

Вейвлет-модель вариаций геомагнитного поля и её применение в задаче обнаружения геомагнитных возмущений

О.В. Мандрикова¹, А.И. Родоманская¹

¹Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, Мирная 7, с. Паратунка, Камчатский край, Россия, 684034

Аннотация

В работе предложена вейвлет-модель вариаций геомагнитного поля, описывающая регулярные изменения и спорадические особенности в периоды повышения геомагнитной активности. Численная реализация модели обеспечивает возможность её применения в режиме, близком к реальному времени. На примере магнитных данных станции INTERMAGNET и CARISMA, показана высокая эффективность метода для обнаружения внезапных короткопериодных аномальных изменений, представляющих интерес в задачах прогноза космической погоды.

Ключевые слова

Анализ данных сложной структуры, вейвлет-преобразование, магнитная буря

1. Введение

Работа направлена на создание методов анализа геомагнитных данных и обнаружения возмущений магнитного поля Земли. Магнитное поле чутко реагирует на изменения в околоземном пространстве – корональные выбросы и вспышки на Солнце, изменения параметров солнечного ветра, магнитные бури и суббури и др. [1]. В возмущенные периоды в магнитосфере возникают аномальные процессы, находящие отражение в регистрируемых геомагнитных данных. Магнитосферные аномалии оказывают негативное воздействие на объекты техносферы: электрические сети, системы теле-, радио и спутниковой связи и др. [напр. 2]. Поэтому своевременное обнаружение аномалий в геомагнитных данных имеет важное прикладное значение.

Традиционные подходы и методы анализа геомагнитных данных используют базовые модели временных рядов, которые включают различные операции сглаживания и позволяют изучать характерные изменения данных, но приводят к потере информации, связанной с развитием магнитных бурь. В работе предложена вейвлет-модель вариаций геомагнитного поля, описывающая регулярные изменения данных и спорадические особенности в периоды повышения геомагнитной активности. Модель реализована численно, что позволяет её использовать в автоматическом режиме. В статье представлены результаты применения модели к данным сети магнитных станций и показана её эффективность для обнаружения спорадических изменений в периоды повышения геомагнитной активности.

2. Описание метода

В работе предложена вейвлет-модель вариаций геомагнитного поля:

$$f(t) = Q^{char}(t) + D(t) + e(t) = \sum_n c_{-m,n} \phi_{-m,n}(t) + \sum_\rho \tau_\rho^{pert}(t) + e(t), \quad (1)$$

где $Q^{char}(t) = \sum_n c_{-m,n} \phi_{-m,n}(t)$ - характерная составляющая, описывающая регулярные суточные изменения поля в месте регистрации данных (представляют собой изменения элементов земного магнетизма с периодом, равным продолжительности солнечных суток);

$D(t) = \sum_{\rho} \tau_{\rho}^{pert}(t)$ – возмущенная компонента, описывающая спорадические вариации поля, возникающие в периоды повышения геомагнитной активности (периоды магнитных бурь и магнитосферных суббурь), ρ – номер компоненты; $e(t)$ – шумовая составляющая.

Идентификация компонент модели (1) основана на быстрых вейвлет-разложениях [3]. Учитывая существенную нестационарность параметров спорадической компоненты, для её идентификации используются адаптивные пороговые функции. На рисунке 1 показано применение реализованного на основе модели метода в период магнитной бури 27 сентября 2019 г. Результаты показывают эффективность подхода для обнаружения внезапных короткопериодных геомагнитных возмущений, возникающих в преддверии магнитной бури и в моменты её активных фаз.

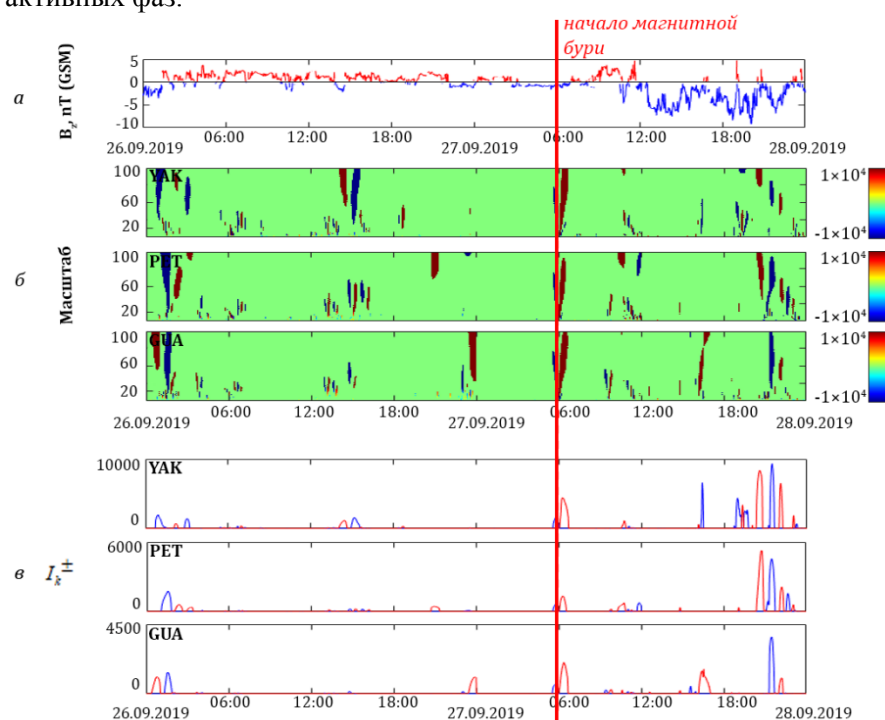


Рисунок 1: а – V_z -компонента межпланетного магнитного поля; б – выделенные геомагнитные возмущения на станциях YAK, PET и GUA; в – интенсивность возмущений

3. Заключение

На примере данных сети магнитных станции показана эффективность предложенной вейвлет-модели для обнаружения внезапных короткопериодных аномальных изменений геомагнитного поля в периоды повышенной солнечной активности и магнитных бурь. Адаптивность модели и высокое временное разрешение предлагаемого подхода позволяет исследовать внезапные мелкомасштабные вариации геомагнитного поля, представляющие интерес в задачах космической погоды.

4. Литература

- [1] Зайцев, А.Н. Резкие вариации потока ионов солнечного ветра и их отклик в возмущениях магнитного поля земли / А.Н. Зайцев, П.А. Далин, Г.Н. Застенкер // Геомагнетизм и аэрномия. – 2002. – Т. 42, № 6. – С. 752-759.
- [2] Авакян, С.В. Влияние магнитных бурь на аварийность систем электроэнергетики, автоматики и связи / С.В. Авакян, Н.А. Воронин, К.А. Дубаренко // Научно-технические ведомости СПбПУ. – 2012. – Т. 3-2, № 154. – С. 253-266.
- [3] Chui, С.К. An introduction to wavelets / С.К. Chui. – New York: Academic Press, 1992. – 264 p.