

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ И СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА ОСНОВЕ СИНОПТИЧЕСКИХ КАРТ РАЗНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ

П.Н. Киричков, М.Л. Демидов

Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия,
kpn@iszf.irk.ru

FORECASTING SPACE WEATHER AND SOLAR WIND BASED ON SYNOPTICAL MAPS OF DIFFERENT OBSERVATORIES

P.N. Kirichkov, M.L. Demidov

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia,
kpn@iszf.irk.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается исследование магнитного поля Солнца и расчет солнечного ветра на основе синоптических магнитных карт.

Ключевые слова: Космическая погода, солнечный ветер.

Abstract. This paper examines the study of the solar magnetic field and the calculation of the solar wind based on synoptic magnetic maps.

Keywords: space weather, solar wind

ВВЕДЕНИЕ

Прогнозирование космической погоды в околоземной среде является актуальной научной и практической задачей, и в мире уже существует несколько коллективов, активно работающих в этой области.

Для решения данной задачи используются различные модельные подходы, часто связанные с огромными численными расчетами. Но все это имеет смысл только в том случае, когда имеются в наличии надежные источники исходных данных — синоптические карты магнитных полей Солнца. Результаты прогнозирования, сделанные SWPC в США, основаны в основном на наблюдениях, предоставленных GONG (Global Oscillation Network Group).

Но есть и другие наборы данных с полномасштабными наблюдениями магнитного поля Солнца, например, WSO (Wilcox Solar Observatory), SDO (Solar Dynamics Observatory), STOP (Solar Telescope for Operative Prediction) (Россия) [Demidov et al., 2022]. Кроме того, сравнивая смоделированные параметры с наблюдаемыми, можно сделать вывод о том, какие наблюдения являются лучшими с этой точки зрения. В качестве примера сравниваются наблюдения 2164 оборота Керрингтона.

МОДЕЛЬ ИСТОЧНИКА ПОВЕРХНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПОЛЯ

Топология линий открытых магнитных полей, вдоль которых потоки солнечного ветра ускоряются до сверхзвуковых скоростей, играет фундаментальную роль в понимании явлений, которые управляют космической погодой [Reiss et al., 2019]. Наблюдения солнечного магнитного поля не ведутся отдельно, а выполняются в комплексе с другими научными задачами. Чтобы получить наиболее точную картину, в модели расчета используется магнитное поле Солнца вблизи фотосферы. Наиболее широко применяемым методом экстраполяции для восстановления глобальной картины коронального магнитного поля является

модель поверхности источника потенциального поля PFSS [Shatten, 1971].

В качестве данных используются синоптические карты Солнца, которые показывают топологию магнитного поля на фотосфере звезды. На рис. 1 изображена синоптическая карта Солнца для 2164 оборота Керрингтона, полученная обсерваториями SDO/HMI и GONG.

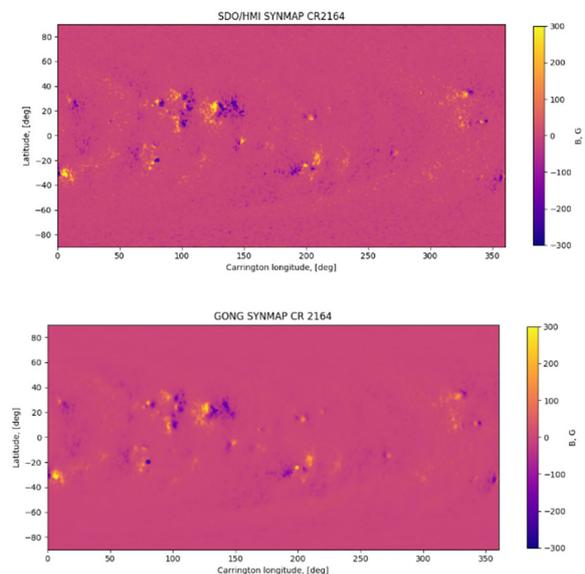


Рис. 1. Синоптические карты радиальной компоненты магнитного поля Солнца для данных SDO/HMI (верхняя панель) и GONG (нижняя панель)

Исходные данные отличаются численно и разрешением (у SDO/HMI разрешение 1800 на 3600 пиксель/градус, GONG 180 на 360 пиксель/градус). В работе они сведены к одному разрешению. Для расчета модели поверхности источника используется пакет программ, написанных на языке Python [Stansby et al., 2020]. Результаты представлены на рис. 2.

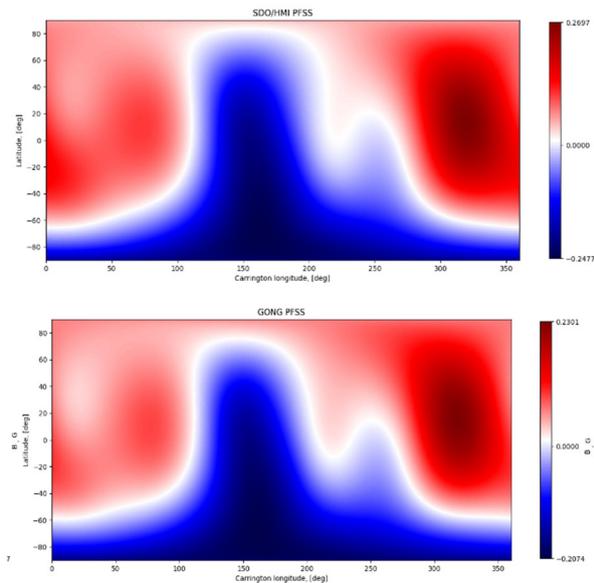


Рис. 2. Распределение радиальной составляющей солнечного магнитного поля на поверхности источника для данных наблюдений SDO/HMI (верхняя панель) и GONG (нижняя панель)

СКОРОСТЬ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Полученные результаты представляют собой топологию магнитного поля корональных областей Солнца. Связь между газодинамическим разрешением, корональным магнитным полем, величиной расширения силовых магнитных линий и скоростью солнечного ветра вблизи звезды известна как модель Wang-Sheeley [Wang and Sheeley, 1990]. Результаты расчетов показаны на рис. 3.

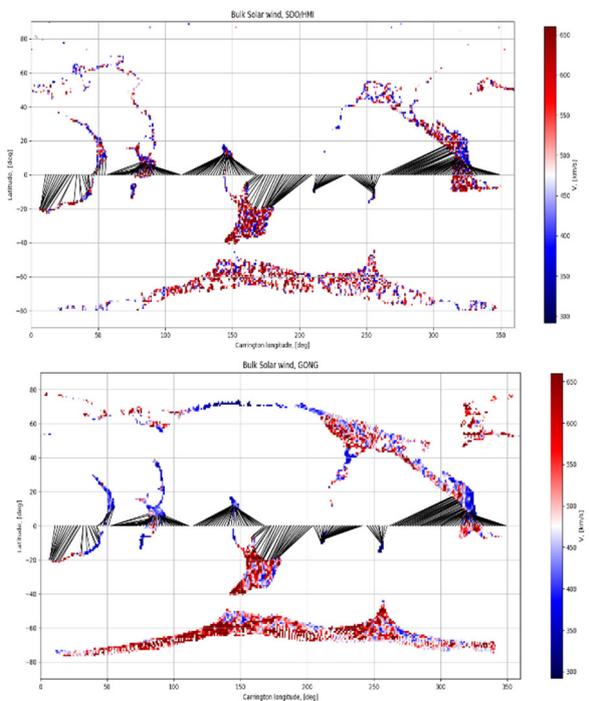


Рис. 3. Скорость солнечного ветра вблизи Солнца, полученная с помощью модели Wang-Sheeley, черные линии показывают силовые магнитные линии, приходящие на плоскость солнечного экватора, SDO/HMI (верхняя панель) и GONG (нижняя панель)

Дальнейшим развитием является применение расширенной модели Wang-Sheeley-Argе, которая является гибридом модели Wang-Sheeley и модели Distance from the Coronal Hole Boundary (DCHB) [Argе et al., 2003]. В данной модели учитывается минимальное расстояние между координатой открытой силовой магнитной линии на фотосфере и границей корональной дыры. Это позволяет определить влияние расположения корональных дыр на величину скорости солнечного ветра в зависимости от географических координат на поверхности Солнца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе описаны математические модели, которые широко применяются для расчета скорости солнечного ветра, используя синоптические наблюдения магнитного поля звезды. Полученные в результате расчетов данные позволяют составлять прогноз космической погоды, ведь солнечный ветер и связанные с ним процессы оказывают большое влияние на Землю с точки зрения магнитосферы, ионосферы и атмосферы. Дальнейшая работа предполагает расчет параметров солнечного ветра на основе других наблюдений и их сравнение с эмпирическими данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Argе Ch.N., Odstrcil D., Pizzo V.J. et al. Improved Method for Specifying Solar Wind Speed Near the Sun // AIP Conf. Proc. 2003. 679: 190–193. <https://doi.org/10.1063/1.1618574>

Demidov M.L., Hanaoka Y., Wang X., Kirichkov P. On the differences in the space weather forecasting caused by different low boundary conditions // 44th COSPAR Scientific Assembly 2022. 16–24 July. Athens, Greece: abstracts. 2022. D2.5-0007-22. - <https://www.cosparathens2022.org/>.

Reiss M.A., MacNeice P.J., Mays L.M. et al. Forecasting the Ambient Solar Wind with Numerical Models: I. On the Implementation of an Operational Framework // Astrophysical J. Supplement Series. 2019. V. 240, N. 2. DOI:10.3847/1538-4365/aaf8b3.

Stansby D., Yeates A., Badman S. A Python package for potential field source surface modelling // Journal of Open Source Software. 5(54). 2732. <https://doi.org/10.21105/joss.02732>

Schatten K.H. Current sheet magnetic model for the solar corona // Cosmic Electrodynamics. 1971.

Wang Y.-M., Sheeley N.R. Solar wind speed and coronal flux-tube expansion // ApJ, 355:726–732. 1990. <https://doi.org/10.1086/168805>.