

ISSN 0367-1631

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ОДЕССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. И. МЕЧНИКОВА

Физика аэродисперсных систем

ВЫПУСК 40

МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ СБОРНИК

Основан в 1969 г.

Одесса
“Астропринт”
2003

А. В. Глушков, В. М. Хохлов, И. А.Цененко

Одесский государственный экологический университет

Застосування вейвлет-розкладення для аналізу запасів вихрової кінетичної енергії, процесів тепло-, масо-, енерго-переносу в атмосфері

Стационарне вейвлет-розкладення застосовується для аналізу часових змін індексів Північноатлантичної осциляції (NAO), її зв'язку із запасами вихрової кінетичної енергії (K_E), процесами тепло-масо-енерго-переносу у атмосферному середовищі (помірних та тропічних широтах). Перевагою такої методики є можливість ізолювання коротко- та довготермінових компонентів. При аналізі були виявлені первинні періодичності для індексів Північноатлантичної осциляції, такі як 4-8-річна, а також природна зміна домінуючих фаз NAO. Показано, що коли фази Північноатлантичної та Південної осциляцій змінюються синхронно з періодом 4-8 років, зв'язок між змінами індексів NAO та запасів K_E є найбільш істотним. Коли фаза NAO має тенденцію до різкіших змін, її вплив на запаси вихрової кінетичної енергії як у помірних широтах, так й у тропіках, процеси масо-, тепло-, енерго-переносу є набагато істотним, ніж для випадку тривалого домінування однієї фази.

1. Вступ

В останні десятиріччя минулого сторіччя у світі виникнув та сформувався новий науковий напрям, який пов'язаний з так званим вейвлет-перетворенням. Можна без перебільшення сказати, що вейвлети зробили революцію у теорії та практиці обробки нестационарних сигналів. На сьогодні вейвлети широко застосовуються для розпізнавання образів; при обробці та синтезі різноманітних сигналів. Дуже перспективним та ефективним є їх використання для вивчення властивостей турбулентних полів, у розв'язанні різноманітних задач фізики аерозольних систем, фізики атмосфери та океану, геофізики, атомної та молекулярної фізики.

Деякі ідеї теорії вейвлетів частково були розроблені вже дуже давно. Наприклад, А. Хаар ще у 1910 році опублікував повну ортонормальну систему базисних функцій з локальною областю визначення, які зараз мають назву вейвлетів Хаара. Але втішно відзначити, що мабуть перша згадка про вейвлети з'явилась у літературі з цифрової обробки та аналізу геофізичних сигналів (зокрема, сейсмічних) у працях, які були зроблені під керівництвом А Гроссмана та Ж. Морле [1, 2]. На сьогодні бібліографія про застосування вейвлет-перетворення для аналізу різноманітних геофізичних сигналів, і метеорологічних зокрема, налічує велику кількість публікацій, тому наведення

хоч невеликої їх частки у статті, що присвячена конкретній проблемі, є, мабуть, зайвим. Стосовно праць у геофізиці, фізиці атмосфери, слід відзначити огляд Н.М. Астаф'євої [3] та статтю К. Торренса та П.Дж. Вебстера [4], які застосували вейвлети для аналізу динаміки Ель Ніньо.

Зрозуміло, що хоча праць за відзначеною вище методикою багато, але охопити весь спектр фізичних, геофізичних проблем вони не можуть. В данні роботі ми спробуємо за допомогою вейлет-перетворення пояснити механізм часових флуктуацій запасів вихрової кінетичної енергії (K_E), яку можна вважати одним з показників інтенсивності еволюції атмосферних вихорів. Отримані результати мають певне значення в теорії вихорів у рідинах, взагалі, та океані, зокрема. Запаси K_E визначаються відхиленням складових вектора вітру від його середньозональної величини. Рівняння ж бюджету цієї енергії можна використовувати для дослідження еволюції вихрової активності. Нижче ми застосуємо вейлет-розкладення для ідентифікації зв'язку між змінами індексів Північноатлантичної осциляції (NAO) та запасів K_E у атмосфері (помірних широтах та тропіках). Попередній якісний аналіз [5] показав, що вплив NAO на запаси K_E у позатропічних широтах не можна вважати цілком визначеним. Перевагою підходу з вейлет-перетворенням є те, що останній може показати не тільки взаємодію, а й її зміни на різних часових масштабах, які як правило приховані сильним фоновим шумом у кліматичній системі. Отже, метою цього дослідження є визначення зазначеної взаємодії на різних часових масштабах реалізацією вейлет-розкладення.

Розглянемо стисло деякі характеристики NAO, яка є однією з найпомітніших схем телеконнекції у всі пори року і яка була описана Е. Дж. Барнстоном та Р.Е. Лайвзі [6]. Північноатлантична осциляція складається з диполя аномалій тиску, перший центр якого розташований над Ісландією, а інший, зі зворотнім знаком, — біля Канарських островів. При додатній фазі NAO у високих широтах Північної Атлантики спостерігається декілька нижчий за нормальний тиск, а над центральною частиною Північної Атлантики, сходом США та Західною Європою реєструється декілька вищий за звичайний тиск. При від'ємній фазі NAO над цими районами спостерігаються аномалії зворотних знаків. Існує значна міжрічна мінливість NAO, при цьому як додатна, так й від'ємна, фази можуть спостерігатися протягом декількох місяців поспіль. В той же час, для зазначеної мінливості існує певна періодичність. З іншого боку, якщо NAO мало тенденцію залишатися у одній екстремальній фазі то воно відповідало за більшість зимових потеплень та похолодань, що спостерігалися над Європою та Північно-Західною Атлантикою.

Можна розглядати великі (за модулем) індекси NAO як прояв зональної атмосферної циркуляції, а близькі до нуля — як збільшення меридіональності атмосферних процесів. З цієї точки зору вихрова кінетична енергія у позатропічних широтах повинна бути максимальною у періоди, коли спостерігаються невеликі індекси NAO, тому що вона виражає відхилення від середньозонального стану.

2. Метод дослідження та вихідні дані

Отже, вейвлети є функціями стандартних блоків і аналогічні тригонометричним функціям синус та косинус. Перетворення Фур'є добуває деталі з частоти сигналу, але вся інформація про розташування окремої частоти усередині сигналу втрачається. Тому при аналізі нестационарних сигналів за рахунок своєї локальності вейвлети мають суттєву перевагу перед перетворенням Фур'є. Для більш детального ознайомлення з теорією вейвлетів, можна рекомендувати монографії І. Добеші, яка нещодавно була опублікована російською мовою [7], та сучаснішу Дж. Госвами та Е. Чена [8]. Для опису різноманітних метеорологічних сигналів часто застосовується (див., наприклад, [3, 4, 9]) неперервне вейвлет-перетворення. В цій статті, ми використовуємо так зване стаціонарне вейвлет-перетворення, тому що воно має деякі переваги перед зазначеним вище. Зокрема, воно має набагато краще розв'язання на великих часових масштабах, а також дозволяє більш безпосередньо ізолювати часові ряди головних компонентів (див., наприклад, [10]).

Розширення та зміщення материнського вейвлета $\psi(t)$ генерує вейвлет $\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k)$. Параметр розширення j контролює величину вейвлета, а параметр зміщення k — наскільки вейвлет зрушений вздовж осі t . Для вибраного належним чином материнського вейвлета ряд $\{\psi_{j,k}\}_{j,k}$ забезпечує ортогональний базис, а функція f , яка визначена в межах реальних чисел, може бути розкладена, як

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{0k} \varphi_{0,k}(t) + \sum_{j=1}^J \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{j,k} \psi_{j,k}(t), \quad (1)$$

де максимальний масштаб J визначається кількістю даних, c_{0k} є коефіцієнтами найнижчої частоти і $d_{j,k}$ надають інформацію про динаміку функції f , що концентрується на ефектах масштабу навколо 2^j близько до часу $k \times 2^j$. Це вейвлет-розкладення функції майже точно відображує дискретне вейвлет-перетворення (ДВП) сигналу, що спостерігається у дискретні моменти часу.

На практиці довжина сигналу n має обмеження, наприклад в нашому дослідженні використовуються середньомісячні дані за конкретний період, тобто функція $f(t)$ у рівнянні (1) є вектором $f = (f(t_1), \dots, f(t_n))$ з $t_i = i/n$ та $i = 1, \dots, n$. Тоді ДВП вектора f є звичайним матричним добутком $d = Wf$, де d є вектором $n \times 1$ коефіцієнтів дискретного вейвлета з цілими індексами, що кратні 2; $d_{j,k}$ та W є ортогональними матрицями $n \times n$, що пов'язані з базисом вейвлета. З обчислювальних причин простіше виконувати вейвлет-перетворення часового ряду з діадичною (показник степені 2) довжиною. В нашому випадку довжина ряду становить 512 місяців (з липня 1960 по лютий 2003 року).

Однією з особливих проблем ДВП є відсутність інваріанта зміщення, що може стати причиною феномена Гіббса при реконструкції функції [10]. Стаціонарне вейвлет-перетворення (СВП) даних $(f(t_1), \dots, f(t_n))$ на рівномірно розташованих точках $t_i = i/n$ визначається як серія усіх ДВП, сформованих з

n можливих зсувів на величину i/n , де $i = 1, \dots, n$. Тобто, на відміну від ДВП, існує 2^j коефіцієнтів на j -тому рівні розв'язання та n рівномірно розташованих коефіцієнтів вейвлета у СВП на кожному рівні розв'язання j :

$$d_{j,k} = n^{-1} \sum_{i=1}^n 2^{j/2} \psi \left[2^j \left(i/n - k/n \right) \right] y_i,$$

де $k = 0, \dots, n-1$. Це веде до $\log_2(n)$ коефіцієнтів у кожній точці розташування. Безпосереднім наслідком цього є те, що СВП стає інваріантом зміщення. Внаслідок своєї структури СВП припускає кращу частоту вибірки на всіх рівнях і, таким чином, забезпечує кращий дослідницький засіб для аналізу змін частоти базисного сигналу у часі. Переваги СВП перед ДВП для аналізу часових рядів демонструються у праці Г. Насона та інш. [10].

Як і для області Фур'є, важливо визначити потужність сигналу при заданому розв'язанні. Для цього використаємо еволюційний вейвлет-спектр, який визначає внесок у зміну процесу на масштабі j та часі k [10]. Використовуючи наведене у попередньому підрозділі, можна легко побудувати будь-який часовий ряд у області вейвлета. Інший спосіб побачити результат СВП полягає у поданні часової еволюції даних на заданому масштабі. Щоб зробити це, треба визначити гладкий S_0 та деталізований D_j ($j = 1, \dots, J$) сигнали за формулами:

$$S_0(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_{0k} \varphi_{0,k}(t) \quad \text{та} \quad S_j(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{jk} \psi_{j,k}(t). \quad (2)$$

Також, часове розкладення D_j можна послідовно визначити з $D_j(t) = S_j(t) - S_{j-1}(t)$. Отже, високочастотні осциляції описуються, головним чином, компонентами D_j та D_{j-1} , а компоненти грубого масштабу S_0 , D_1 та D_2 відповідають низькочастотним коливанням сигналу. У подальшому викладенні як материнський застосовується вейвлет Добеші 15-го порядку (db15). Відзначимо, що цей вейвлет є біортогональним та підтримує дискретне вейвлет-перетворення [7]. Високий порядок вибраний для гладкішого відтворення деталізованого сигналу.

Тепер зупинимось на метеорологічних даних про сигнали. Вище вже відзначалося, що як міру інтенсивності еволюції атмосферних вихорів будемо брати вихрову кінетичну енергію (K_E), формула розрахунку якої має вигляд

$$K_E = \frac{\overline{u'^2} + \overline{v'^2}}{2}, \quad (4)$$

де u і v — зональна та меридіональна складові вектора швидкості вітру. Штрихи у формулі (4) позначають відхилення від середньозональної величини, яка позначається рискою зверху. Після інтегрування K_E за всією товщею атмосфери у широтному поясі її характерна величина буде 10^5 , а

розмірність — Дж м⁻². Розрахунок K_E будемо здійснювати у широтних поясах 0-30° ($K_{E,тр}$) та 30-60° ($K_{E,шир}$) півн.ш.

Для розрахунків величин запасів вихрової кінетичної енергії використувались дані реаналізу NCEP-NCAR [11], які на сьогодні можна вважати одними з найнадійніших. Дані про поля метеорологічних величин надані на всій земній кулі з кроком 2,5° за широтою та довготою на 17 ізобаричних поверхнях від 1000 до 10 гПа, тобто інтегрування по вертикальній координаті охоплює приблизно 99% маси атмосфери.

3. Результати та дискусія

Використовуючи вейвлет-розкладення охарактеризуємо головні складові мінливості індексів Північноатлантичної осциляції та вихрової кінетичної енергії за методикою, що описана у попередньому розділі. Спочатку наведемо деякі відомості про довгострокові часові коливання в атмосфері. Стосовно вихрової кінетичної енергії насамперед можна відзначити сезонні коливання з періодом 12 місяців. Взимку величина запасів K_E (особливо північніше 30° півн.ш. [12]), збільшується, а влітку — зменшується. Не треба забувати й про феномен Ель Ніньо, періодичність якого становить від 3 до 7 років, а вплив на атмосферні процеси по всій Земній кулі є добре відомим. Останнє коливання, яке ми згадаємо, — це 11-річний сонячний цикл. Треба відзначити, що хоч на сьогодні нам не достає знання про те, як саме сонячні варіації перетворюються через взаємодію з атмосферою у зміни клімату, такий зв'язок вже відображений як для часової еволюції, так й для величини впливу (див., наприклад, [13]). Отже, довгоперіодні часові зміни інтенсивності атмосферних процесів визначаються комплексом внесків від кожного із зазначених вище (та не згаданих тут) впливів. Тому навряд чи можна, аналізуючи розкладання тільки деяких з них, або, як у нашому випадку, навіть, похідних цих впливів, виявити по всіх деталізованих компонентах стовідсоткову узгодженість сигналів. Навіть для одного вибраного деталізованого компонента цілковитий збіг для декількох сигналів є малоймовірним. Таким чином, треба застосувати якийсь кількісний критерій для вибору найінформативніших зазначених компонентів. В цьому дослідженні розглянемо коефіцієнт кореляції для компонентів деталізованого сигналу індексів Північноатлантичної осциляції та запасів вихрової кінетичної енергії (табл. 1).

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції для компонентів деталізованого сигналу

	Коефіцієнт кореляції								
	D_9	D_8	D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1
NAO – $K_{E,шир}$	0,156	0,177	0,216	0,122	0,308	0,533	0,640	0,802	0,860
NAO – $K_{E,тр}$	0,199	0,008	0,335	0,192	0,415	0,660	0,580	-0,812	-0,762
$K_{E,шир}$ – $K_{E,тр}$	0,296	0,652	0,926	0,433	0,332	0,687	0,614	-0,339	-0,324

Як можна бачити з цієї таблиці, найбільші коефіцієнти кореляції $K_{E, \text{пш}}$ — $K_{E, \text{тр}}$ відзначаються для D_7 , період якого становить 1 рік. Ці коливання пов'язані з сезонними змінами, що відбуваються в атмосфері при переході від зимового до літнього режиму. Цілком очевидно, що така висока кореляція спостерігається для більшості метеорологічних рядів з періодом 1 рік. Найбільші ж коефіцієнти кореляції між індексами NAO та запасами K_E відзначаються у низькочастотній ділянці спектра ($D_1 \div D_4$). Причому, якщо для D_3 та D_4 спостерігаються істотний зв'язок між $K_{E, \text{пш}}$ та $K_{E, \text{тр}}$, то для інших двох він має протилежний знак і не такий суттєвий, що зумовлює ситуацію, коли для компонентів D_2 та D_1 коефіцієнти кореляції NAO — $K_{E, \text{пш}}$ та NAO — $K_{E, \text{тр}}$ мають протилежні знаки. Отже, для подальшого розглядання візьмемо деталізовані компоненти D_4 та D_3 . Розглядання сигналів з довжиною періоду більше 20 років (як, наприклад, у D_2 та D_1) у нашому випадку немає сенсу через те, що довжина усього періоду, що розглядається, становить трохи більше 42 років.

На рис. 1 показаний деталізований компонент D_4 , який інтересний тим, що період коливань цього сигналу становить від 4 до 8 років, а саме на такі тривалості припадає максимум аномалій атмосферного тиску, як показано Е.Д. да Костой та Е.К. де Верд'є [14], хоч треба відзначити що у своїх розрахунках вони використовували інший математичний апарат. Також, рисунок 1 підтверджує особливу перевагу вейвлет-розкладання, а саме його гнучкість у припасуванні до локальних змін періоду NAO, який може змінюватися у досить широких межах. Через те, що вейвлети містять чіткі мінімуми та максимуми, вони враховують реальні оцінки довжини циклу.

Перше, що показує рис. 1, є більша узгодженість між індексами NAO та запасами K_E з липня 1960 до січня 1990 рр. Коефіцієнт кореляції для цього періоду становить 0,76 для NAO — $K_{E, \text{пш}}$ та 0,70 для NAO — $K_{E, \text{тр}}$ (для періоду 01/90 — 02/03 ці коефіцієнти є, відповідно, -0,05 та 0,58). Також можна казати про те, що при різкіших змінах індексів NAO відбуваються такі ж істотні зміни у запасах вихрової кінетичної енергії. Взагалі, те що зміни фаз Північноатлантичної осциляції та запасів K_E у тропіках відбуваються синхронно з періодом більше за 4 роки, є невеликим сюрпризом. Але тут можна згадати, що періодичність Ель Ніньо, як вже відзначалося вище, становить від 3 до 7 років, а коефіцієнт кореляції між індексами Північноатлантичної та Південної (що визначає інтенсивність Ель Ніньо) осциляцій для періоду з середини 60-х до середини 80-х років минулого сторіччя становить 0,60, а після 1985 року до сьогодні — -0,51. Таким чином, зв'язок між змінами індексів NAO та запасів K_E у помірних та тропічних широтах залежить від того, у фазі чи протифазі з Північноатлантичною є Південна осциляція. У першому випадку цей зв'язок є більш істотним.

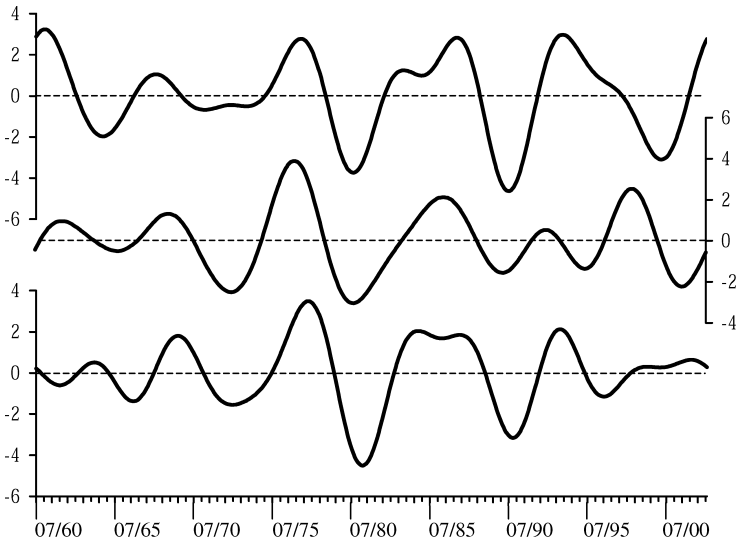


Рис. 1. Деталізований компонент D_4 для індексів NAO (верхня панель) і запасів KE у помірних широтах (середня панель) та у тропіках (нижня панель)

Тепер розглянемо деталізований компонент D_3 (рис. 2). По-перше, він характеризує домінуючі протягом довгого періоду часу позитивної, чи негативної, фази NAO. Добре відомо [15], що з середини 1950-х років по 1979 рік переважувала негативна фаза NAO. Взимку 1979-80 року відбувся перехід до позитивної фази, яка тривала до зими 1994-95 року. На протязі цього 15-тирічного інтервалу істотна негативна фаза спостерігалася лише у 1984-86 роках. Але з листопада 1995 року знову відбувся перехід до негативної фази. Всі ці коливання добре відображуються на рис. 2 (верхня панель). По-друге, у період тривалої негативної фази NAO до січня 1980 року коефіцієнти кореляції NAO — $K_{E,ши}$ та NAO — $K_{E,тр}$ становлять 0,09 та 0,37, відповідно, тоді як для другої половини періоду, що розглядається, ці коефіцієнти є 0,76 та 0,68. Тобто, коли фаза NAO має тенденцію до різкіших змін, її вплив на запаси вихрової кінетичної енергії як у помірних широтах, так й у тропіках, є набагато істотним. Це можна пояснити тим, що у періоди, коли NAO змінює свою фазу, перебудова баричного поля охоплює більшу частину позатропічних широт, а також і тропіків, як це видно з рис. 2, Північної півкулі, причому виникає значна меридіанальність повітряних потоків і, таким чином, збільшуються запаси K_E . Відзначимо, що період D_3 для індексів NAO становить від 9 до 13 років, що в середньому дає приблизно 11-річний цикл сонячних плям. Але залежності між цими двома сигналами не було виявлено.

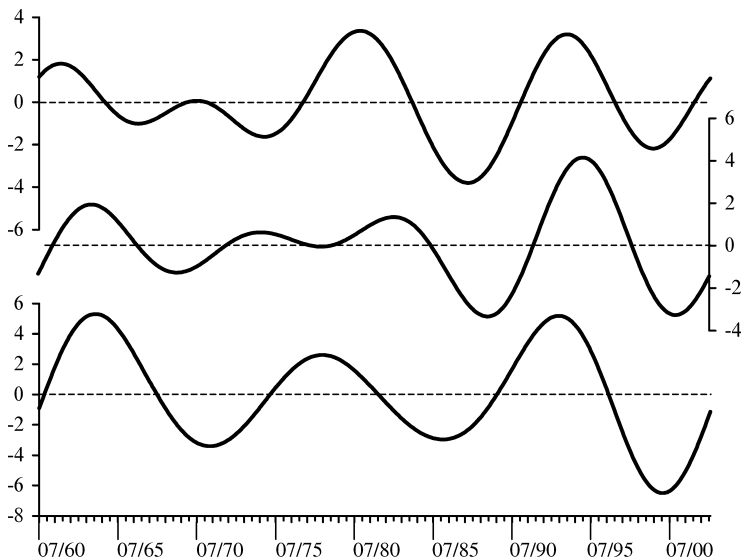


Рис. 2. Деталізований компонент D3 для індексів NAO (верхня панель) і запасів KE у помірних широтах (середня панель) та у тропіках (нижня панель)

4. Висновки

Перевагою застосування запропонованого в цьому дослідженні розкладення є те, що з його допомогою стає можливим ізолювання коротко- та довготермінових компонентів, причому підтримується достатня гнучкість для змін довжини циклу. Використовуючи вейвлет-розкладення, що ґрунтується на стаціонарному вейвлет-перетворенні, були виявлені деякі первинні періодичності для індексів Північноатлантичної осциляції, такі як 4-8-річна, на яку припадає максимум аномалій атмосферного тиску, а також природна зміна домінуючих фаз NAO. Ці виявлені коливання були проаналізовані разом із запасами вихрової кінетичної енергії у помірних та тропічних широтах. Основні результати такого спільного аналізу можна стисло викласти таким чином.

1) Коли фази Північноатлантичної та Південної осциляції змінюються синхронно з періодом 4-8 років, зв'язок між змінами індексів NAO та запасами K_E є істотним; коли ж зазначені осциляції перебувають у протифазі — коефіцієнт кореляції NAO — $K_{E, \text{min}}$ стає несуттєвим, а коефіцієнт кореляції NAO — $K_{E, \text{тр}}$ неістотно зменшується. Тобто, можна казати про вплив на запаси вихрової кінетичної енергії не тільки Північноатлантичної, але й Південної осциляції.

2) Коли фаза NAO має тенденцію до різкіших змін, її вплив на запаси вихрової кінетичної енергії як у помірних широтах, так й у тропіках, є набагато істотним, ніж для випадку тривалого домінування однієї фази.

Отже, можна відзначити, що використаний метод досить добре відображає фізичні закономірності динаміки великомасштабних атмосферних процесів, тепло-, масо-, енергообміну і дозволяє детально з'ясувати їх характеристики. Тому його застосування у фізиці атмосфери, описі процесів тепло-масо-обміну є цілком виправданим, й на наш погляд, досить ефективним.

Література

1. Morlet J., Arens G., Fargeau E., Giard D. Wave propagation and sampling theory // *Geophysics*.—1982—Vol.47.—P.203–236.
2. Goupillaud P., Grossman A., Morlet J. Cycle-octave and related transforms in seismic signal analysis // *Geoexploration*. — 1984. — Vol. 23. — P. 85-102.
3. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // *Успехи физических наук*. — 1996. — Т. 166. — С. 1145-1170.
4. Torrence C., Webster P.J. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system // *J. Climate* — 1999.—Vol. 12.—P. 2679-2690.
5. Glushkov A., Khokhlov V. Teleconnection, Hadley cells, energy and momentum balance, in: Zuev V D (ed.) // *Physics of atmosphere and ocean*.—2001.—P.133-138.
6. Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns // *Mon. Wea. Rev.* — 1987. — Vol. 115. — P. 1083-1126.
7. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам: Пер. с англ. — Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001. — 464 с.
8. Goswami J.C., Chan A.K. Fundamentals of wavelets: theory, algorithms, and applications. — Wiley-Interscience, 1999. — 306 p.
9. Fligge M., Solanki S., Beer J. Determination of solar cycle length variations using the continuous wavelet transform // *Astronomy and Astrophysics*. — 1999. — Vol. 346. — P. 313-321.
10. Nason G., von Sachs R., Kroisand G. Wavelet processes and adaptive estimation of the evolutionary wavelet spectrum // *J. Royal Stat. Soc.* — 2000. — Vol. B-62. — P. 271-292.
11. Kistler R., Kalnay E., Collins W., Saha S., White G., Woollen J., Chelliah M., Ebisuzaki W., Kanamitsu M., Kousky V., van den Dool H., Jenne R., Fiorino M. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* — 2001. — Vol. 82. — P. 247-267.
12. Глушков А.В., Хохлов В.М. Атмосферный влаго-тепло-перенос, телеконнекция и баланс энергии, углового момента // *Физика аэродисперсных систем*. — 2003. — Вып. 39. — С. 34-41.

13. Haigh J.D. Modelling the impact of solar variability on climate // J. Atmos. Solar Terr. Phys.—1999.—Vol.61.—P.63-72.
14. da Costa E., de Verdiere A. The 7.7-year North Atlantic Oscillation // Q.J.R. Meteo. Soc.—2002.—Vol.128.—P.797-817.
15. Hurrell J.W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation // Science. — 1995. — Vol. 269. — P. 676-679.

А. В. Глушков, В. Н. Хохлов, И. А. Цененко

Применение вейвлет-разложения для анализа запасов вихревой кинетической энергии, процессов тепло-массо-энерго-переноса в атмосфере

АННОТАЦИЯ

Стационарное вейвлет-разложение применяется для анализа временных флуктуаций индексов Североатлантической осцилляции (NAO), ее связи с запасами вихревой кинетической энергии, процессами тепло-массо-энерго-переноса в атмосферной среде (в умеренных и тропических широтах). Преимуществом такого метода является возможность изолирования коротко- и долгосрочных компонентов. При анализе были выявлены первичные периодичности для индексов Североатлантической осцилляции, такие как 4-8-летняя и природная смена доминирующих фаз NAO. Показано, что когда фазы Североатлантической и Южной осцилляций изменяются синхронно с периодом 4-8 лет, связь между изменениями индексов NAO и запасов K_E наиболее существенна. Также, когда фаза NAO имеет тенденция к резким изменениям, ее влияние на запасы вихревой кинетической энергии как в умеренных широтах, так и в тропиках, процессы массо-, тепло-, энерго-переноса намного существеннее, чем в случае продолжительного доминирования одной фазы.

Using wavelet-decomposition for analysis of content of the eddy kinetic energy, heat-, mass-,energy transfer processes in the atmosphere

ANNOTATION

The stationary wavelet-decomposition is employed for analysis of the temporal variations of the North Atlantic Oscillation (NAO) indices and its connection with the content of eddy kinetic energy (K_E) in moderate and tropical latitudes. The advantage of this method is to isolate short- and long-term components. Analysis reveals basic periodicities for the North Atlantic Oscillation indices such as the 4-8-year and natural change of the NAO dominant phase. It is shown when the phases of the North Atlantic and Southern Oscillations vary synchronously with the 4-8-year period the connection between the fluctuations of the NAO indices and K_E content is most considerable. When the NAO phase have a tendency of sharp variations, its influence on the eddy kinetic energy content for both mid-latitudes and tropics is much more essential than for the long-term domination of single phase.