

ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ МАГНИТНЫХ БУРЬ ОТ ТРАЕКТОРИИ ПРОХОЖДЕНИЯ МАГНИТНОГО ОБЛАКА ЧЕРЕЗ ЗЕМНУЮ МАГНИТОСФЕРУ

¹Н.А. Бархатов, ¹Е.А. Калинина, ²А.Е. Левитин, ²Л.И. Громова, ²Л.А. Дремухина, ²А.Я. Бурцев

DEPENDENCE OF INTENSITY AND DURATION OF MAGNETIC STORMS ON TRAJECTORY OF A MAGNETIC CLOUD PASSAGE ACROSS THE EARTH'S MAGNETOSPHERE

N.A. Barkhatov, E.A. Kalinina, A.E. Levitin, L.I. Gromova, L.A. Dremukhina, A.Ya. Burtsev

На основе модели магнитного поля в магнитном облаке солнечного ветра показана способность конкретного облака вызывать магнитные бури разной продолжительности и интенсивности или вообще не генерировать бурю в зависимости от траектории его прохождения через магнитосферу Земли.

As shown on the base of the model of magnetic field in solar wind magnetic cloud a specific cloud can produce magnetic storms of different durations and intensities, or there can be no storm at all depending on a trajectory of the cloud passage across the Earth's magnetosphere.

Введение

С точки зрения сегодняшнего понимания физических процессов временная динамика интенсивности солнечных излучений содержит в себе закономерную и случайную составляющие. Закономерная составляющая – это временное изменение солнечного излучения в цикле солнечной активности и достаточно устойчивая зависимость геомагнитной активности от параметров солнечного ветра (ПСВ) и межпланетного магнитного поля (ММП). Однако наиболее сильные геомагнитные возмущения относятся к случайной составляющей активности. Для того чтобы они произошли, необходимо появление выброса солнечного вещества из конкретной области Солнца [1]. Относительно длительности фаз магнитных бурь и их амплитудных характеристик можно предположить, что они зависят только от траектории прохождения плазменного выброса через магнитосферу Земли. Другими словами, один и тот же плазменный выброс может вызывать магнитные бури разной продолжительности и интенсивности или даже не генерировать бурю при его взаимодействии с магнитосферой. Справедливость такого предположения можно проверить на модели плазменного выброса типа магнитного облака, которое связывают с появлением наиболее сильных магнитных бурь [2].

Магнитная буря характеризуется D_{st} -индексом, поведение которого в период магнитной бури имеет определенную форму. Известно, что временная динамика D_{st} -вариации контролируется временным поведением компоненты ММП $B_z < 0$. Существуют модели, по которым возможна оценка индекса D_{st} на основе соотношения $dD_{st}/dt = F(E) - D_{st}/l$, где $E = VB_s$, $l = l(VB_s)$; $VB_s = -VB_z$ для $B_z < 0$ и $VB_s = 0$ для $B_z > 0$. [3]. Из этого соотношения и найденной из статистики магнитных бурь зависимости класса их интенсивности от присутствия в ММП в течение трех часов подряд конкретных амплитуд ММП $B_z < 0$ следует закономерность связи классов бурь и B_z : для слабой бури $D_{st} = -30 \div -50$ нТл, $B_z = -5$ нТл; для средней бури $D_{st} = -50 \div -100$ нТл, $B_z = -10$ нТл; для сильной бури $D_{st} = -100 \div -200$ нТл, $B_z = -15$ нТл; для очень сильной бури $D_{st} = -200 \div -300$ нТл, $B_z = -30$ нТл.

В данной работе, опираясь на эти оценки, мы рассмотрели, какие магнитные бури могут быть вызваны одним и тем же магнитным облаком при разной геометрии (траектории) его прохождения через магнитосферу Земли. Для этого анализируется эволюция модельного магнитного поля в облаке, которая и обеспечивает его воздействие на магнитосферу Земли.

Модельная оценка классов магнитной бури, вызываемой одним и тем же магнитным облаком в зависимости от его параметров и траектории прохождения через Землю

Наиболее часто магнитные облака представляют крупномасштабными цилиндрическими бессильовыми магнитными потоковыми плазменными трубками. Это означает параллельность или антипараллельность электрического тока линиям магнитного поля. В этом случае справедливо решение, предлагаемое в [4]. В нашей работе это решение использовано для цилиндрического магнитного облака. Аналитические выражения эволюции магнитного поля внутри модельного облака получены в [5].

Цилиндрическая конфигурация рассматриваемого в дальнейшем модельного магнитного облака представлена на рис. 1 в солнечно-эклиптической системе координат XYZ. Облако имеет свою систему координат $X_c Y_c Z_c$ с осью, составляющей угол ϵ с плоскостью эклиптики, и азимутальным углом β , отсчитываемым от оси X в плоскости эклиптики. Параметры облака для модельных расчетов приняты постоянными: радиус в радиусах Земли, $R = 2500R_E$; скорость облака $V = 400$ км/с; модуль магнитного поля на оси $B_0 = 20$ нТл; спиральность $H = 1$.

Далее рассмотрим варианты прохождения магнитного облака через магнитосферу Земли для его различных характерных конфигураций (β и ϵ). Подробно проанализируем комбинацию 1.

Комбинация 1: $\beta = 90^\circ$, $\epsilon = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$, для различных значений прицельного параметра $b = 0R_E, 1250R_E, 2250R_E$ (рис. 2).

На рис. 3 представлены расчетные графики эволюции трех компонент вектора магнитного поля, которые встретит магнитосфера вдоль траектории прохождения через магнитное облако.

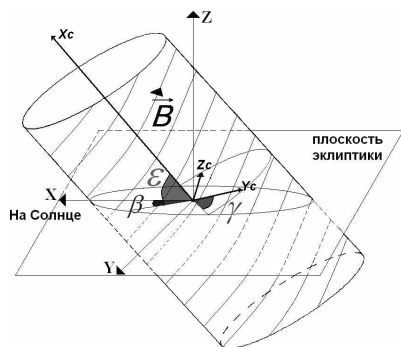


Рис. 1. Цилиндрическое магнитное облако в солнечно-эклиптической системе координат XYZ; система координат внутри облака $X_c Y_c Z_c$; угол ϵ , который составляет ось облака с плоскостью эклиптики, β – азимутальный угол, отсчитываемый от оси X в плоскости эклиптики.

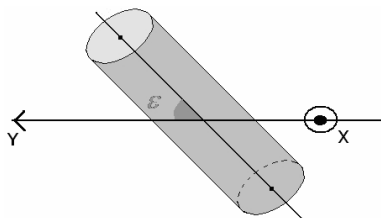


Рис. 2. Схема ориентации оси магнитного облака.

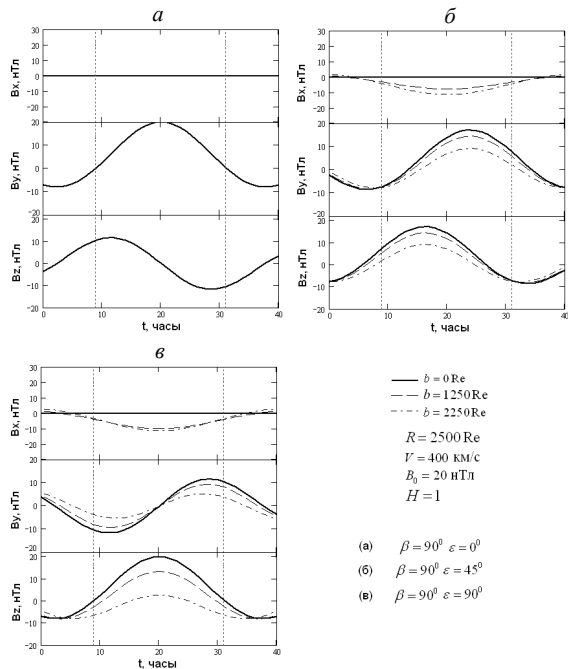


Рис. 3. Графики трех компонент вектора ММП для различных значений прицельного параметра ($b = 0R_E, 1250R_E, 2250R_E$) и конфигураций облака: $\beta = 90^\circ, \epsilon = 0^\circ$ (а); $\beta = 90^\circ, \epsilon = 45^\circ$ (б); $\beta = 90^\circ, \epsilon = 90^\circ$ (в).

В данных вариантах прохождения Земли через магнитное поле выброса будут наблюдаться ситуации в ММП: $B_z < 0$ с амплитудой $B_z = -10 \div -15$ нТл, $-5 \div -10$ нТл, т. е. возможна средняя или сильная буря при параметрах конфигурации $\beta = 90^\circ$ и $\epsilon = 0^\circ$ (рис. 3, а); $B_z > 0$ с амплитудой $B_z = 10-15$ нТл, т. е. возможно отсутствие магнитной бури (рис. 3, б, в)

при параметрах конфигурации $\beta = 90^\circ, \epsilon = 45^\circ$ и $\beta = 90^\circ, \epsilon = 90^\circ$.

Комбинация 2: $\beta = 45^\circ$, различные ϵ и b .

В данных вариантах прохождения облака через магнитосферу Земли в ММП будут наблюдаться ситуации: $B_z < 0$ и амплитуда $B_z = -5 \div -10$ нТл, т. е. может возникнуть слабая или средняя магнитная буря при параметрах конфигурации $\beta = 45^\circ, \epsilon = 0^\circ$; или $B_z > 0$ с амплитудой $B_z = 10-15$ нТл, т. е. будет иметь место отсутствие магнитной бури при параметрах конфигурации $\beta = 45^\circ, \epsilon = 45^\circ$ и $\beta = 45^\circ, \epsilon = 90^\circ$.

Комбинация 3: $\beta = 0^\circ$, различные ϵ и b .

В данных вариантах прохождения облака через магнитосферу Земли в ММП будет наблюдаться ситуация: $B_z > 0$ и амплитуда $B_z = 10-15$ нТл. Это означает, что магнитной бури при таком прохождении Земли через магнитное облако не будет наблюдаться.

Выводы

Наиболее сильные геомагнитные возмущения относятся к случайной составляющей геомагнитной активности. Для того чтобы они произошли, кроме появления выброса солнечного вещества в конкретной области Солнца, необходимы попадание этого выброса по земной магнитосфере, наличие в выбросе отрицательной вертикальной B_z -компоненты вектора ММП, прохождение Земли именно через участок выброса, где такое поле содержится.

В этом случае становится понятным, что длительность фаз магнитных бурь и их амплитудные характеристики зависят только от траектории прохождения плазменного выброса.

Таким образом, возможно, что один и тот же плазменный выброс может вызывать магнитные бури разной продолжительности и интенсивности или даже не генерировать бурю при взаимодействии с магнитосферой.

Работа поддержана грантами РФФИ 06-05-64482 и 05-05-65196

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Webb D.F., Cliver E.W., Crooker N.U., et al. Relationship of halo coronal mass ejections, magnetic clouds, and magnetic storms // J. Geophys. Res. 2000. V. 105, N A4. P. 7491–7508.
2. Zhang J., Liemohn, M.W., Kozyra J.U., et al. A statistical study of the geoeffectiveness of magnetic clouds during high solar activity years // Ibid. 2004. V. 109, N A09101. doi:10.1029/2004JA010410.
3. O'Brien T.P., McPherron. R.L. An empirical phase space analysis of ring current dynamics: Solar wind control of injection and decay // Ibid. 2000. V. 105. P. 7707.
4. Lundquist S. Magnetohydrostatic fields // Ark. Fys. 2. 1950. P. 361–365.
5. Бархатов Н.А., Калинина Е. А., Левитин А.Е. Прохождение конфигураций магнитных облаков солнечного ветра в геомагнитной активности // Космические исследования (в печати).

¹Нижегородский государственный педагогический университет, Нижний Новгород

²Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, Троицк