ИССЛЕДОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ГЕОЭФФЕКТИВНОСТИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ ТИПА «СТЕЛС»

Загайнова Ю.С.¹, Файнштейн В.Г.², Громова Л.И.¹, Громов С.В.¹

¹ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия

²ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

E-mail: yuliazagainova@mail.ru

STEALTH CORONAL MASS EJECTIONS: IDENTIFICATION OF SOURCE REGIONS AND GEOPHYSICAL EFFECTS

Zagainova Iu.S.¹, Fainshtein V.G.², Gromova L.I.¹, Gromov S.V.¹

¹IZMIRAN, Moscow, Troitsk, Russia

²ISTP CB RAS, Irkutsk, Russia

By example of the 2010 June 16 event, a stealth coronal mass ejection (stealth-CME) emergence is shown to be probably accompanied by various manifestations of small-scale activity in the solar atmosphere and some features of variations in the magnetic field parameters. We also discuss the response of the geomagnetic field to the effect of this CME on the Earth magnetosphere.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-177-180

Введение

Большинство KBM, регистрируемых коронографами, связаны с различными проявлениями солнечной активности в нижней короне (англ. – low coronal signatures (LCSs)): солнечные вспышки, эрупции волокон, EUV волны и др. Оказалось, что существуют KBM, которые наблюдаются в поле зрения коронографов и возникают на видимой поверхности Солнца, но при этом не сопровождаются LCSs [1, 2]. В настоящее время такие KBM принято называть Стелс-KBM. Установлено, что Стелс-KBM, достигая орбиты Земли, могут приводить к возникновению Форбуш-понижений [3], а их воздействие на магнитосферу Земли может приводить к заметным возмущениям геомагнитного поля [4]. Используя усовершенствованные методы обработки изображений Солнца в различных спектральных каналах, для многих Стелс-KBM удалось обнаружить связанные LCSs [5]. Несмотря на это, есть основания считать, что кроме найденной активности в местах вероятных источников Стелс-KBM существуют и другие проявления солнечной активности (СА), сопровождающие их появление. Результаты поиска такой активности приведены в настоящей работе на примере одного события. Впервые, были исследованы особенности вариаций магнитного поля в области формирования Стелс-KBM. Также обсуждается отклик геомагнитного поля на воздействие Стелс-KBM на магнитосферу Земли.

Данные наблюдений

Исследовалась СА, сопровождающаяся возникновением Стелс-КВМ, зарегистрированного 16 июня 2010 (14:54:05 UT) в поле зрения коронографа LASCO C2 на борту космического аппарата SOHO. Основные характеристики этого КВМ по данным сайта https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/: центральный позиционный угол – 61° , угловой размер – 153° , линейная проекционная скорость $V_{\text{lin}} = 236$ км/с, ускорение – 6.5 м/с², масса – $6.8 \cdot 10^{14}$ г.

Для поиска вероятного места формирования КВМ и выявления различных проявлений СА использовались наблюдения Солнца в нескольких спектральных каналах SDO/AIA ($93\text{\AA}$, $304\text{\AA}$, $171\text{\AA}$, $193\text{\AA}$, $211\text{\AA}$ и $131\text{\AA}$). Для анализа свойств и динамики магнитного поля в области вероятного источника Стелс-КВМ использовались векторные измерения магнитного поля инструментом SDO/HMI. Отклик геомагнитного поля на воздействие КВМ на магнитосферу Земли анализировался по данным <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/> и IMAGE magnetometer network.

Результаты

На рис. 1(a) показан анализируемый Стелс-КВМ в поле зрения LASCO C2, а на рис. 1(b) приведен временной ход GOES SXR, который иллюстрирует отсутствие рентгеновской вспышки, связанной с КВМ. Для выделения местоположения источника Стелс-КВМ, мы разбили видимую поверхность Солнца на сегменты размером $200'' \times 200''$. Далее выделили сегмент, который оказался источником сильного кратковременного усиления излучения в нескольких каналах крайнего ультрафиолетового (УФ) диапазона в период времени, близкий к началу формирования Стелс-КВМ (см. рис. 2). На рис. 2(a) показаны зависимости от времени относительной интенсивности излучения в разных каналах крайнего УФ. Источниками этого излучения являются светлые мелкомасштабные «точки» на диске Солнца. На рис. 2(b–d) приведены разностные изображения участка Солнца в разные моменты времени в канале $193\text{\AA}$. Предположительно, светлая дуга, отмеченная стрелками, является фронтальной структурой (ФС) Стелс-КВМ. Кроме кратковременного повышения интенсивности излучения в крайнем УФ, формирование этого КВМ сопровождается движением мелкомасштабных петлеобразных структур (магнитных жгутов; не показано на рисунках).

По изображениям Солнца в канале $193\text{\AA}$ и по данным LASCO C2, C3 были построены временные профили скорости ФС КВМ. Из полученных профилей скорости КВМ можно сделать вывод, что между моментами времени $\approx 13:43$ UT и $14:54$ UT скорость достигает максимума и в поле зрения LASCO C2, C3 продолжает слабо возрастать.

Анализ свойств и динамики магнитного поля в предполагаемой области формирования ФС КВМ показал, что возникновение исследуемого

Стелс-КВМ сопровождается заметным изменением поведения магнитного поля в области источника КВМ, рис. 3. Вертикальной полосой выделен промежуток времени, когда прекращается уменьшение B_r по модулю и начинается его кратковременный рост на несколько десятков Гс. Этот временной промежуток включает в себя период формирования ФС и промежуток времени интенсивного излучения в каналах крайнего УФ.

Рис. 1. а) – Стелс-КВМ от 16 июня 2010 в поле зрения LASCO C2; б) – интенсивность мягкого рентгеновского излучения по данным GOES. Вертикальная сплошная линия отмечает момент получения одного из изображений на LASCO C2 до появления в поле зрения коронографа Стелс-КВМ.

Рис. 2. а – зависимость от времени отношения интенсивности излучения в исследуемой области к интенсивности в соседней спокойной области; б, с, d – иллюстрация возникновения ФС Стелс-КВМ на разностных изображениях Солнца в канале 193 Å.

На магнитограммах предполагаемая область возникновения КВМ включает в себя несколько «холмов» магнитного поля, часть из которых совпадает с источниками кратковременного EUV излучения. Эти «холмы» магнитного поля не являются солнечными пятнами или порами. Рис. 3(б) на примере двух холмов магнитного поля показывает существование отрицательной корреляции между $\alpha_{\min}$ и $|B_{\max}|$ (где, $\alpha_{\min}$ – минимальный угол в «холме» между линиями поля и положительной нормалью к поверхности Солнца, $|B_{\max}|$ – максимум модуля магнитного поля в холме), измеренными за несколько часов до и после начала эруптивного события. Аналогичные

зависимости были получены в тени ведущих и замыкающих солнечных пятен [6].

Рис. 3. а – зависимости от времени максимума модуля положительных и отрицательных значений радиальной компоненты магнитного поля B_r ; б – корреляция между α_{min} и $|B_{max}|$, в течение нескольких часов до и после начала события, где R – коэффициент корреляции.

Согласно каталогу <http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm>, передний фронт межпланетного КВМ (МКВМ), соответствующего исследуемому Стелс-КВМ, был зарегистрирован вблизи орбиты Земли 21.06.2010 (06:00 UT), а задний фронт этого МКВМ был зарегистрирован 22.06.2010 (14:00 UT).

Этот МКВМ проявил признаки магнитного облака (МО). Оказалось, что, что существенных изменений Dst-индекса в период прохождения космического аппарата через МКВМ не наблюдается. В тоже время, при прохождении вблизи Земли переднего и заднего фронтов МКВМ наблюдается кратковременный импульс AL-индекса, что свидетельствует о генерации слабой суббури.

Авторы благодарят команды SOHO/LASCO, SDO/AIA, SDO/HMI, GOES за возможность свободного использования данных этих инструментов.

Работа выполнена в рамках базового финансирования программы ФНИ П.16.

Литература

1. Howard T.A., Harrison R.A. // Solar Phys., 2013, 285, 269–280.
2. D'Huys E., Seaton D.B., Poedts S., Berghmans D. // The Astrophysical Journal, 2014, 795:49, 1–12.
3. Heber B., Wallmann C., Galsdorf D., et al. // Cent. Eur. Astrophys. Bull., 2015, 39, no. 1, 75–82.
4. Ma S., Attrill G.D.R., Golub L., Lin J. // Ap. J., 2010, 722, 289–301.
5. Alzate N., Morgan H. // Ap. J., 2017, 840:103, 1–14.
6. Zagainova Yu.S., Fainshtein V.G., Rudenko G.V., Obridko V.N. // Astronomy Reports, 2017, 61, pp. 533–549.