

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕВОЗМУЩЕННОЙ ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ-ПАКЕТОВ

О.В. Мандрикова¹, И.С. Соловьёв², С.Э. Смирнов³

^{1, 2}Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский, 683003;

³Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,

Камчатский край, с. Паратунка, 684034

e-mail: oksanam1@mail.kamchatka.ru

Работа посвящена автоматизации процедуры вычисления индекса геомагнитной активности K , сложности реализации которой связаны с определением невозмущенной вариации геомагнитного поля в автоматическом режиме. В работе предложен метод идентификации спокойной вариации геомагнитного поля с использованием аппарата вейвлет-пакетов. Путем обработки статистических данных доказана эффективность метода.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, индекс геомагнитной активности, данные магнитного поля Земли.

Automated procedure of calculation of nonperturbed variation of geomagnetic activity on the basis of wavelet-packets. O.V. Mandrikova¹, I.S. Solovyev², S.E. Smirnov³ (^{1, 2}Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia, 683003; ³Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Kamchatka Region, Paratunka, 684034)

Automatization of procedure of geomagnetic activity K calculation is discussed. The complexity of realization of this procedure is connected to determining nonperturbed variation of geomagnetic field in automatic mode. Identification method of nonperturbed variation of geomagnetic field with the help of wavelet-packet device is proposed. The efficiency of this method is proved based on the statistic data.

Key words: wavelet transformation, geomagnetic activity index, Earth's magnetic field data.

Невозмущенная вариация геомагнитного поля, называемая Sq -кривой (*Solar quiet* – вариация), обусловлена токовой системой, возникающей на освещенной стороне Земли на высоте слоя E ионосферы [1, 2]. Она определяется из магнитограмм высокого уровня профессиональной подготовки персоналом магнитной обсерватории, является средней сглаженной кривой нескольких, наиболее близких к текущей дате, спокойных составляющих напряженности магнитного поля. Sq -кривая необходима для вычисления K -индекса, который введен Дж. Бартельсом в 1938 г., и является одной из характеристик магнитного поля Земли. Он характеризует меру интенсивности геомагнитных возмущений в месте регистрации и используется в широком круге научных и прикладных задач физики атмосферы, ионосферы, распространения радиоволн и др.

Существующие методы автоматизации процедуры определения K -индекса не обеспечивают требуемую точность [1, 2]. Существенные погрешности некоторых из предложенных методов связаны с отсутствием средств адаптации к изменчивости Sq -кривой с течением времени. Эти методы основаны на предварительной обработке исходных магнитных данных, преобразующей их и, как следствие, искажающей конечный результат получения K -индекса.

Составляющие напряженности магнитного поля (магнитные сигналы) являются нестационарными и имеют сложную внутреннюю структуру, включают трендовые компоненты и различные по длительности, амплитуде и частоте флуктуации, характеризующие меру интенсивности возмущений магнитного поля и определяющие наличие либо отсутствие возмущений.

Авторами разработан метод автоматической идентификации возмущений в магнитном сигнале, основанный на конструкции вейвлет-пакетов [3, 4]. Ортонормированные базисы вейвлет-пакетов используют сопряженные зеркальные фильтры для разбиения частотной оси на отдельные интервалы различных размеров, что позволяет идентифицировать различные типы частотно-временных структур, формирующих сигнал, и провести их детальный анализ. Это дает возможность исследовать магнитные сигналы с достаточной степенью локализации, выделить содержащиеся в нем возмущения и определить их интенсивность [5], а следовательно, реализовать

процедуру определения спокойной суточной вариации в автоматическом режиме, полностью соответствующую ручному способу ее выделения.

Описание метода

Конструкция вейвлет-пакетов предполагает рекурсивное разделение сигнала на компоненты, образующие дерево пространств, которое представляют в виде двоичного дерева (рис. 1), называемого в вейвлет-теории *деревом пространств вейвлет-пакетов*.

С каждым узлом j, p двоичного дерева связывают пространство U_j^p . В результате обработки магнитных сигналов они раскладываются на вейвлет-компоненты (рис. 2). В качестве базисной функции использовались вейвлеты Добеши третьего порядка.

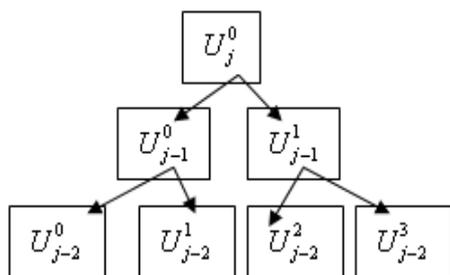


Рис. 1. Двоичное дерево пространств вейвлет-пакетов

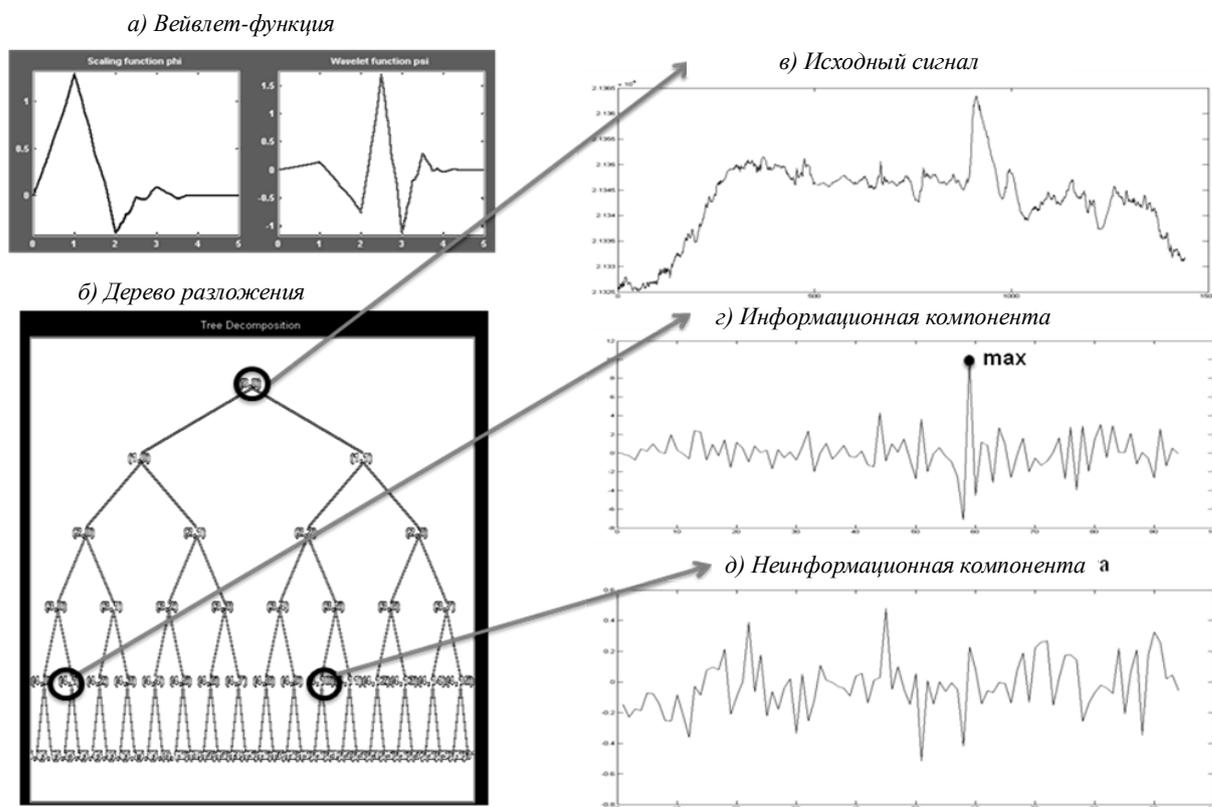


Рис. 2. Вейвлет-разложение суточной вариации магнитного поля 23.02.2008:

a – вейвлет-функция по базису Добеши 3; b – дерево разложения; $в$ – компонента разложенного сигнала U_0^0 ; $г$ – компонента разложенного сигнала U_{-4}^1 ; $д$ – компонента разложенного сигнала U_{-4}^{10} .

На оси Ox отмечены отсчеты сигнала (1 отсчет – 1 минута), на оси Oy – значения H компоненты магнитного поля Земли (в нТл); $г, д$ – значение вейвлет-коэффициентов

На рис. 2, $в$ компоненте U_0^0 соответствует исходный сигнал за сутки. Можно заметить, что во второй половине дня есть возмущение магнитного поля. Это возмущение отразилось в компоненте U_{-4}^1 в виде максимального значения (рис. 2, $г$). Таким образом, операция выделения возмущений может быть построена путем определения максимальных значений вейвлет-коэффициентов. Компонента U_{-4}^{10} не является информативной, так как данное возмущение на ней не отразилось. Исследования с магнитными сигналами показали, что для выявления возмущений информативными являются ветки дерева вейвлет-пакета $U_{-3}^1, U_{-4}^1, U_{-4}^3, U_{-4}^5, U_{-4}^6, U_{-5}^1, U_{-5}^2, U_{-5}^3, U_{-5}^5, U_{-5}^6, U_{-5}^7$ (рис. 3).

Многомасштабные возмущения проявляют себя на нескольких масштабных уровнях $j, j \in I_M$ (I_M – множество индексов компонент, содержащих многомасштабные особенности). Поэтому они могут быть идентифицированы на основе проверки условия

$$\sum_{j \in I_M} |d_n^j| > T_{\text{спок}},$$

где $T_{\text{спок}}$ – пороговое значение, определяющее наличие в сигнале многомасштабного возмущения.

Результаты экспериментов с магнитными данными за 2008 г. показали, что предложенный метод позволил выявить возмущения магнитного поля и реализовать процедуру идентификации спокойной суточной вариации в автоматическом режиме, которая по методике полностью соответствует ручному способу ее определения.

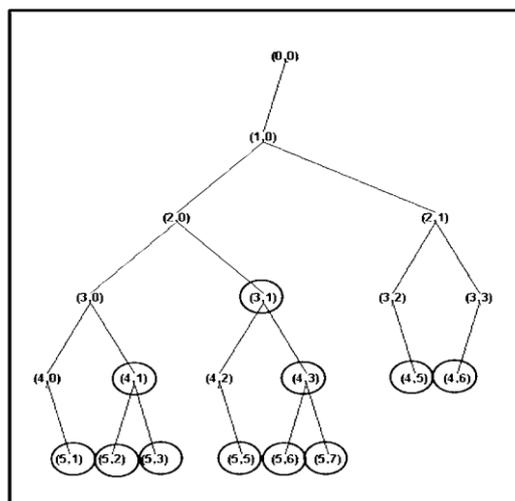


Рис. 3. Информативные компоненты вейвлет-пакета (черным кругом отмечены информативные компоненты)

Литература

1. Космическая среда вокруг нас / Н. Будько, А. Зайцев, А. Карпачев, А. Козлов, Б. Филиппов. – Троицк: ТРОВАНТ, 2006. – 232 с.
2. Головкин В.П., Патташвили В.О., Патташвили Н.Е. Автоматизированное вычисление K -индексов с использованием метода естественных ортогональных составляющих // Геомагнетизм и аэрономия. – 1989. – Т. 29, № 4. – С. 667–670.
3. In. Daubechies. Ten Lectures on Wavelets / Пер. с англ. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
4. St. Mallat. A Wavelet tour of signal processing / Пер. с англ. – М.: Мир, 2005.
5. Мандрикова О.В. Моделирование геохимических сигналов на основе вейвлет-преобразования. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 123 с.