

ОСОБЕННОСТИ РАЗНОМАСШТАБНЫХ ВАРИАЦИЙ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СРЕДАХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА

Мельников В.А.¹

¹Институт океанологии им. П.П.Шириова РАН, 117997, г. Москва, Нахимовский пр., 36, 8(499) 124 63 83, vmelnikov@ocean.ru

The subject of work is statistical properties of fluctuations due to multi-scale hydrodynamic processes. Spectra, wavelet structures, self-similarity of time series of geophysical, hydrometeorological, economic and other continuum systems are of interest. The goal is to reveal basic natural constraint which controls background variability.

Предметом работы является исследование статистических свойств флуктуаций параметров в системах гидродинамического типа. На примерах временных рядов геофизических параметров выявлены общие особенности структуры спектров, признаки самоподобия в спектральных и вейвлет разложениях. Предлагается обоснование свойств фоновой изменчивости параметров в виде естественного процесса релаксации случайных возмущений [1].

Рассмотрены разномасштабные вариации: метеоэлементов по измерениям на метеостанциях; давления в центрах действия; атмосферных индексов; ветра, по спутниковым измерениям; гидрологических параметров и течений в морях и в открытом океане; морского волнения; чисел Вольфа; а также вариации некоторых экономических индексов [2].

С целью оценки сложных сочетаний разномасштабных атмосферных процессов построен модельный ряд изменений температуры воздуха на основе стандартных наблюдений на метеостанции Геленджика в период 1936-2016 гг. [3]. Модельный ряд состоит из квази-гармонических циклов годовых и суточных колебаний, их обертонов и нормального шума, преобразованного при помощи авторегрессионного процесса первого порядка. Амплитуды главных циклов получены по соответствующим спектральным максимумам дисперсиям, а фазы подобраны по отфильтрованным гармоникам (рис.1 а,в). Модель фоновых колебаний по физическому смыслу соответствует динамической системе с экспоненциальной релаксацией фазового параметра при воздействии множественных, случайных по фазе и амплитуде возмущений.

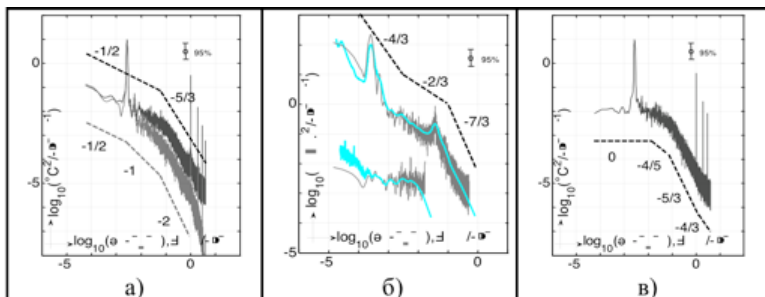


Рис. 1. Типичные спектральные плотности некоторых геофизических фазовых параметров в логарифмических координатах: а) – температура воздуха «по срокам» (тёмная сплошная кривая) и температура воды на поверхности моря, ежесуточные значения (серая сплошная) на метеостанции Геленджика. Пунктирные линии и цифры около них показывают наклоны участков спектров; б) – индекс солнечной активности (верхняя сплошная кривая), дискретность 10 суток, и индекс NAO (Северо-Атлантическое колебание) (нижняя сплошная кривая), ежемесечные значения. Пунктирные линии и цифры около них показывают наклоны участков спектров, светлыми кривыми показаны спектры проинтегрированной по масштабам времени вейвлет-плотности. в) – модель временного ряда колебаний температуры воздуха.

Показано, что построенный таким образом «красный» шум является источником самоподобия. Повсеместно встречающееся самоподобие (фрактальность) вариаций в геофизических рядах, когда изучаемый сигнал на больших масштабах (временных и пространственных) является растянутой копией сигнала на малых масштабах, проявляется в Фурье спектрах в виде повторяющихся интервалов линейного спада, разделённых узкими плато [4].

По данным многолетних (1936–2016 гг.) измерений на Геленджикской прибрежной метеостанции рассматривался процесс формирования климатической изменчивости системы атмосфера – море из синоптических состояний. В основе механизма эволюции полей от малых временных масштабов к большим лежит характерная совокупность изменений вектора ветра, названная «Элементарный цикл» (ЭЦ) [3]. Типичные изменения в ЭЦ характеризуются циклической сменой направлений доминирующего ветра от юго-восточного к северо-восточному и обратно. Подобие временного хода ветра в ЭЦ разной продолжительности рассматривается как фрактальность изменчивости ветра (рис. 2 а, б). Фрактальность обусловлена региональными синоптическими процессами и повторяемостью в развитии типичных региональных барических струк-

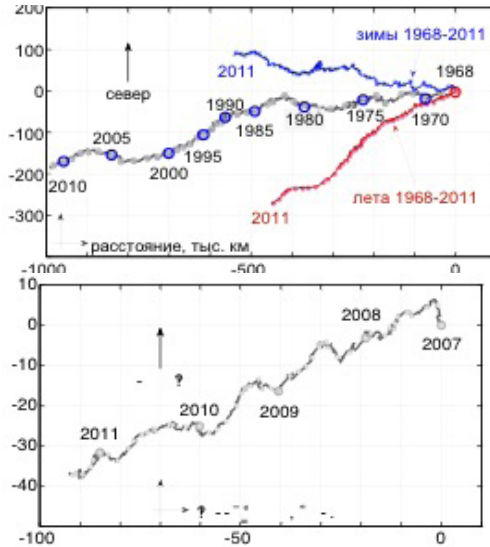


Рис. 2 (а,б). Прогрессивные векторные диаграммы ветра на метеостанции г. Геленджика. а) – многолетние изменения ветра в период 1968-2012 гг.; б) – сезонные ветровые циклы. Кружками обозначены годы.

тур. Траектории Броуновского случайного блуждания похожи на прогрессивные векторные диаграммы ветра. Накопление значений (интегрирование) соответствует низкочастотной фильтрации и приводит к спаданию спектра модуля скорости ветра как -2 .

Спектры имеют «красный» вид, с характерными главными максимумами на годовом, суточном периодах и их обертонах для многих геофизических временных рядов [4]. На низких частотах с периодами более 100 суток спектры близки к белому шуму. В интервале периодов 100-10 суток логарифмические спектры спадают по частоте в степени -1 . В высокочастотном интервале, для периодов менее 10 суток, падение спектров определяется степенью -2 , (рис.1 б).

С учётом нестационарности и перемежаемости геофизических колебаний рассматривались вейвлет-диаграммы и вейвлет-плотность, проинтегрированная по времени, которая совпадает с Фурье-спектром. С использованием вейвлет- и Фурье-разложений проведено сравнение исследуемых временных рядов с тестовыми, заведомо фрактальными рядами типа «случайных блужданий», броуновского движения и кривой фон Коха. [4].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 14-05-00159 и №.15-05-04198).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мельников В.А. Особенности разномасштабных вариаций в геофизических сплошных средах. Процессы в геосредах. М.: ИПМех. РАН. 2015. Т.2(3). С. 49-61.
2. Мельников В.А. Структура спектров и интерпретация гидрофизических процессов. Труды ГОИНа, Исследования океанов и морей. 2015. Вып. 216. С. 142-156.
3. Мельников В.А., Москаленко Л.В., Кузеванова Н.И. Особенности разномасштабных вариаций метеозлементов. Международная конференция, посвященная памяти академика А.М. Обухова "ТУРБУЛЕНТНОСТЬ, ДИНАМИКА АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТА" 13-16 мая 2013 г. Сборник тезисов докладов. М.: ГЕОС. 2013. С. 74.
4. Мельников В.А. Спектральные признаки самоподобия в геофизических системах гидродинамического типа. Сборник трудов XXIII Международной конференции «Лазеры. Измерения. Информация. 2013». СПб.:Издательство Политехнического университета. 2013.Т.3. С. 191-203.