

СВЯЗЬ МЕЖДУ D_{st} И B_z ДЛЯ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ В 23 СОЛНЕЧНОМ ЦИКЛЕ^{1,2}И.С. Веселовский, ¹Ю.С. Шугай, ¹О.С. Яковчук **D_{st} VERSUS B_z RELATION FOR GEOMAGNETIC STORMS IN THE 23rd SOLAR CYCLE**

I.S. Veselovsky, Yu.S. Shugai, O.S. Yakovchuk

В работе выполнен статистический анализ пиковых значений геомагнитного индекса D_{st} для 1497 возмущений, выявленных за период с 1997 по 2006 г. Отдельно рассмотрены случаи $D_{st} < -50$ нТл (345 событий) и $D_{st} < -100$ нТл (79 событий). На основе имеющегося материала получены эмпирические формулы связи D_{st} и B_z . Время задержки между B_z and D_{st} обычно составляет от 3 до 6 ч.

In the study, the statistical analysis of the peak values of geomagnetic index D_{st} for 1497 disturbances revealed from 1997 to 2006 was performed. The cases of $D_{st} < -50$ nT (345 events) and $D_{st} < -100$ nT (79 events) were considered in the individual way. Using available data, we obtained empirical formulae of D_{st} vs B_z relation. The D_{st} in respect of B_z delay time is usually from 3 to 6 hours.

Введение

Хорошо известно [1, 2], что B_z -компонента межпланетного магнитного поля (ММП) является главным гелиосферным параметром, ответственным за геомагнитные бури.

Например, Акасофу [1] описал связь между пиковыми значениями геомагнитного индекса D_{st} и B_z компоненты ММП как

$$\text{Min } D_{st} (\text{нТл}) \approx -7.8 |B_{z\text{min}} (\text{нТл})| + 10 (\text{нТл}). \quad (1)$$

Мы провели аналогичный статистический анализ пиковых значений D_{st} -индекса для 1497 возмущений, обнаруженных за период 1997–2006 гг.

База данных

В работе использованы значения D_{st} -индекса, взятые с сайта Мирового центра данных в Киото (WDC-C2 KYOTO) [3]. Часовые значения скорости, плотности солнечного ветра, B_x -, B_y -, B_z -компонент ММП за период 1997–2006 гг. были использованы как входные параметры для статистического и нейросетевого анализа. Параметры солнечного ветра и межпланетного магнитного поля (ММП) регистрировались космическим аппаратом ACE [4], расположенным в либрационной точке между Землей и Солнцем. Мы использовали также базу данных APEV [5] для наиболее сложных случаев.

Статистический анализ пиковых значений D_{st} и B_z -индексов

На основе имеющегося материала была получена эмпирическая формула связи D_{st} и B_z :

$$D_{st} = 6.8 B_z + 0.23. \quad (2)$$

Эта формула применима для всего набора данных (1497 событий), включая небольшие возмущения постоянного уровня шума около 20–30 нТл.

События для $D_{st} < -50$ нТл (345 случаев, (3)) и $D_{st} < -100$ нТл (79 случаев, (4)) были рассмотрены отдельно:

$$D_{st} = 7.6 B_z - 6.2, \quad (3)$$

$$D_{st} = 8.1 B_z - 2.5. \quad (4)$$

Эти формулы уточняют результаты, полученные в [1], и не противоречат им. Они удобны для быстрых оценок и реконструкций гелиосферных и гео-

магнитных ситуаций с точностью порядка 10 %.

Наиболее значимые переменные при нейросетевом прогнозировании D_{st} -индекса

При помощи анализа весовых коэффициентов нейронных сетей [10, 11] были исследованы взаимосвязи между входными переменными и прогнозируемой величиной D_{st} -индекса. В качестве входных переменных использовались скорость, плотность и B_x , B_y , B_z -компоненты ММП [6–9]. При прогнозировании непрерывного значения D_{st} -индекса наиболее значимыми переменными из всех перечисленных стали два значения B_z -компоненты ММП, первое и последнее во временном окне (время формирования прогнозируемой величины – от 6 до 9 ч, на котором обучалась нейронная сеть из комитета. При прогнозировании события с $D_{st} < -100$ нТл, для нейронной сети из комитета, давшей наилучший прогноз, наиболее значимой переменной явились значения B_z -компоненты ММП, задержанные на 3–5 ч от момента прогнозирования. Определенную роль сыграли также значения B_y -компоненты ММП, задержанные на 10–12 ч и значения плотности солнечного ветра, задержанные на 9 ч. Полученные оценки значимости параметров солнечного ветра частично согласуются с [12]. Время задержки между B_z и D_{st} связано с магнитосферным временем конвекции и неизолированностью потока солнечного ветра. Многократные начала магнитных бурь инициируются постоянными солнечными и межпланетными возмущениями, благодаря нелинейной суперпозиции которых фаза восстановления длится многие часы.

Заключение

Выполнен статистический анализ пиковых значений B_z и D_{st} -индексов для 1497 событий, выявленных за период 1997–2006 гг. На основе этого материала получены эмпирические формулы связи D_{st} и B_z , которые полезны для быстрых оценок гелиосферных и геомагнитных ситуаций с точностью порядка 10 %.

Применение этих формул может дать косвенную информацию о межпланетной обстановке и B_z во время сильных бурь, наблюдаемых в прошлом, когда не было прямых измерений гелиосферных магнитных полей, но были доступны геомагнитные данные. В

этом случае интересны архивы геомагнитных данных таких событий, полученные в допутниковую эру (например, Кэррингтоновская буря 1859 г.). Значение такого анализа для геомагнитного поля сходно со значением эффекта Мансурова–Свалгаарда для реконструкции секторной структуры.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 07-02-00147, 07-01-0065, 06-05-64500 а так же Международным научным проектом МГУ. Она является также частью исследований по программам фундаментальных исследований Президиума РАН «Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце–Земля» (П16, часть 3) и ОФН РАН «Плазменные процессы в Солнечной системе» (ОФН-16).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Akasofu S.-I., Olmsted C., Smith E.J., et al. Solar wind variations and geomagnetic storms: A study of individual storms based on high time resolution ISEE-3 data // J. Geophys. Res. 1985. V. 90. P. 325.
2. Wu C.-C., Lepping R. P. Effect of solar wind velocity on magnetic cloud-associated magnetic storm intensity // J. Geophys. Res. V. 107, Is. A11, P. SSH 3–1, (CiteID 1346, doi: 10.1029/2002JA009396) 2002.
3. <http://swdcwww.kugi.kyotou.ac.jp/dstdir/dst1/final.html>
4. <http://www.srl.caltech.edu/ACE>
5. <http://dbserv.sinp.msu.ru/apecv/>
6. Temerin M., Li X. A new model for the prediction of D_{st} on the basis of the solar wind // J. Geophys. Res. 2002. V. 107, Is. A12. P.1472.
7. Temerin M., Li X. Dst model for 1995–2002 // J. Geophys. Res. 2006. V. 111, Is. A04. P. 221–232.
8. Gleisner H., Lundstedt H., Wintoft P. Predicting geomagnetic storms from solar-wind data using time-delay neural networks // Ann. Geophys. 1996. V. 14. P. 679–686.
9. Stepanova M.V., Antonova E.E., Troshichev O. Forecasting of D_{st} variations from polar cap indices using neural networks // Adv. Space Res. 2005. V. 36. P. 2451–2454.
10. Gevrey M., Dimopoulos I., Lek S. Review and comparison of methods to study the contribution of variables in artificial neural network models // Ecological Modelling. 2003. V. 160. P. 249–264.
11. Yoon Y., Guimaraes T., Swales G. Integrating artificial neural networks with rule-based expert systems // Decision Support Systems. 1994. V. 11. P. 497–507.
12. Watanabe Sh. et al. Prediction of the D_{st} index from solar wind parameters by a neural network method // J. Communications Research Laboratory. 2002. V. 49, N 4. P. 69–85.

¹Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва

²Институт космических исследований РАН, Москва