ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМЫ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЫ

Биленко И.А.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия*

INFLUENCE OF THE SOLAR GLOBAL MAGNETIC FIELD CYCLE VARIATIONS ON THE INTERPLANETARY PLASMA PARAMETERS

Bilenko I.A.

Moscow State University, Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia

Based on ground and space observations, cycle variations of the magnetic field and plasma parameters of the solar wind are considered. Plasma parameters (B , n , V_a , β) were calculated at different distances from the Sun and time dependences of their changes in cycles 21–24 were revealed. The influence of various models of the plasma density distribution with distance from the Sun on the calculated plasma parameters is considered. The effect of cycle changes in the value and structure of the solar global magnetic field on plasma parameters is shown. The dependencies of the distribution of plasma parameters with distance from the Sun are obtained depending on the magnitude of the magnetic field and the plasma density model for high and low solar activity CRs during sectorial and zonal global magnetic field structure domination.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-43-46

Введение

Поскольку солнечная корона не находится в состоянии гидростатического равновесия, то имеет место постоянное распространение корональной плазмы в межпланетное пространство. Формируются потоки солнечного ветра, определяющие космическую погоду на орбите Земли и оказывающие большое влияние на земную магнитосферу [5]. Эти потоки регулируются солнечными магнитными полями, так как электропроводность корональной плазмы очень высокая. Закономерности связи пространственных и временных вариаций солнечного магнитного поля с параметрами межпланетной плазмы до настоящего времени остаются не выясненными, что затрудняет как изучение различных процессов происходящих в межпланетной среде, так и построение моделей солнечно-земных связей и прогнозирование космической погоды на орбите Земли. Целью данной работы является расчет распределений параметров плазмы (B , n , V_a и β) на различных расстояниях с использованием популярных моделей распределения плотности [3, 5, 7, 8] и сопоставление их с циклическими вариациями солнечного фотосферного крупномасштабного магнитного поля, явля-

ющего суммой не полярной и полярной компонент глобального магнитного поля (ГМП) Солнца в 21–24 циклах.

Результаты исследования

При исследовании межпланетной среды и различных явлений солнечной активности, таких, например, как корональные выбросы массы, на разных расстояниях от Солнца необходимо знание распределения магнитного поля и плотности плазмы. Наблюдаемое межпланетное магнитное поле и его циклические изменения хорошо описывается суммой циклических вариаций полярного и не полярного крупномасштабных фотосферных магнитных полей, являющихся видимым проявлением тороидальной и полоидальной компонент ГМП Солнца [1]. Подобной модели для описания плотности плазмы в настоящее время не существует. Для расчетов плотности плазмы наиболее часто употребляются модели:

$$n_e(r) = 6.1 \times r^{-2.1} (cm^{-3}), [3] \quad (1)$$

$$n_e(r) = 1.36 \times r^{-2.14} + 1.68 \times r^{-6.13} (cm^{-3}), [8] \quad (2)$$

$$n_e(r) = 3.3 \times 10^5 r^{-2} + 4.1 \times 10^6 r^{-4} + 8.0 \times 10^7 r^{-6} (cm^{-3}), [5] \quad (3)$$

$$n_e(r) = N_0 \times 10^{4.32Rs/r} (cm^{-3}), N_0 = 4.2 \times 10^4, Rs - \text{радиус Солнца}, [7] \quad (4)$$

На рис. 1 толстыми сплошными линиями показаны усредненные за 7 Кэррингтоновских оборотов (КО) и наложенными тонкими – за 1 КО вариации следующих параметров плазмы на орбите Земли: межпланетное магнитное поле (ММП) (В, 1a) наблюдаемое (черная, тонкая линия) и рассчитанное по модели и формуле предложенной в статье [1] (зеленая, толстая линия); плотность (n, 1b) наблюдаемая по данным OMNI2 [4] на орбите Земли и рассчитанная (n, 1c) при использовании различных моделей (1–4, указанных стрелками) с учетом циклической вариации наблюдаемого изменения плотности (рис. 1b); рассчитанные для разных моделей плотности альвеновская скорость, (Va, 1d) и β (1e) за 1976–2015 гг. (КО 1642–2172). Розовая линия на рис. 1e (β_{obs}) показывает β вычисленное по данным плотности протонов, температуры и магнитного поля OMNI2. На рис. 1a–1e показаны также периоды доминирования секторной (серый цвет) и зональной (белый цвет) структур ГМП Солнца [2].

Из приведенных зависимостей следует, что плотность слабо зависит от фазы цикла, но в начале доминирования секторной структуры 23 цикла она резко снижается и на протяжении низких 23 и 24 циклов она остается на уровне, примерно, в два раза ниже, чем в высоких 21 и 22 циклах. Va значительно выше в периоды доминирования секторных структур ГМП, а β – зональных. При этом, максимальные и минимальные значения магнитного поля и Va снижаются от 21 к 24 циклу, а β – растут. Наиболее близкое значение к наблюдаемой плотности дает модель (2). Модели (1) и (3) дают

близкие друг другу значения, которые примерно в два раза ниже наблюдаемых. Наибольшие расхождения с наблюдениями у модели (4).

Рис. 1.

На рис. 2 показаны зависимости параметров магнитного поля (B , 2a1) и плотности плазмы (n , 2a2) от расстояния, а также V_a (2b1, 2b2) и β (2c1, 2c2) рассчитанные для распределения B в максимуме высокого цикла КО 1840 (сплошная линия рис. 2a1; рис. 2b2, 2c2) и в минимуме низкого цикла КО 2080 (штриховая линия рис. 2a1; рис. 2b1, 2c1). КО 1840 соответствует периоду доминирования секторной структуры ГМП, а КО 2080 – зональной. Все распределения сильно отличаются и в зависимости от величины магнитного поля в КО, и в зависимости от модели изменения плотности с расстоянием от Солнца. Отличается и ход этих распределений с расстоянием. Наибольшие расхождения для альвеновской скорости наблюдаются на расстояниях до 50 R_s .

Рис. 2.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что параметры межпланетной плазмы зависят от состояния ГМП. Циклические изменения суммы полярного и не полярного крупномасштабного фотосферного магнитного поля Солнца, отражающие динамику тороидальной и полоидальной компонент ГМП, определяют долговременные, на масштабах КО и более, вариации параметров плазмы межпланетной среды. Расчетные параметры плазмы также сильно зависят и от используемой модели распределения плотности плазмы с расстоянием от Солнца.

Благодарности

В работе использован каталог OMNI2. Wilcox Solar Observatory data used in this study were obtained via the web site <http://wso.stanford.edu> at 2018:03:11 01:13:34 PST courtesy of J.T. Hoeksema. The Wilcox Solar Observatory is currently supported by NASA.

Литература

1. Bilenko I.A. // Solar Phys., 2018, 293, 106.
2. Bilenko I.A., Tavastsherna K.S. // Solar Phys., 2016, 291, 2329.
3. Bougeret J.-L., King J.H., Schwenn R. // Solar Phys., 1984, 90, 401.
4. King J.H., Papitashvili N.E. // JGR, 2005, 110, A02104.
5. Leblanc Y., Dulk G.A., Bougeret J.-L. // Solar Phys., 1998, 183, 165.
6. Mackay D.H., Yeates A.R. // Living Rev. Solar Phys., 2012, 9, 6.
7. Newkirk G.A. // ApJ, 1961, 133, 983.
8. Saito K., Poland A.I., Munro R. // Solar Phys., 1977, 55, 121.