарктического и Южного колебаний. Как и в [11], примененная нами ниже схема базируется на методике, апробированной в работах [9-15]. Следует напомнить, что теория фракталов и мультифракталов в настоящее время широко используется для исследования свойств самоподобия и сложного скейлинга, характерных для многих динамических, в частности, геофизических систем (см., напр., [16-20]).

## 2. Мультифрактальный подход. Алгоритм Грассбергера-Прокаччия

Для изучения характеристик временных рядов индексов Арктического, Антарктического и Южного колебаний нами использована модифицированная методика Грассбергера-Прокаччия [16]. Поскольку, искомая схема детально излагалась ранее (см., напр., [9-15,20]), далее мы ограничимся только ее ключевыми элементами. Согласно классической теории [17], главным объектом мультифрактального формализма является, естественно, мультифрактальный спектр, а главное изучаемое свойство - скейлинг или самоподобие. Обычно применяемая классическая схема вычисления спектра фрактальных размерностей, основанная на стандартном предельном определении, является в известном смысле наиболее последовательной, однако, на практике сталкивается с рядом проблем при ее реализации, в частности, из-за медленной сходимости при предельном переходе. В этой связи более предпочтительным является подход, основанный на расчете обобщенных фрактальных характеристик как глобальных характеристик, по которым соответственно вычисляется и спектр сингулярностей. Альтернативной следует считать методику мультифрактального анализа сложных сигналов, которая основывается на непрерывном вейвлет-преобразовании. Для практических применений особенно в области гидрометеорологии и геофизических наук традиционно достаточно эффективным и приемлемым представляется алгоритм Грассбергера-Прокаччия [16]. Разумеется, в этом методе анализируются наборы эквидистантных временных данных, для получения и уточнения которых в случае необходимости обычно используется метод сплайн-интерполяции. Мастерная корреляционная функция (корреляционный интеграл) определяется по формуле

$$C(r) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{2}{N(n-1)} \sum_{\substack{i,j \\ (1 \leq i < j \leq N)}} H(r - \|y_i - y_j\|), \quad (1)$$

где  $r$  – радиус сферы с центром в  $y_i$  или  $y_j$ ;

$N$  – длина временного ряда.

$H$  – единичная функция Хевисайда, определяемая как обычно

$H(u) = 1$  для  $u \geq 0$  и  $H(u) = 0$  для  $u \leq 0$ .

Если для изучаемой динамической системы характерным является наличие аттрактора (в фазовом пространстве), то корреляционная функция (1) связана с радиусом  $C(r) \sim r^{d_2}$ , где  $d_2$  – корреляционная размерность. Искомая размерность определяется предельным соотношением

$$d_2 = \lim_{\substack{r \rightarrow 0 \\ N \rightarrow \infty}} \frac{\log C(r)}{\log r}, \quad (2)$$

Стандартная схема включает далее вычисление корреляционной размерности

обычно в так называемом диапазоне масштабирования по данным о наклоне наклон линии в координатах  $\log C(r)$  и  $\log r$ . Далее, как обычно (см. детали в [10-12]), значение корреляционной размерности, при котором она достигает насыщения, определяется как корреляционная размерность соответствующего аттрактора ( $d_A$ ). Ближайшее целое число, большее чем  $d_A$ , дает так называемую оптимальную размерность вложения  $d_E$  для реконструкции фазового пространства. Другими словами, речь идет об определении числа динамических переменных, необходимых для описания и моделирования эволюции системы. Более детальное изложение реализации данной методики можно найти, напр., в [9-16,20].

### 3. Данные, результаты и выводы.

В данном исследовании были использованы несглаженные наборы данных для искомым индексов Арктического, Антарктического, Южного колебаний, а также для глобальных аномалий температуры  $T$  на протяжении временного периода 1961-1990 гг. Все наборы данных были получены через Интернет ([http://www.jisao.washington.edu/data\\_sets/aots/ao18992002](http://www.jisao.washington.edu/data_sets/aots/ao18992002), <http://www.cru.uea.ac.uk/ftpdata/soi.dat>, <http://www.jisao.washington.edu/data/aao/slp/aaoslppc19482002>, <http://www.cru.uea.ac.uk/ftpdata/tavegl2v.dat> соответственно).

Из первоначального набора данных, нами были извлечены временные ряды с 1910 по 2001 годы (за исключением ААО, которая начинается с 1948 г.). Для дальнейшего анализа мы разделим временных рядов на три эпохи: 1910-47, 1948-77 и 1978-2001 (далее  $W1$ ,  $C$  и  $W2$ , соответственно).

На рис. 1 показаны временные ряды, выбранные для анализа, в частности, ряды для индексов Арктического колебания (а), Южного колебания (б), Антарктического колебания (с) и аномалии глобальной температуры (д) на протяжении временного интервала 1910-2001гг. (ось  $X$  – календарный год).

Наш анализ показывает, что поведение искомым временных рядов индексов Арктического колебания (а), Южного колебания (б), Антарктического колебания, а также в меньшей степени аномалии глобальной температуры удовлетворяет основным критериям феномена детерминистического хаоса. Оцененные по мультифрактальной методике Грассбергера-Прокаччия соответствующие фрактальные размерности, характеризующие свойства самоподобия и скейлинга, лежат в интервале [1.3-2.5], что, в принципе коррелирует с аналогичными данными по другим геофизическим системам (см. детальнее, напр., [9-20] и ссылки там).

В свете сказанного важно упомянуть о известном фундаментальном феномене генезиса фрактальных размерностей в родственных геофизических динамических системах [12-20]. Следует заметить, что полученные в работе оценки можно использовать в качестве стартовой основы для последующего рассмотрения и решения такого класса задач как, скажем, восстановление и прогнозирование флуктуационных изменений индексов Арктического колебания, Южного колебания, Антарктического колебания, величины аномалии глобальной температуры, а также величин запасов вихревой кинетической энергии в средних и тропических широтах в любом интересующем временном интервале. Разумеется, решение прогностических задач в такой постановке в дальнейшем потребует (см. детали, напр., в [11,12,20]) применение комплекса методов нелинейного анализа и теории хаоса, в том числе, и детальное восстановление спектра размерностей Ляпунова, размерности Калана-Йорка, энтропии Колмогорова и т.д.

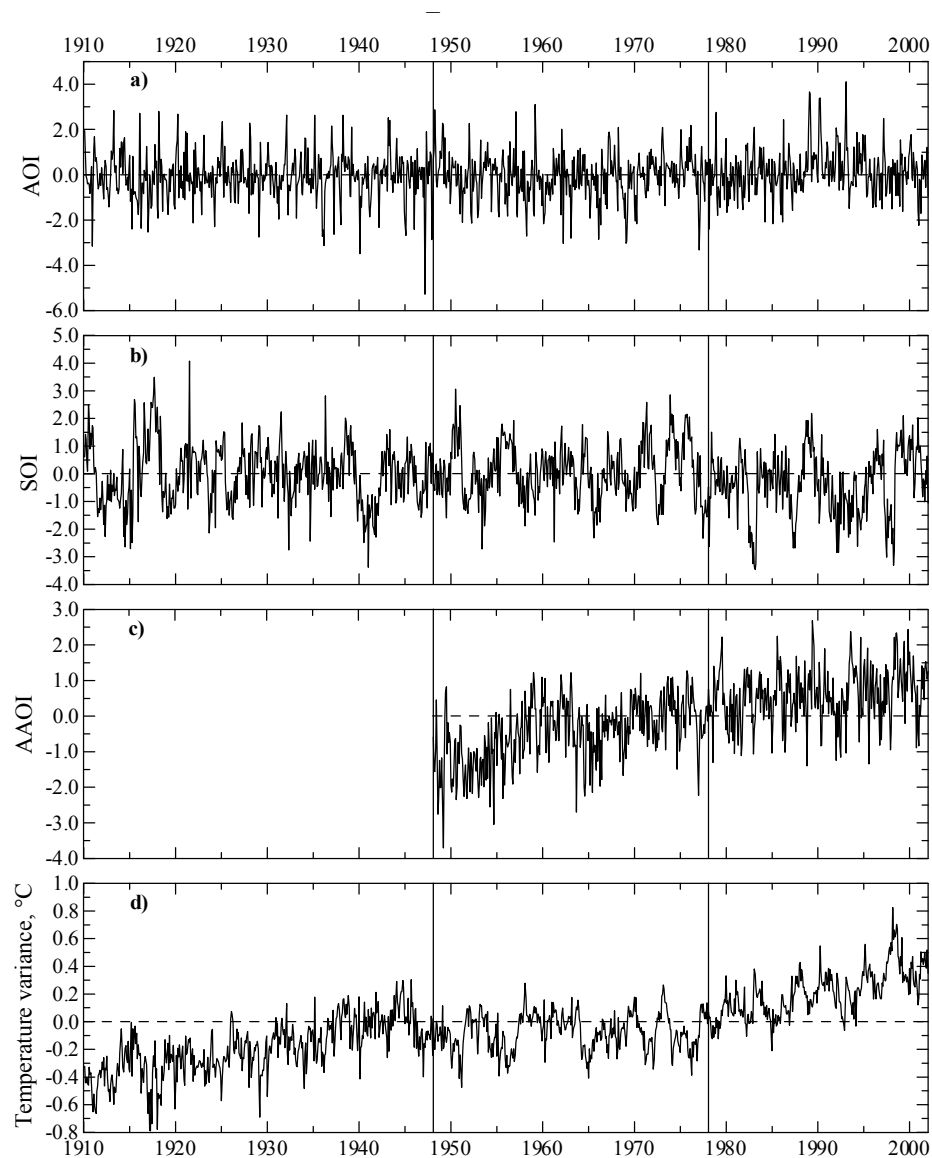


Рис. 1 – Временные ряды индексов Арктического (а; АОI), Южного (б; SOI), Антарктического колебания (с; ААОI) и аномалии глобальной температуры (д) на протяжении временного интервала 1910-2001гг (ось X – календарный год).

### Список литературы

1. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // Month.Weather Rev.-1987.-Vol.115.-P.1083-1126.
2. Wallace J.M., Gutzler D.S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter // Month.Weather Rev.-1987.-Vol.109.- P.784-812.
3. Stein O. The variability of Atlantic-European blocking as derived from long SLP time series // Tellus.-2000.-Vol.52A.-P.225-236.
4. Hurrell J.W., van Loon H. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation // Climatic Change.-1997.-Vol.36.-P.301-326.
5. Хохлов В.Н. Влияние Северо-Атлантического колебания на энергетику внетропических широт//Метеор., климатология и гидролог.-2002.-Вып.46.-С. 30-34.
6. DelSole T. Optimally persistent patterns in time-varying fields // Journal of the Atmospheric Sci.-2001.-Vol.58.-P.1341-1356.

7. *Benedict J.J., Lee S., Feldstein S.B.* Synoptic view of the North Atlantic Oscillation // *Journal of the Atmospheric Sci.*-2004.-Vol. 61.-P.121-144.
8. *Хохлов В.Н., Мансарлийский В.Ф.* Запасы энергии в нижней стратосфере северного полушария// *Метеорологія, кліматологія та гідрологія.*-2002.-Вип. 45.-С.53-57.
9. *Glushkov A.V., Loboda N.S., Khokhlov V.N., Lovett L.* Using non-decimated wavelet decomposition to analyze time variations of North Atlantic Oscillation, eddy kinetic energy, and Ukrainian precipitation // *Journal of Hydrology (Elsevier; The Netherlands).* – 2006. – Vol. 322, №1-4.-P.14-24.
10. *Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Bunyakova Yu.Ya., Prepelitsa G.P., Svinarenko A.A., Tsenenko I.A.* Sensing the nonlinear interaction between global teleconnection patterns: micros technology “Geomath”//*Sensor Electr. and Microsyst. Techn.*-2006.-Vol.3, №1.-P.64-70.
11. *Мансарлийский В.Ф.* Мультифрактальное моделирование характеристик временных рядов индексов североатлантического, южного колебаний и вихревой кинетической энергии в средних и тропических широтах// *Український гідрометеорологічний журнал.*-2012.-№10.-С.171-175.
12. *Глушков А.В., Лобода Н.С., Хохлов В.Н., Сербов Н.Г., Свинаренко А.А., Бунякова Ю.Г.* Хаос во временных рядах концентраций загрязняющих веществ в атмосфере: краткосрочный прогноз// *Вісник Одеського держ. екологічного ун-ту.*-2008.-№5.-С.225-235.
13. *Khokhlov V.N., Glushkov A.V., Loboda N.S., Bunyakova Yu.Ya.* Short-range forecast of atmospheric pollutants using non-linear prediction method// *Atmospheric Environment (Elsevier).*-2008.-Vol.42.-P. 7284–7292.
14. *Glushkov A.V., Khokhlov V.N., Loboda N.S., Serbov N.G., Zhurbenko K.* Signatures of low-dimensional chaos in hourly water level measurements at coastal site of Mariupol, Ukraine// *Stoch. Environment Res. Risk Assess. (Springer).*-2008.-Vol.22.-P.777-788.
15. *Амбросов С.В., Серге Э.Н., Мансарлийский В.Ф., Кольцова Н.Ю.* Баланс углового момента Земли и атмосферные радиоволноводы: Элементы нестационарной теории// *Вісник Одеського державного екологічного ун-ту.*- 2012.-№14.-С.41-45.
16. *Grassberger P, Procaccia I.* Measuring the strangeness of strange attractors // *Physica D.*-1983.- Vol.9, №1-2.-P.189-208.
17. *Mandelbrot B.B.* The fractal geometry of nature.- San Francisco: W.H. Freeman, 1982.-580p.
18. *Falconer K.J.* The geometry of fractal sets.- Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1985.-480p.
19. *Anishchenko V.S.* Nonlinear dynamics of chaotic and stochastic systems.- Berlin: Springer, 2002.- 320p.
20. *Глушков А.В., Бунякова Ю.Я.* Анализ и прогноз влияния антропогенных факторов на воздушный бассейн промышленного города.- Одесса: Экология, 2010.- 256с.

**Мультифрактальный анализ часовых рядов индексов Арктичного, Антарктичного і Південного коливань.**

**Серга Е.М., Бунякова Ю.Я., Лобода А.В., Мансарлійський В.Ф., Дудінов О.А.**

*На підставі мультифрактального формалізму з використанням схеми Грассбергера-Прокаччіа виконано мультифрактальний аналіз часових рядів індексів Арктичного, Антарктичного і Південного коливань.*

**Ключові слова:** мультифрактальний аналіз, Арктичне, Антарктичне і Південне коливання

**A multi-fractal analysis of temporal sets for the Arctic, Antarctic and Southern oscillation indexes.**

**Serga E.N., Bunakova Yu.Ya., Loboda A.V., Mansarliysky V.F., Dudinov A.A.**

*It is carried out a multifractal analysis of temporal sets for the Arctic, Antarctic and Southern oscillation index, indexes within a multi-fractal formalism with using the Grassberger-Procaccia algorithm.*

**Kew words:** multifractal analysis, Arctic, Antarctic and Southern oscillation index