

ПОИСК ВЛИЯНИЯ ЛИТОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ИОНОСФЕРНЫЙ СЛОЙ F_2 МЕТОДАМИ НЕПРЕРЫВНОГО И ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Богданов В.В., Павлов А.В.

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
Паратунка, Елизовский р-н, Камчатский край, mdls@yandex.ru*

Введение

В данной работе проводился поиск проявлений литосферных процессов на ионосферных высотах в слое F_2 , которые могли бы быть отнесены к возможным прогностическим признакам сильных землетрясений п-ова Камчатка. Исследования влияния литосферных процессов в сейсмоактивных районах на формирование предвестников на ионосферных высотах показали, что одним из чувствительных параметров является критическая частота foF_2 . Однако регистрация надежного прогностического признака сейсмического события в вариациях ионосферных параметров сталкивается с серьезными трудностями, которые заключаются в том, что они проявляется на фоне возмущений, инициированных солнечной активностью.

Методика исследования

Для выявления аномальных эффектов в сигналах критической частоты foF_2 п-ва Камчатка накануне сильных землетрясений (энергетический класс $K > 12.5$), произошедших на расстоянии $R \sim 200$ км от г. Петропавловска-Камчатского в 2000, 2001 и 2002 гг., из исследуемого сигнала вычитался сигнал foF_2 г. Магадана за аналогичные периоды. Поскольку г. Магадан расположен в зоне со слабой сейсмической активностью, полагаем, что ионосферный слой F_2 в данном районе практически не испытывает влияния литосферных процессов.

К найденной разнице сигналов критической частоты были применены методы непрерывного и дискретного вейвлет-преобразования. Конструкция вейвлет-разложения дает возможность детально исследовать структуру нестационарных сигналов и выявить как локальные высокочастотные, так и глобальные крупномасштабные составляющие сигнала, что облегчает анализ и изучение скрытых различными шумовыми факторами закономерностей, содержащихся в сигнале [1]. В качестве базисных функций в процессе разложения использовались ортогональные вейвлеты Добеши 3-го порядка. Данные базисные функции имеют компактный носитель, что позволяет получать при обработке разрывных функций результаты с наименьшей погрешностью. Кроме этого, выбранные базисные функции хорошо согласуются с формой исследуемых сигналов.

Вычисление коэффициентов непрерывного вейвлет-преобразования выполнялось по формуле (1):

$$(W_{\Psi} f)(b, a) := |a|^{-1/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \overline{\Psi\left(\frac{x-b}{a}\right)} dx, \quad (1)$$

где $f(x)$ – исследуемый сигнал, $\Psi(t)$ – базисный вейвлет, $f(x) \in L^2(R)$, $a, b \in R$, $a \neq 0$ [3].

Вейвлет-коэффициенты были вычислены для масштабирующего параметра $a = 32 \div 1024$.

Дискретное вейвлет-преобразование основано на представлении исследуемого сигнала в виде совокупности последовательных приближений аппроксимирующей и детализирующей составляющих с последующим их уточнением итерационным методом. Любая функция $f \in L^2(R)$ полностью может быть разложена до n -ого уровня по ортонормальному вейвлет-базису $(\Psi_{j,k}, \Phi_{j,k})$ в сумму:

$$f(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_{j_n,k} \Phi_{j_n,k}(x) + \sum_{j=j_n}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{j,k} \Psi_{j,k}(x) \quad (2)$$

Аппроксимирующие $a_{j,k}$ и детализирующие $d_{j,k}$ коэффициенты содержат информацию о составе сигнала на разных масштабах. Их можно вычислить с помощью итерационных формул быстрого вейвлет-преобразования:

$$a_{j+1,k} = \sum_m h_m a_{j,2k+m} \quad (3)$$

$$d_{j+1,k} = \sum_m g_m a_{j,2k+m} \quad (4)$$

$$a_{0,k} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\varphi(x-k)dx \quad (5)$$

Коэффициенты h_m и g_m однозначно определяют вейлеты $\varphi(x)$ и $\psi(x)$, и находятся из решения уравнений [2]:

$$\varphi(x) = \sqrt{2} \sum_m h_m \varphi(2x-m) \quad (6)$$

$$\psi(x) = \sqrt{2} \sum_m g_m \varphi(2x-m) \quad (7)$$

Для исследуемых сигналов критической частоты дискретное вейлет-преобразование производилось до 4-го уровня разложения включительно.

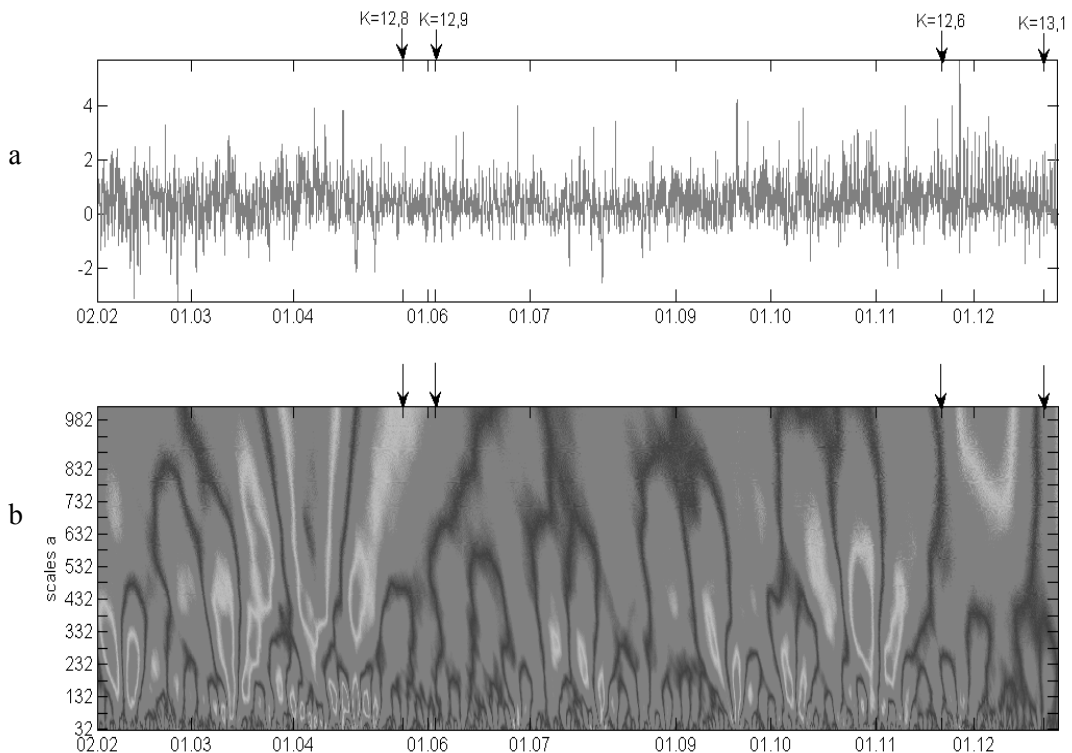
Результаты

Результаты вычисления коэффициентов непрерывного вейлет-преобразования представлены в виде спектрограмм на рис. 1b, 2b, 3b. На рис. 1c, 2c, 3c представлены коэффициенты аппроксимирующей компоненты сигнала 4-го уровня, а на рис. 1d, 2d, 3d – коэффициенты, детализирующей компоненты сигнала 4-го уровня. Из каталога землетрясений Камчатского полуострова, предоставленного КФ ГС РАН, были выбраны землетрясения с энергетическим классом $K > 12.5$, произошедшие за рассматриваемые временные периоды на расстоянии $R \sim 200$ км от г. Петропавловска-Камчатского. Ниже на рисунках крупные сейсмические события отмечены стрелками на временной оси. Над стрелкой показана величина энергетического класса землетрясения.

Выводы

На рисунках, содержащих результаты вейлет-разложений, не удалось выделить ярко выраженных аномалий в поведении вейлет-коэффициентов накануне сильных землетрясений. Но следует отметить, что на графиках, содержащих непрерывное вейлет-разложение (рис. 1b, 2b, 3b) и аппроксимирующие компоненты (рис. 1d, 2d, 3d), коэффициенты вейлет-разложений принимают наибольшие значения в весенние и осенние периоды. В эти же периоды наблюдалась повышенная сейсмическая активность, и были зарегистрированы сейсмические события с наибольшими энергетическими классами.

2000 г.



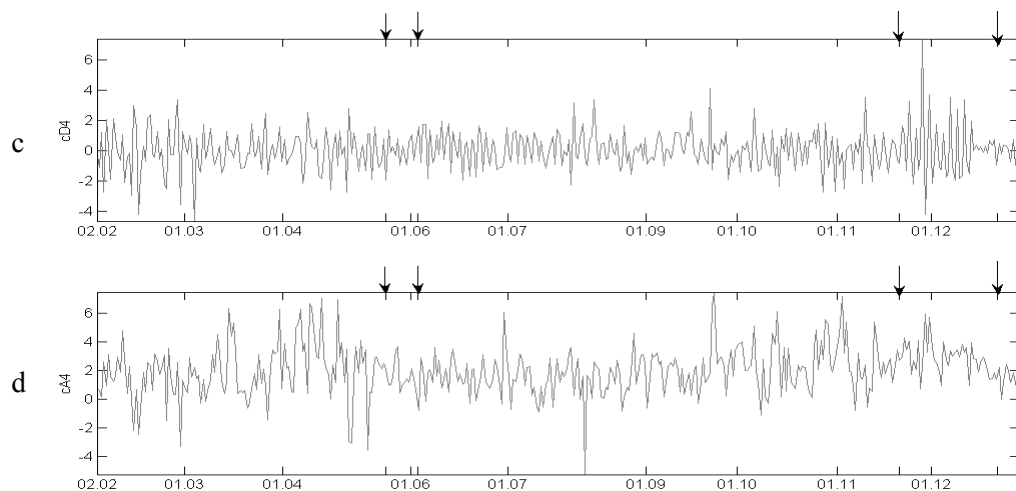


Рис. 1. Вейвлет-разложение разницы сигналов критической частоты f_oF_2 на п-ве Камчатка и г. Магадана за 2000 г.: а - исходный сигнал разности критических частот f_oF_2 ; б - непрерывное вейвлет-разложение сигнала разности; с - детализирующая компонента 4-го уровня разложения; d - аппроксимирующая компонента 4-го уровня разложения.

2001 г.

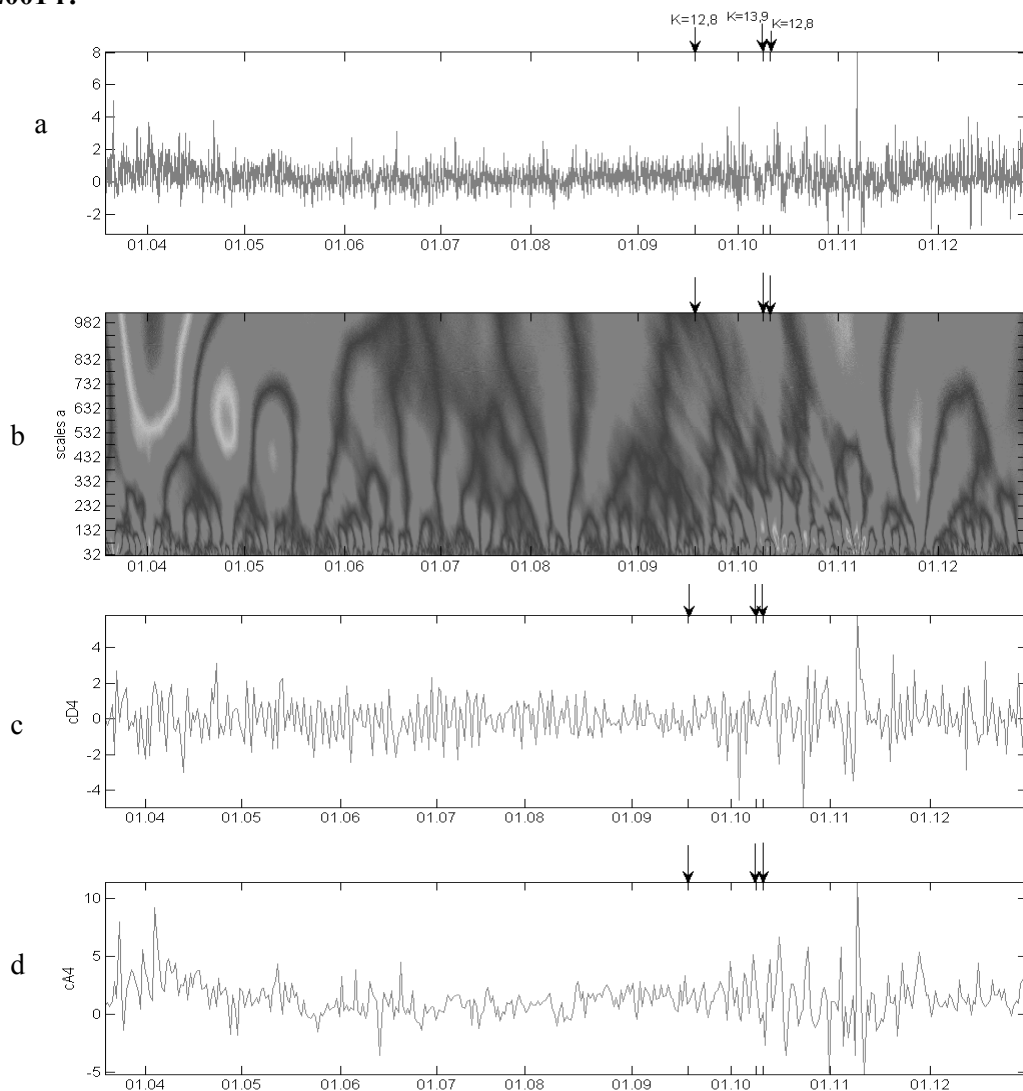


Рис. 2. Вейвлет-разложение разницы сигналов критической частоты f_oF_2 на п-ве Камчатка и г. Магадана за 2001 г.: а - исходный сигнал разности критических частот f_oF_2 ; б - его непрерывное вейвлет-разложение; с - детализирующая компонента 4-го уровня разложения; d - аппроксимирующая компонента 4-го уровня разложения.

2002 г.

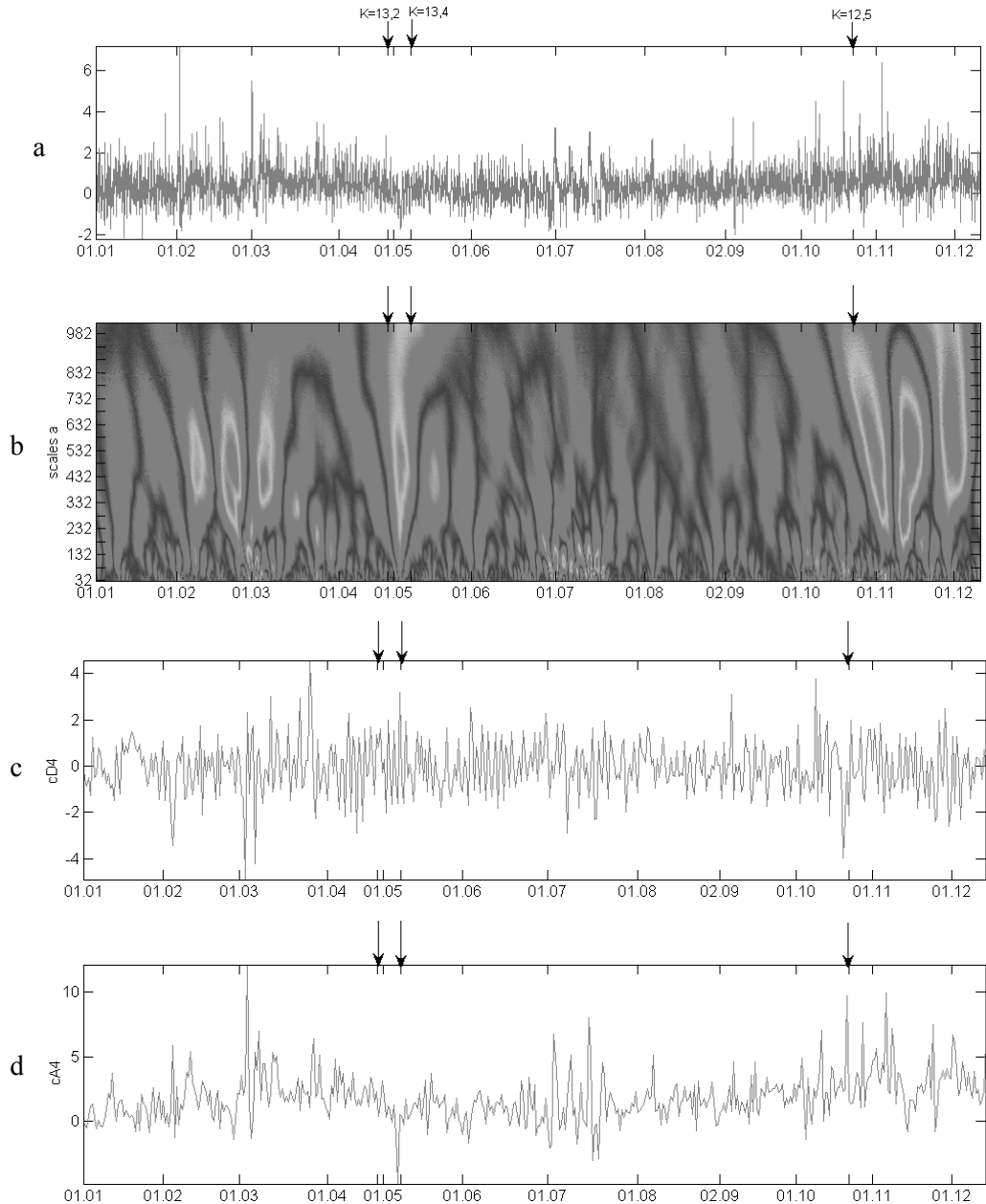


Рис. 3. Вейвлет-разложение разницы сигналов критической частоты $f_0 F_2$ на п-ве Камчатка и г. Магадана за 2002 г.: а - исходный сигнал разности критических частот $f_0 F_2$; б - его непрерывное вейвлет-разложение; с- детализирующая компонента 4-го уровня разложения; d - аппроксимирующая компонента 4-го уровня разложения.

Список литературы

1. Богданов В.В., Геппенер В.В., Мандрикова О.В. Моделирование временных рядов геофизических параметров на основе вейвлет-преобразования. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2006. 108 с.
2. Дремин И.М., Иванов О.В., Нечитайло В.А. Вейвлеты и их использование // Успехи физических наук. 2001. Т. 171. № 5. С. 465-501.
3. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 464 с.