

DOI: 10.37614/2588-0039.2020.43.017

СВЯЗЬ ВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЙ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ И КРУПНОМАСШТАБНЫХ СОБЫТИЙ В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ С ПОЯВЛЕНИЕМ SC В 23 И 24 ЦИКЛАХ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

С.В. Громов¹, Ю.С. Загайнова¹, В.Г. Файнштейн², Л.И. Громова¹

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН, г. Москва, Троицк; e-mail: sgromov@izmiran.ru

²Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск

Аннотация. В рамках нашего исследования было проведено сравнение вариаций числа корональных выбросов массы (КВМ) и крупномасштабных событий в солнечном ветре с суммарным числом внезапных импульсов в геомагнитном поле SI и внезапных начал геомагнитных бурь SSC в 23 и 24 циклах солнечной активности (СА). Сопоставлены вариации чисел солнечных пятен (чисел Вольфа) с циклическими вариациями появления КВМ за каждый месяц наблюдений коронографов LASCO в 23 и 24 циклах солнечной активности. Так же было исследовано соотношение изменений суммарного числа КВМ различного углового размера с суммарным числом зарегистрированных приходов к Земле межпланетных ударных волн, вызвавших внезапные импульсы в геомагнитном поле (SI) или внезапные начала геомагнитных бурь (SSC), и с суммарным числом крупномасштабных событий в солнечном ветре таких, как EJECTA и MC (Magnetic cloud) согласно каталогу ИКИ.

Введение

Важным направлением исследований солнечной активности является сопоставление изменений циклических вариаций различных характеристик магнитного поля Солнца с числом и параметрами геомагнитных возмущений. Результаты подобных исследований могут быть использованы для прогнозирования явлений космической погоды, к которым относятся геомагнитные бури, вызываемые различными источниками на Солнце и в солнечном ветре. В зависимости от этих источников начало геомагнитной бури может быть внезапным или постепенным. В работе [Обридко и др., 2013] число геомагнитных бурь с внезапным началом и бурь с постепенным началом было сопоставлено с числами Вольфа. Было показано, что изменение в цикле активности числа бурь с внезапным началом хорошо коррелирует с числами Вольфа, в то время как для бурь с постепенным началом эта корреляция практически отсутствует. Также было показано, что число КВМ с угловым размером $WA > 120^\circ$, коррелирует с числом бурь с внезапным началом и с числами Вольфа [Обридко и др., 2013].

Целью нашей статьи является предварительная оценка связей геомагнитных возмущений на Земле и вариаций числа корональных выбросов массы (КВМ), крупномасштабных событий в солнечном ветре и с целью установления критериев их геоэффективности.

Сопоставление изменений циклических вариаций различных характеристик магнитного поля Солнца с параметрами геомагнитных возмущений

В рамках нашего исследования было проведено сравнение вариаций числа корональных выбросов массы (КВМ) и крупномасштабных событий в солнечном ветре с суммарным числом внезапных импульсов в геомагнитном поле SI и внезапных начал геомагнитных бурь SSC в 23 и 24 циклах солнечной активности (СА). Сопоставлены вариации чисел солнечных пятен с циклическими вариациями появления КВМ за каждый месяц наблюдений коронографов LASCO в 23 и 24 циклах солнечной активности [Gopalswamy et al., 2009]. Было исследовано соотношение вариаций суммарного числа КВМ различного углового размера ($WA \geq 180^\circ$) с суммарным числом зарегистрированных приходов к Земле межпланетных ударных волн (SC), вызвавших внезапные импульсы в геомагнитном поле (SI) или внезапные начала геомагнитных бурь (SSC), представленные в Каталоге SC Международной Ассоциации Геомагнетизма и Аэронауки (IAGA), и с суммарным числом крупномасштабных событий в солнечном ветре таких, как EJECTA и MC согласно каталогу ИКИ [Ермалаев и др., 2009].

Из приведенных на рис. 1 кривых можно сделать вывод, что временные изменения суммарного за месяц числа зарегистрированных КВМ (N_{CME}) и числа солнечных пятен близки на фазе роста и в максимуме 23 цикла, и существенно различаются с середины спада активности до окончания минимума и начала роста

интенсивности 24 цикла. Заметны области в среднем слабо нарастающего числа КВМ на фоне его сильных колебаний («квазиплато»).

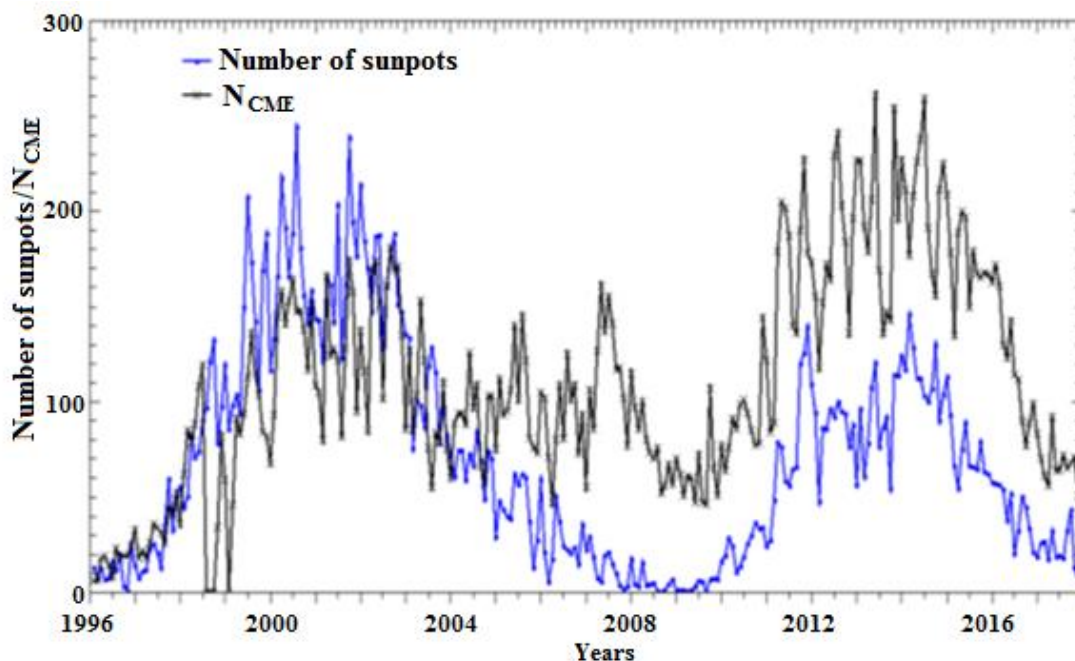


Рисунок 1. Сравнение вариаций среднемесячного числа солнечных пятен (синяя линия с точками) и суммарного за месяц числа зарегистрированных КВМ - N_{CME} (черная линия) для 23 и 24 циклов солнечной активности.

На рисунке 2 демонстрируется, что общее число зарегистрированных за месяц КВМ в максимуме 23 цикла меньше, чем в максимуме 24 цикла, в то время как, суммарное число ЕЕЖСТА и МС, и суммарное число SC, напротив, в максимуме 23 цикла больше, чем в максимуме 24 цикла.

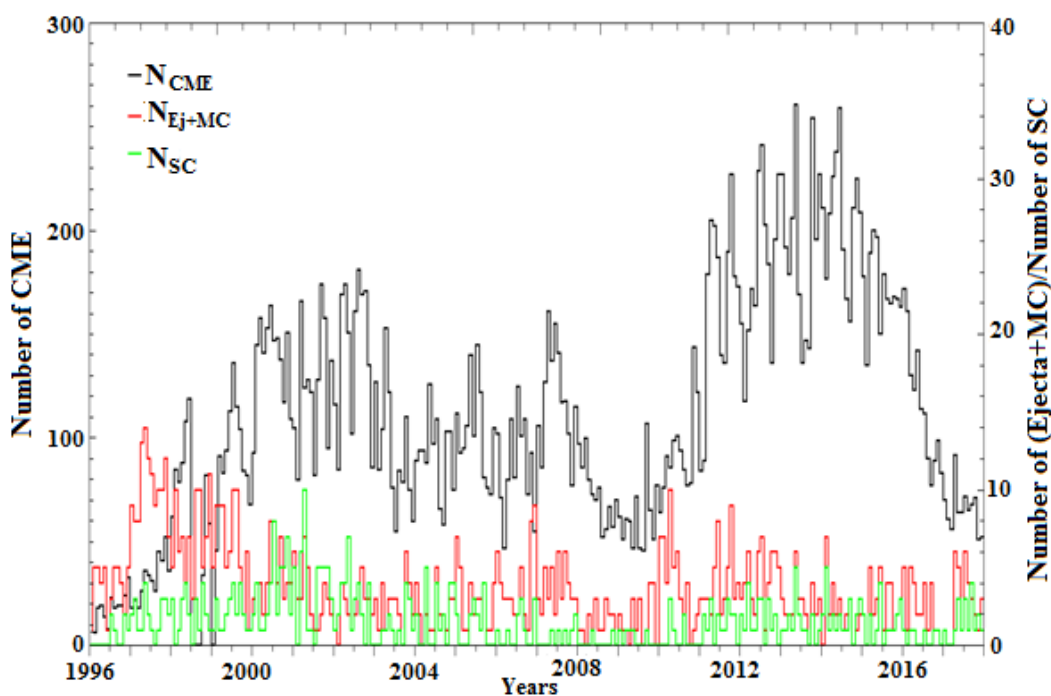


Рисунок 2. Сравнение вариаций общего числа зарегистрированных за месяц КВМ - N_{CME} (черная кривая) с суммарным числом внезапных импульсов SI и внезапных начал бурь SSC, - N_{SC} (зеленая), а также с суммарным числом ЕЕЖСТА и МС - N_{Ej+MC} (красная) для 23 и 24 циклов СА.

Анализ кривых на рисунке 3 показал, что суммарное число гало-КВМ и полугало-КВМ в максимуме 23 цикла меньше, чем в максимуме 24 цикла, в то время как, суммарное число ЕЕЖТА и МС, и суммарное число SI и SSC (SC), напротив, в максимуме 23 цикла больше, чем в максимуме 24 цикла.

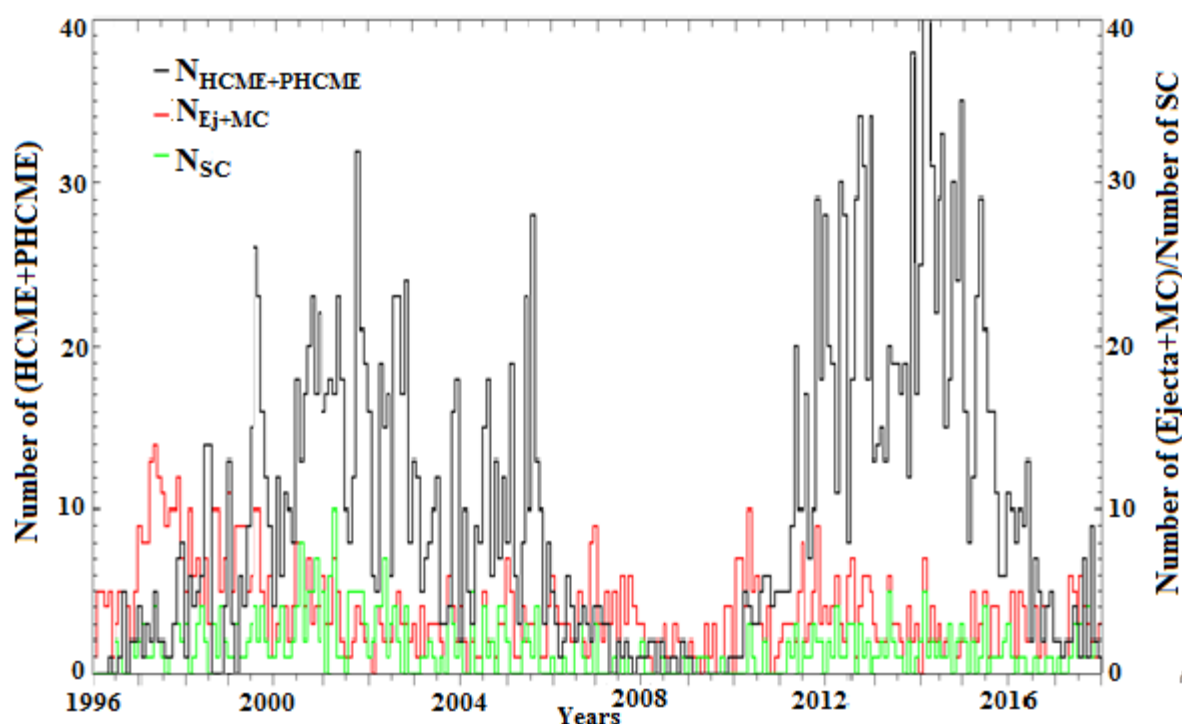


Рисунок 3. Сравнение вариаций суммарного за месяц числа гало-КВМ и полугало-КВМ - $N_{HCME+PHCME}$ (черная линия) с суммарным числом внезапных импульсов SI и внезапных начал бурь SSC , - N_{SC} (зеленая), а также с суммарным числом ЕЕЖТА и МС - N_{Ej+MC} (красная) для 23 и 24 циклов СА.

В затянувшемся минимуме СА между 23 и 24 солнечными циклами есть период, когда суммарное число SC превышает суммарное число гало-КВМ и полугало-КВМ. Можно предположить, что в генерацию SC в период минимума СА между 23 и 24 циклами СА вносят вклад КВМ с еще более малым угловым размером, чем 180° . Однако, из рис. 3 явно видно, что в минимуме СА существует «нехватка» числа выбросов массы с широким угловым размером $WA \geq 180^\circ$ по сравнению с числом SC , а в максимумах активности – их превышение. Выявленную особенность можно объяснить погрешностью измерений, связанную с особенностью наблюдений/выявлений КВМ, т.е., например, часть КВМ «экранируется» затмевающим диском искусственной Луны коронографов SOHO. Но, тогда, общее число выбросов массы, имеющих широкий угловой размер, $N_{HCME+PHCME}$ должно возрасти, как в минимуме СА, так и в максимуме, и в таком случае логично предположить, что в максимуме СА будет еще большее несоответствие между значениями числа $N_{HCME+PHCME}$ и числом SC . Этот вопрос требует продолжения исследований, как и вопрос оценки и уточнения значения углового размера WA , выбранного нами в качестве критерия отбора «геоэффективных» выбросов массы. Несомненный интерес вызывает вопрос поиска дополнительных параметров, которые позволили бы объяснить выявленные особенности поведения $N_{HCME+PHCME}$ и SC . Кроме этого, хотелось бы отметить, что расхождение в поведении $N_{HCME+PHCME}$ и SC может быть связано с неточностью подсчета числа «геоэффективных» выбросов массы, например, мы не учитываем, так называемые, КВМ типа «стелс», которые, как отмечают некоторые авторы (см., например, работу [D’Huys et al., 2014]), регистрируются преимущественно в минимуме СА, и могут вызывать геомагнитные возмущения [Zagainova et al., 2020].

Заключение

В рамках нашего исследования мы развиваем тему сравнения вариаций числа корональных выбросов массы (КВМ), крупномасштабных событий в солнечном ветре и геомагнитными возмущениями на Земле с целью установления критериев их геоэффективности.

- Установлено, что временные изменения суммарного за месяц числа зарегистрированных наблюдений коронографов LASCO в 23 и 24 циклах солнечной активности KBM и чисел солнечных пятен близки на фазе роста и в максимуме 23 солнечного цикла и существенно различаются с середины спада солнечной активности.

- Показано, что в затянувшемся минимуме CA между 23 и 24 солнечными циклами число есть период, когда число зарегистрированных SSC и SI (SC) превышает суммарное число гало-KBM и полугало-KBM.

- Выдвинуто предположение, что в генерацию SC могут вносить вклад KBM с малым угловым размером ($<180^\circ$).

Использованные данные

Наши исследования были основаны на данных из следующих каталогов:

Данные о числе солнечных пятен в 23 и 24 солнечных циклов - Каталог солнечных пятен

http://solarscience.gsfc.nasa.gov/greenwch/spot_num.txt

Данные о количестве KBM - Каталог зарегистрированных KBM

http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/

Данные о количестве гало-KBM и полугало-KBM - Каталоге гало-KBM и полугало-KBM

http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/HALO/

Данные о количестве SC - Каталог SC IAGA

<http://isgi.unistra.fr/>

Данные о крупномасштабных событиях в Солнечном ветре (ЕЕЖТА и МС) - Каталог Института космических исследований (ИКИ РАН)

<ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/catalog/>

Благодарности. Работа выполнена при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 20-02-00150.

Список литературы

Ермалаев Ю.И., Николаева Н.С., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю. // Космические исследования, 2009, Т.47, №2, С. 99-113.

Обридко В.Н., Канониди Х.Д., Митрофанова Т.А., Шельтинг Б.Д. // Геомагнетизм и аэрономия, 2013, Т.53, №2, С. 157-166.

D'Huys E., Seaton D.B., Poedts S., Berghmans D. // Astrophys. J., 2014, V. 795, Is. 1, P. 1-12.

Gopalswamy N., Yashiro S., Michalek G., et al. The SOHO/LASCO CME Catalog // Earth Moon Planet, 2009, V.104, P. 295-313.

Zagainova Iu. S., Fainshtein V.G., Gromova L.I., Gromov S.V. // JASTP, 2020, V. 208, 105391.