

DOI: 10.18454/2079-6641-2016-14-3-34-39

ИНФОРМАЦИОННЫЕ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
УДК 550.385

НЕЙРОСЕТЕВАЯ СИСТЕМА ПО ОЦЕНКЕ ВОЗМУЩЕННОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

О. В. Мандрикова¹, Е. А. Жижикина^{1,2}

¹ Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, 684000, Камчатский край, п. Паратунка, ул. Мирная, 7;

² Камчатский государственный технический университет, 683003, г.Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35

E-mail: oksanam1@mail.ru; ekaterinazh1@mail.ru

В работе представлена программная система по оценке степени возмущенности геомагнитного поля. Система в автоматическом режиме выполняет классификацию регистрируемых геомагнитных данных и определяет состояние геомагнитного поля за текущие сутки. Результаты апробации системы показали перспективность её применения в задачах оценки и прогноза космической погоды. Система позволяет выделять слабые возмущения геомагнитного поля, которые могут возникать накануне сильных магнитных бурь.

Ключевые слова: геомагнитное поле, нейронные сети, вейвлет-преобразование.

© Мандрикова О. В., Жижикина Е. А., 2016

INFORMATION AND COMPUTATION TECHNOLOGIES
MSC 86-04

A NEURAL NETWORK SYSTEM FOR ESTIMATION OF THE GEOMAGNETIC FIELD DISTURBANCE

O. V. Mandrikova¹, E. A. Zhizhikina^{1,2}

¹ Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation FEB RAS, 684000, Kamchatskiy kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

² Kamchatka State Technical University, 683003, Petropavlovsk-Kamchatsky, Klyuchevskaya st, 35

E-mail: oksanam1@mail.ru; ekaterinazh1@mail.ru

The paper presents our software system for estimation the degree of disturbance of the geomagnetic field. The system automatically classifies registered geomagnetic data and determines the state of the geomagnetic field for the current day. The results of approbation of the system showed the prospect of its application in problems of estimation and prediction of space weather. The system allows us to allocate weak disturbances of the geomagnetic field, which may occur before strong magnetic storms.

Key words: geomagnetic field, neural networks, wavelet-transform.

© Mandrikova O. V., Zhizhikina E. A., 2016

Введение

Работа посвящена созданию автоматических программных средств по анализу геомагнитных данных, выделению и оценке геомагнитных возмущений в периоды повышенной солнечной активности и магнитных бурь. Представлен разработанный авторами способ и основанная на нем экспертная программная система, выполняющая классификацию регистрируемых вариаций геомагнитного поля (используются N-компоненты геомагнитного поля) и определяющая его состояние в автоматическом режиме.

Регистрируемые вариации геомагнитного поля имеют сложную структуру, поэтому классические методы анализа данных малоэффективны для решения поставленной задачи и приводят к потере информации [1, 2]. Недостатком используемых классических методов и подходов также является недостаточная степень их автоматизации, что весьма важно в задачах оперативной обработки данных и прогноза космической погоды [3, 4]. В работах [2, 5, 6] показано, что эффективным способом анализа таких данных являются адаптивные вейвлет-разложения. Вейвлет-преобразование применяется в обработке и анализе сложных структур данных и позволяет исследовать нестационарные динамические зависимости [1]. В данной работе вейвлет-преобразование применяется совместно с нейронными сетями. Нейронные сети имеют широкое применение для задач классификации данных и распознавания образов [7, 8]. В настоящее время данный аппарат получает развитие в области физики и, в частности, геофизики [9, 10, 11].

Описание способа

Характеристикой состояния геомагнитного поля является K-индекс [3, 12]. В работе рассматривались три возможных состояния геомагнитного поля:

- 1) «спокойное» состояние (1 класс, если суммарный за сутки K-индекс $\sum K \leq 10$);
- 2) «слабо возмущенное» состояние (2 класс, если $10 < \sum K \leq 18$);
- 3) «возмущенное» состояние (3 класс, если $\sum K > 18$).

Оценка степени возмущенности геомагнитного поля выполняется в соответствии с описанным ниже алгоритмом.

Шаг 1. Декомпозиция анализируемой вариации геомагнитного поля на разномасштабные компоненты. С помощью операции кратномасштабного вейвлет-разложения [13] получаем коэффициенты детализирующих компонент для масштабов и вычисляем их абсолютные значения. Полученные коэффициенты характеризуют возмущенность геомагнитного поля и в периоды повышения геомагнитной активности существенно возрастают их абсолютные значения [14].

Шаг 2. Оценка состояния полученных разномасштабных компонент на основе радиальных нейронных сетей. Векторы абсолютных значений коэффициентов масштабов являются входными векторами радиальных нейронных сетей [15]. В радиальном слое каждой нейронной сети выполняется оценка меры близости входного вектора и сформированного при построении сети примера. Выходные слои нейронных сетей определяют вероятность принадлежности входных образов к соответствующему классу. Процесс построения и обучения нейронных сетей подробно описан в работе [14].

Шаг 3. Оценка состояния геомагнитного поля на основе коллектива нейронных сетей. На основе полученных решений нейронных сетей с помощью следующего правила формируется заключение о состоянии геомагнитного поля:

- если все компоненты имеют «спокойное» состояние, либо только одна из компонент имеет «слабовозмущённое» состояние, то геомагнитное поле имеет «спокойное» состояние (1 класс);

- если хотя бы одна из компонент имеет «возмущённое» состояние, то геомагнитное поле имеет «возмущённое» состояние (3 класс);

- в остальных случаях считается, что поле имеет «слабовозмущённое» состояние (2 класс).

Архитектура построенной программной системы представлена на рис. 1.

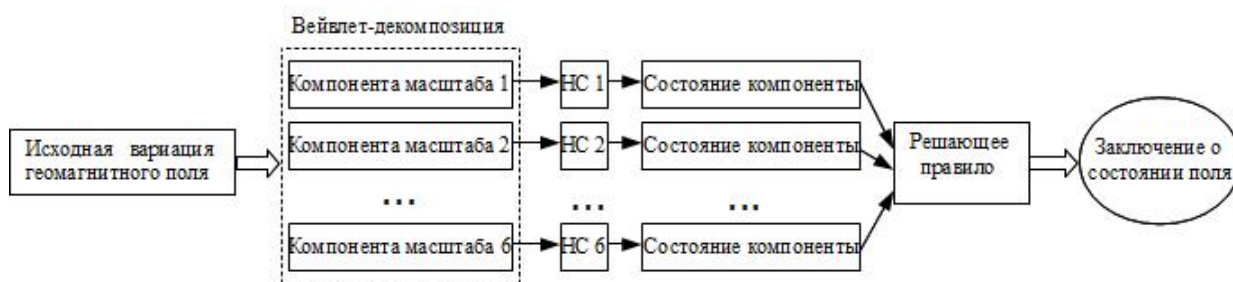


Рис. 1. Архитектура программной системы.

Результаты работы программной системы

В ходе исследования анализировались данные геомагнитного поля, полученные на станции «Паратунка» (Камчатский край, регистрацию данных выполняет ИКИР ДВО РАН) за 2013 год, которые включали 182 спокойных вариаций, 97 слабо возмущенных и 40 возмущенных. Изучены события 2013 года, суммарный за сутки К-индекс которых имел значение 19 и выше. Системой были зафиксированы слабые возмущения поля накануне 11-ти из 13-ти таких событий, при этом в четырех случаях суммарный за сутки К-индекс не превысил значение 10. Таким образом, система является чувствительной к малым вариациям геомагнитного поля и позволяет фиксировать слабые возмущения.

На рис. 2-4 показаны результаты обработки данных. В верхней части рис. 2-4 показаны значения К-индексов, ниже изображены анализируемые вариации геомагнитного поля (рис.2-4.а) и показаны результаты работы программной системы (рис. 2-4.б). Также на рис. 2-4в,г показаны результаты оценки состояния геомагнитного поля, полученные на основе алгоритма, описанного в работе [9] и реализованного в программной системе «Aurora» (система разработана в ИКИР ДВО РАН, <http://www.ikir.ru:8280/lserver/>). Видно, что накануне анализируемых событий система зафиксировала слабые возмущения поля, хотя К-индекс накануне первых 2-х событий соответствовал спокойному состоянию. Результаты применения алгоритма [9] также подтверждают возникновение слабых возмущений в геомагнитном поле.

По данным ресурса [16] на высоких широтах 7 декабря было зафиксировано постепенное начало бури в 20-00 UT, 13 декабря – поле было от спокойного до очень спокойного, 27 июня – зафиксировано постепенное начало бури в 22-00 UT.

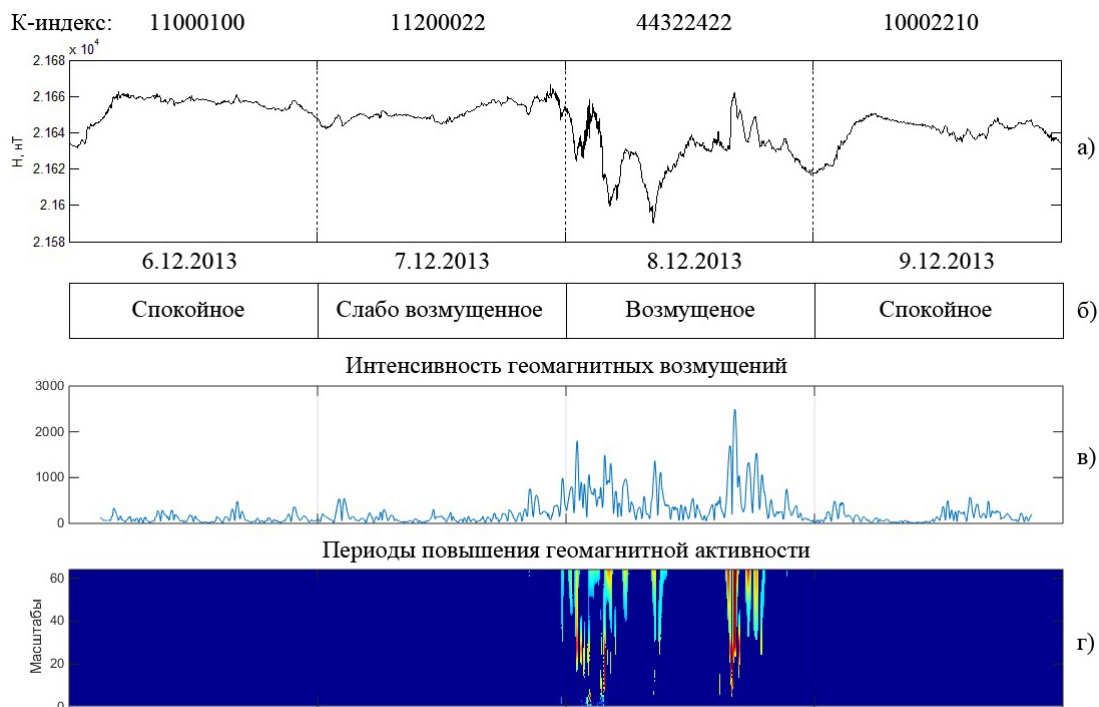


Рис. 2. Результаты обработки данных за период 6.12.2013-9.12.2013

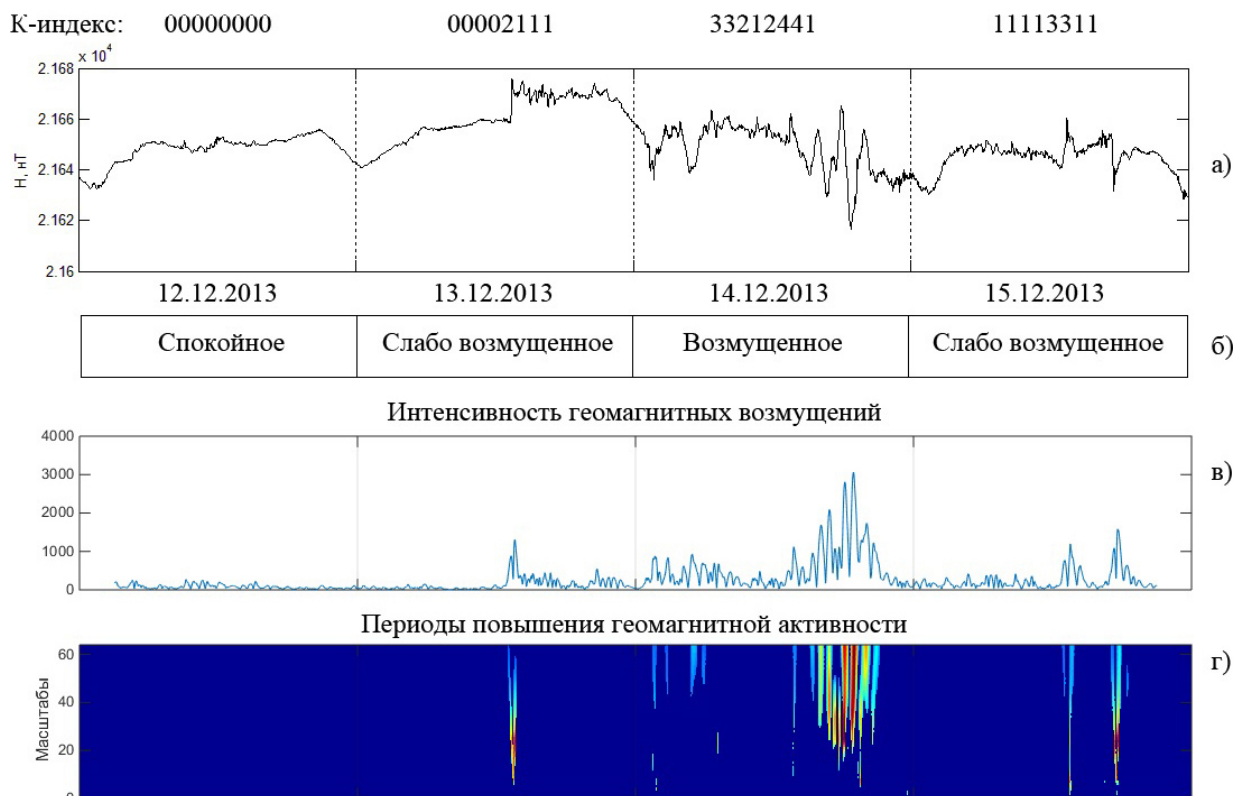


Рис. 3. Результаты обработки данных за период 12.12.2013-15.12.2013

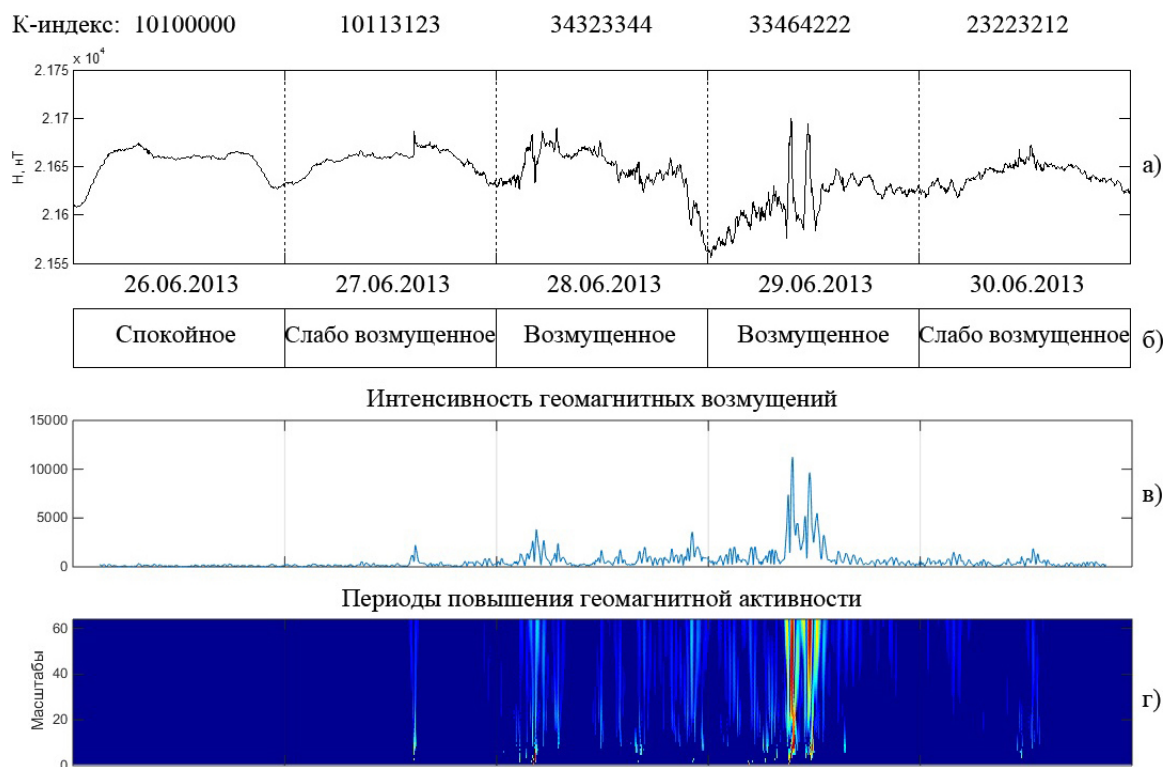


Рис. 4. Результаты обработки данных за период 26.06.2013-30.06.2013

Заключение

Результаты исследования показали перспективность применения разработанной программной системы в задачах анализа геомагнитных данных и оценки состояния геомагнитного поля. Система является чувствительной к малым вариациям геомагнитного поля и позволяет в автоматическом режиме выделять слабые возмущения, которые могут возникать накануне магнитных бурь. Открытый доступ к системе организован на сайте ИКИР ДВО РАН (<http://www.ikir.ru:8280/lserver/>).

Разработка метода оценки состояния геомагнитного поля выполнена за счет средств гранта РФФ № 14-11-00194. Первичный анализ данных выполнен за счет средств гранта РФФИ № 16-55-45007. Авторы благодарят институты, поддерживающие магнитные обсерватории, данные которых были использованы в исследовании.

Список литературы

- [1] Zaourar N., Hamoudi M., Manda M., Balasis G., Holschneider M., "Wavelet-based multiscale analysis of geomagnetic disturbance", *Earth Planets Space*, **65** (2013), 1525-1540.
- [2] Mandrikova O. V., Solovyev I. S., Geppener V. V., Klionskiy D. M., Al-Kasabeh R. T., "Analysis of the Earth's magnetic field variations on the basis of a wavelet-based approach", *Digital Signal Processing*, **23**. (2013), 329-339.
- [3] Бутько Н. И., Зайцев А. Н., Карпачев А. Т., Козлов А. Н., Филиппов Б. П. – под ред. А. Н. Зайцева, *Космическая среда вокруг нас*, ТРОВАНТ, Троицк, 2006, 232 с.
- [4] Петруковича А. А., *Солнечно-земные связи и космическая погода. Плазменная гелиогеофизика*, Наука, М., 2008, 232 с.

- [5] Kato H., Takiguchi Y., Fukayama D., Shimizu Y., Maruyama T., Ishii M., "Development of automatic scaling software of ionospheric parameters", *Journal of the National Institute of Information and Communications Technology*, 2009, № 56, 465-474.
- [6] Hamoudi M., Zaourar N., Mebarki R., Briquet L., Parrot M., "Wavelet analysis of ionospheric disturbances", *Geophysical Research Abstracts. EGU General Assembly*, **11** (2009), EGU2009-8523.
- [7] Савченко А. В., "Распознавание изображений на основе вероятностной нейронной сети с проверкой однородности", *Компьютерная оптика*, **37**:2 (2013), 254-262.
- [8] Солдатова О. П., Гаршин А. А., "Применение свёрточной нейронной сети для распознавания рукописных цифр", *Компьютерная оптика*, **34**:2 (2010), 252-259.
- [9] Mandrikova O. V., Solovev I. S., Zalyaev T. L., "Methods of analysis of geomagnetic field variations and cosmic ray data", *Earth Planet Space*, **66**:1 (2014).
- [10] Бархатова О. М., "Нелинейная связь авроральных (AU,AL) и среднеширотных (SYM-H, ASY-H) индексов геомагнитной активности на главной фазе геомагнитной бури", *Солнечно-земная физика*, 2013, № 23, 100-108.
- [11] Uwamahoro J., McKinnell L. A., Habarulema J. B., "Estimating the geoeffectiveness of halo CMEs from associated solar and IP parameters using neural networks", *Annales Geophysicae*, **30**:23 (2012), 963-972.
- [12] Заболотная Н. А., *Индексы геомагнитной активности*, Справочное пособие, Изд-во ЛКИ, М., 2007, 88 с.
- [13] Чуи Ч., *Введение в вэйвлеты*, Мир, М., 2001, 412 с.
- [14] Мандрикова О. В., Жижикина Е. А., "Автоматический способ оценки состояния геомагнитного поля", *Компьютерная оптика*, **39**:3 (2015), 420-428.
- [15] Хайкин С., *Нейронные сети: полный курс*, Издательский дом «Вильямс», М., 2006, 1104 с.
- [16] "Обзор космической погоды", URL <http://ipg.geospace.ru/space-weather-review/> (дата обращения 09.05.2016).

Поступила в редакцию / Original article submitted: 12.06.2016