

УДК: 523.985-7: 519.68

Г. П. Марченко, Ю. И. Великодский

НИИ Астрономии Харьковского национального университета
61022 Харьков, ул. Сумская 35

Интернет-робот — быстрый индикатор солнечной активности и геомагнитных бурь

Создана программа-робот, которая позволяет в режиме реального времени при предельно низком интернет-трафике получать информацию об основных параметрах солнечной активности и состоянии геомагнитного поля (<http://www.univer.kharkov.ua/astron/sw/swnow.htm>). Установлена корреляционная зависимость между изменениями напряженности геомагнитного поля на геостационарной орбите и планетарным K_p -индексом. На этом основании введен 15-минутный индекс геомагнитной возмущенности K_{p15} , который и представлен на сайте. Разработанный интернет-робот может использоваться для получения информации о состоянии космической погоды.

ІНТЕРНЕТ-РОБОТ — ШВИДКИЙ ІНДИКАТОР СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ ТА ГЕОМАГНІТНИХ БУР, Марченко Г. П., Великодський Ю. І. — Створена програма-робот, яка дозволяє у режимі реального часу при надзвичайно низькому інтернет-трафіку отримувати інформацію про головні параметри сонячної активності та стан геомагнітного поля (<http://www.univer.kharkov.ua/astron/sw/swnow.htm>). Встановлена кореляційна залежність між змінами напруженості геомагнітного поля на геостационарній орбіті та планетарним K_p -індексом. На цій основі введено 15-хвилинний індекс геомагнітного збурення K_{p15} , котрий і представлено на сайті. Розроблену програму-робота можна використовувати для одержання інформації про стан космічної погоди.

THE INTERNET-ROBOT AS A FAST INDICATOR OF SOLAR ACTIVITY AND GEOMAGNETIC STORMS, by Marchenko G. P., Velikodsky Yu. I. — The internet-robot which allows one to obtain information on the main parameters of solar activity and geomagnetic field variation via internet with a minimal traffic is developed (<http://www.univer.kharkov.ua/astron/sw/swnow.html>). The correlation between strength of geomagnetic field disturbance in geostationary orbit and planetary K_p -index is derived. On this basis we propose a new 15-minute index of geomagnetic field perturbation, K_{p15} , which is presented on our site. The internet-robot may be useful for any researchers who need operative information on space weather.

ВВЕДЕНИЕ

Для эффективного мониторинга солнечной активности необходимо использование большого количества различных данных. Важную роль при этом

играют данные, которые поступают с космических аппаратов. Они могут выступать как в качестве основных данных, так и в качестве дополнительной информации при проведении различных исследовательских программ. Например, при проведении наблюдений вспышечной эмиссии в предконтинууме Бальмера [1, 5], возникает необходимость в сопровождении их дополнительными данными о текущем состоянии солнечной активности в реальном времени. Такую информацию предоставляют различные интернет-сайты и ftp-архивы, но для их использования необходим достаточно быстрый канал связи, что не всегда доступно. В связи с этим мы приняли решение разработать специальный интернет-робот, главная задача которого — производить обработку имеющихся в интернете баз данных и предоставлять результаты в наиболее удобном и компактном виде. Веб-интерфейс этого робота мы стремились сделать наиболее универсальным для широкого круга пользователей.

Естественно, что такая программа-робот должна быть размещена на сервере, имеющем стабильный и высокоскоростной канал связи. Сервер, на котором расположен наш сайт, не вполне удовлетворяет этим требованиям, поэтому на нем находится лишь веб-интерфейс, а сама программа (cgi-скрипт для Unix-сервера) помещена на сервере, расположенном в США.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Для нашего круга задач наибольший интерес представляют следующие характеристики солнечной активности и околоземного пространства:

- поток рентгеновского излучения, возникающего при развитии мощных солнечных вспышек и вызывающего дополнительную ионизацию верхних слоев земной атмосферы;
- поток солнечных космических лучей, возникающих в результате протонных вспышек, и вызывающих повышенное радиационное облучение в околоземном и межпланетном пространстве;
- уровень возмущенности геомагнитного поля — результат воздействия потоков солнечного ветра и корональных выбросов на магнитосферу как основной фактор солнечно-земных возмущений.

Необходимые данные имеются в Центре космических данных (<http://www.sec.noaa.gov>). Они поступают туда с космических аппаратов и доступны в режиме реального времени. Для всех этих параметров разработаны шкалы баллов активности, которые позволяют прогнозировать возможные последствия от соответствующих явлений на Солнце. Все это дает необходимый материал для решения поставленной перед нами задачи разработки интернет-робота, позволяющего организовать удобный интерактивный процесс работы с большими массивами данных.

ОБЩИЙ ПОТОК РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Одной из наиболее важных характеристик солнечной активности является поток рентгеновского излучения от солнечных вспышек, который, с одной стороны, демонстрирует динамику процессов на Солнце, а с другой, характеризует, например, нарушения радиосвязи на дневной стороне Земли, вызванные ионизацией земной атмосферы [6]. Для нас этот параметр очень важен в связи с проведением наблюдательных программ по изучению процессов энерговыделения во вспышках.

Из имеющихся данных о рентгеновском излучении Солнца в режиме реального времени наиболее интересным, с точки зрения геоэффективности, является диапазон волн $\lambda = 0.1...0.8$ нм. Данные об интегральном значении этого потока поступают с космических аппаратов серии GOES, находящихся на геостационарной орбите.

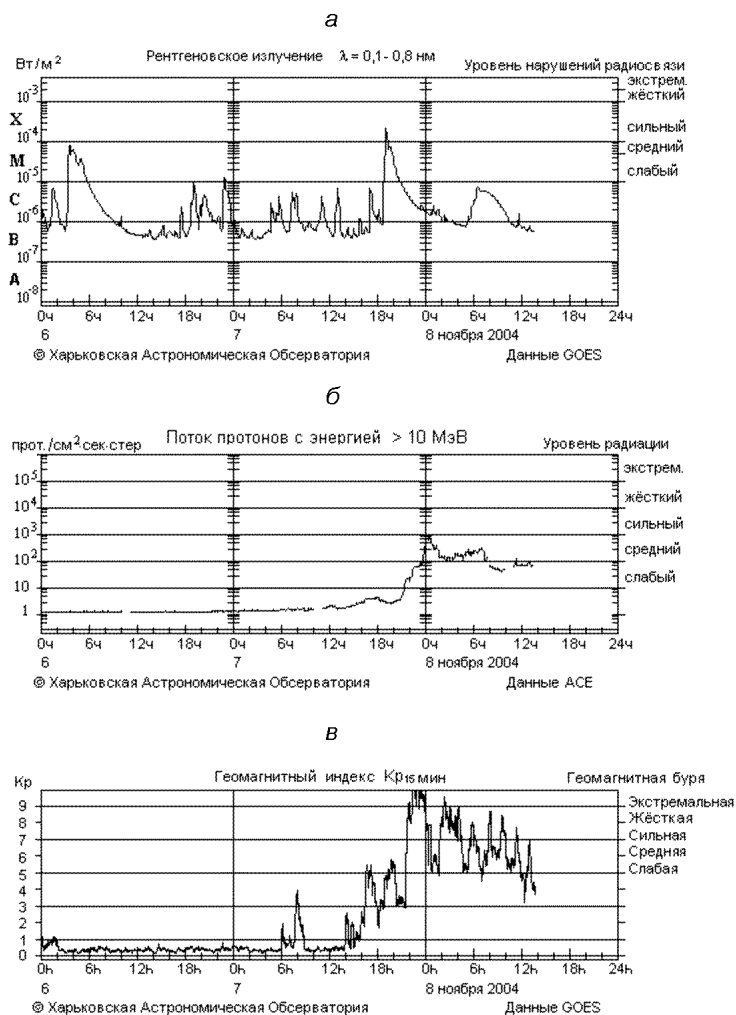


Рис. 1. Пример страницы интернет-сайта космической погоды (<http://www.univer.kharkov.ua/astron/sw/swnow.htm>) с развитием солнечной активности 6—8 ноября 2004 г.

Для отражения состояния потока рентгеновского излучения в этом диапазоне была разработана программа на языке Perl. Программа скачивает в реальном времени с сайта GOES данные измерений, производит их обработку и представляет результат в графическом виде с указанием мощности рентгеновских вспышек и баллов уровня возможных нарушений радиосвязи по шкале NOAA (рис. 1, а).

СОЛНЕЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ

Поток солнечных космических лучей (СКЛ) — важная характеристика как с точки зрения изучения возникновения и развития нестационарных процессов на Солнце, так и в связи с обеспечением безопасности пилотируемых космических полетов [3]. Данные о СКЛ, т. е. в основном о протонах с энергиями более 10 МэВ, поступают в реальном времени с аппаратов серии GOES, и с космического аппарата ACE, который расположен в точке Лагранжа L1. Однако данные аппаратов GOES подвержены влиянию радиационных поясов Земли, в которых находятся аппараты. Поэтому для нашей задачи мы использовали данные КА ACE, поскольку именно он дает поток СКЛ как характеристику солнечной активности.

Для СКЛ, как и для рентгеновского излучения, была разработана программа обработки данных, которая визуализирует мощность потока СКЛ в графическом виде и указывает уровень радиационной опасности в баллах шкалы NOAA (рис. 1, б).

ГЕОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Возмущения геомагнитного поля — наиболее важный фактор влияния солнечной активности на биосферу и на системы электрокоммуникаций [2]. Для определения степени возмущения геомагнитного поля обычно используются данные сети геомагнитных станций. По результатам измерений этих станций определяют трехчасовой K_p -индекс. Однако значения K_p -индекса не публикуются в интернете в реальном времени, да и частота их определения (каждые 3 ч) для некоторых задач оказывается слишком низкой. Поэтому мы решили использовать измерения напряженности геомагнитного поля, которые производятся каждую минуту на космических аппаратах серии GOES и в реальном времени поступают на сайт NOAA Центра космических данных. Для того чтобы по этим данным можно было оценить уровень возмущения геомагнитного поля в стандартной шкале K_p -индексов, мы изучили связь между логарифмом средней величины изменений напряженности геомагнитного поля на орбите КА и K_p -индексом, определенным сетью геомагнитных станций (рис. 2). В расчетах использовались данные за 1999—2003 гг., т. е. с начала работы аппарата GOES-10, который располагается на геостационарной орбите над Тихим океаном. За каждый 3-часовой интервал времени вычислялось среднее значение абсолютной величины минутного изменения модуля напряженности геомагнитного поля $\langle |\Delta H_{1\text{min}}| \rangle$. В результате мы получили уравнение регрессии в следующем виде:

$$K_p = 1.901 \ln(\langle |\Delta H_{1\text{min}}| \rangle) + 4.125. \quad (1)$$

Коэффициент корреляции между K_p -индексом и логарифмом среднего изменения геомагнитного поля составил $K_{\text{корр}} = 0.82$. Следует иметь в виду, что КА GOES находится на геостационарной орбите и каждые сутки заходит в хвост магнитосферы. Поэтому ряды измеряемых значений локального магнитного поля содержат изменения, которые не связаны с реальными возмущениями общего геомагнитного поля, хотя некоторые исследователи [7] считают, что именно характеристики изменений хвоста магнитосферы точнее отражают общее состояние геомагнитного поля, чем K_p -индекс.

Для того чтобы можно было оценивать состояние геомагнитного поля более подробно, чем 3-часовым K_p -индексом, нами был введен аналогичный

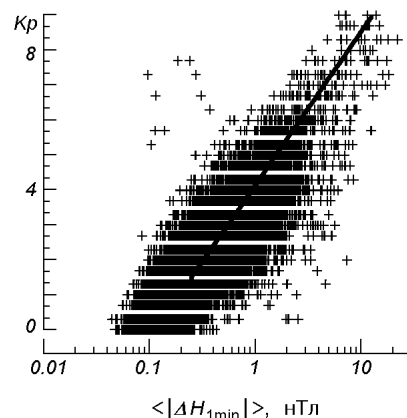


Рис. 2. Зависимость глобального K_p -индекса от изменений геомагнитного поля, измеряемого КА GOES-10

15-минутный индекс K_{p15} . Он определяется по формуле (1) за 15-минутный интервал времени. Именно этот индекс и отображается на нашем сайте в режиме реального времени (рис. 1, в).

ПРИМЕР РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Реальную работу нашего интернет-робота можно продемонстрировать на примере развития событий 6—8 ноября 2004 г. В этот период произошла серия мощных вспышек с рентгеновскими баллами M и X, 7 ноября произошла протонная вспышка, которая повысила поток СКЛ в максимуме на три порядка по сравнению со спокойным состоянием, а также пришедший к Земле корональный выброс вызвал геомагнитную бурю 7—8 ноября с максимальным баллом $K_p = 9$. Развитие этих событий можно было наблюдать на веб-странице нашего интернет-робота (рис. 1).

На сайте имеется также англоязычный вариант страницы робота: <http://www.univer.kharkov.ua/astron/sw/swnow.html>.

ВЫВОДЫ

Разработанная нами программа-робот позволяет в реальном времени следить за основными параметрами солнечной активности и состоянием геомагнитного поля. Она используется нами при проведении исследовательских наблюдательных программ для получения дополнительной информации о солнечной активности и доступна для использования через интернет по адресу: <http://www.univer.kharkov.ua/astron/sw/swnow.htm>. Насколько можно судить по интернет-статистике, результатами работы этого робота пользуются также различные службы связи, метеослужбы и просто любители астрономии. Использовать робот могут все, кто занимается исследованием солнечно-земных связей и нуждается в оперативных данных о солнечной активности.

1. Курочка Л. Н., Белкина И. Л., Белецкий С. А. и др. Наблюдения и анализ излучения активных областей на Солнце у границы бальмеровского континуума // *Астрон. журн.*—1997.—74, № 3.—С. 460—465.
2. Dorman L., Pustil'nik L., Sternlieb A., Zukerman I. NM-MT network and space dangerous phenomena. 1. Principles of major geomagnetic storms forecasting // 34th COSPAR Scientific Assembly: The Second World Space Congress; 10—19 October, 2002, Houston, TX, USA. — Houston, 2002.—abstract #E1531.
3. Golightly M. J. Space radiation environment models and data used in support of manned space flight operations // Spring Meeting 2002. — American Geophysical Union, 2002.—abstract #SH51B-11.
4. Korokhin V. V., Akimov L. A., Beletsky S. A., et al. Multi-wave station of solar monitoring // *Rom. Astron. J.*—1999.—9, Supplement.—P. 83—86.—(a special issue ASI “Advanced Solar Research at Eclipses, from Ground and from Space”; Bucharest, Romania, August 9—20 1999).
5. Kurochka L. N., Belkina I. L., Beletskij S. A., et al. CCD-observations of the Sun at the Balmer and Paschen continua // *Astron. and Astrophys. Trans.*—1999.—18, N 1.—P. 265—272.
6. Nusinov A. A., Antonova L. A., Kazachevskaya T. V., et al. 11-Year solar cycle extreme ultraviolet and soft X-ray variations according to the ionospheric E-region data and results of direct measurements // *Adv. Space Res.*—1999.—25, N 1.—P. 73—78.
7. Sotirelis T., Newell P. T., Meng C. Real-time Kp and b2i Nowcast from GOES magnetometer estimates of magnetotail stretching // Fall Meeting 2004. — American Geophysical Union, 2004.—abstract #SA51B-0244

Поступила в редакцию 16.03.05