

DOI: 10.51981/2588-0039.2021.44.024

СВЯЗЬ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИХОДА ФРОНТА МЕЖПЛАНЕТНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ СО ВРЕМЕНЕМ SSC ПО АНАЛИЗУ ОТДЕЛЬНЫХ КВМ-СОБЫТИЙ

С.В. Громов, Ю.С. Загайнова, Л.И. Громова

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

Аннотация. При взаимодействии межпланетных корональных выбросов массы (КВМ), сопровождающиеся ударными волнами, с земной магнитосферой в магнитном поле Земли могут быть зарегистрированы скачки разной интенсивности, которые в некоторых случаях могут инициировать развитие магнитных бурь, представляя собой ее внезапное начало (*Storm Sudden Commencement - SSC*). В работе представлен первые результаты оценки зависимости времени появления SSC как функции широты/долготы и мирового времени, с целью дальнейшего исследования связи направления прихода фронта ударной волны со временем появления SSC. Для анализа были выбраны два КВМ с источниками формирования в Северном (21.06.2015, 02:36 UT) и Южном (14.07.2017, 01:25 UT) полушарии Солнца. При подходе к Земле они вызвали SSC 22.06.2015 в 18:33 UT и 16.07.2017 в 05:59 UT с последовавшими за ними магнитными бурями. Время старта SSC определялась по секундным данным, доступным в сети INTERMAGNET (около 40 обсерваторий северного и 20 обсерваторий южного полушарий). Для этих событий выполнена оценка появления SSC как функция геомагнитной широты и долготы от всемирного времени. Показано, что с приходом КВМ к Земле старт SSC на наземных магнитных обсерваториях, расположенных на широтах, от высоких до экваториальных, не является одновременным - время старта SSC на разных широтах отличаются на десятки секунд. Кроме этого, в рассмотренных событиях SSC сначала регистрируется на обсерваториях полушария Земли, освещенного Солнцем, и, в среднем, появляется раньше в нижних широтах, чем в высоких.

Введение

Взаимодействие с магнитосферой Земли межпланетных корональных выбросов массы, сопровождающиеся межпланетными ударными волнами, приводит к возмущению магнитного поля Земли. Этот процесс отражается в резком скачке изменении геомагнитного поля (*Sudden Commencement - SC*) разной интенсивности, который в некоторых случаях может привести к развитию магнитной бури, представляя собой ее внезапное начало (*Storm Sudden Commencement - SSC*). Направление прихода фронта межпланетной ударной волны [5], так же, как и ее скорость и динамическое давление солнечного ветра, оказывает влияние на амплитуду и время нарастания SC. Внезапное начало бурь (SSC) фиксируется в каталоге SC, представляемом международной службой геомагнитных индексов (International Service of Geomagnetic Indices - <http://isgi.unistra.fr>).

Проблемы оценки времени нарастания, амплитуды SSC и одновременности SSC на разных наземных геомагнитных обсерваториях, а также зависимость времени начала SSC от широты и долготы станций наблюдения, рассматривались достаточно давно [2, 4, 6]. Но результаты «страдали» из-за неточности регистрации данных и погрешности их привязки к мировому времени [1]. Появление огромного массива секундных данных, доступных в сети INTERMAGNET, дает возможность вернуться к работам прошлых лет и провести исследования на более современном уровне.

Цель представляемой работы - на примере отдельных КВМ оценить зависимость времени появления SSC как функции широты/долготы и мирового времени, с целью дальнейшего исследования связи направления прихода фронта ударной волны со временем появления SSC.

Описание данных

На первом этапе наших исследований в каталоге КВМ (https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/HALO/), составленном по данным коронографов LASCO обсерватории SOHO за период наблюдений 2011 – 2017 гг., нами была отобрана пара КВМ, удовлетворяющая следующим критериям:

- (i) являются быстрыми КВМ, т.е. их линейная скорость $V_{lin} > 1500$ км/с,
- (ii) относятся к типу «гало»,
- (iii) источники формирования должны быть в разных полушариях Солнца,
- (iv) инициирование на Земле магнитных бурь с внезапным началом.

К таким событиям относятся:

(1) KBM от 21.06.2015 с источником в Северном полушарии Солнца, который впервые наблюдался в поле зрения коронографов LASCO в 02:36 UT, координаты области-источника формирования KBM на диске Солнца - N12E16, скорость на орбите Земли - 610 км/с,

(2) KBM от 14.07.2017 с источником в Южном полушарии Солнца с выходом в поле зрения коронографов LASCO в 01:25 UT, координаты области-источника формирования KBM на диске Солнца - S06W29, скорость на орбите Земли - 520 км/с.

Время появления SSC фиксировалось по магнитным данным с секундным временным разрешением, предоставляемым сетью INTERMAGNET (<https://www.intermagnet.org>). При взаимодействии с магнитосферой Земли они вызвали SSC 22.06.2015 в 18:33 UT и 16.07.2017 в 05:59 UT с последовавшими за ними магнитными бурями соответственно. Внезапное начало бури (SSC) определяется по резкому увеличению H -компоненты геомагнитного поля, которое происходит на всей Земле и отражается резким скачком в индексе буревой активности $SymH$ [3]. Это время определяется по импульсу SC на нескольких приэкваториальных станциях (Honolulu - HON, San Juan - SJG, Tamargrasset - TAM, Alibag - ABG, Kanoya - KNY) и фиксируется в каталоге SC (<http://isgi.unistra.fr>). Однако, известно, что импульс SC часто появляется в высоких географических широтах на одну или несколько минут (или секунд) раньше, чем на низких широтах. Нарастание поля начинается внезапно, но его время может составлять от 150 с до 300 с и зависит от местного времени наблюдения, его амплитуда может быть различной и зависит от условий в солнечном ветре. Для каждого события были обработаны данные обсерваторий, как северного, так и южного полушарий Земли. Ниже представлены результаты оценки зависимости времени появления SSC как функции широты/долготы и мирового времени для этих двух отобранных событий.

Обсуждение результатов

На Рис. 1 представлены условия в межпланетном магнитном поле (ММП) и в солнечном ветре, а также буревая активность на Земле, выраженная индексом $SymH$, который является минутным аналогом часового индекса Dst . (База данных параметров ММП и солнечного ветра с одноминутным разрешением - <https://omniweb.gsfc.nasa.gov>) для 22.06.2015(a) и 16.07.2017(б), когда на земной поверхности наблюдались SSC, вызванные приходом межпланетной ударной волны. Время прихода ударной волны, отмеченное красными стрелочками, так же, как и границы области сжатия (SHEATH) и магнитных облаков (MC), последовавших за KBM, указаны согласно классификации событий в солнечном ветре в каталоге [2], находящегося в свободном доступе на сайте <ftp://ftp.iki.rssi.ru/pub/omni/catalog>. Внезапное начало бури отражено резким скачком в индексе буревой активности $SymH$ (см. панель $SymH$).

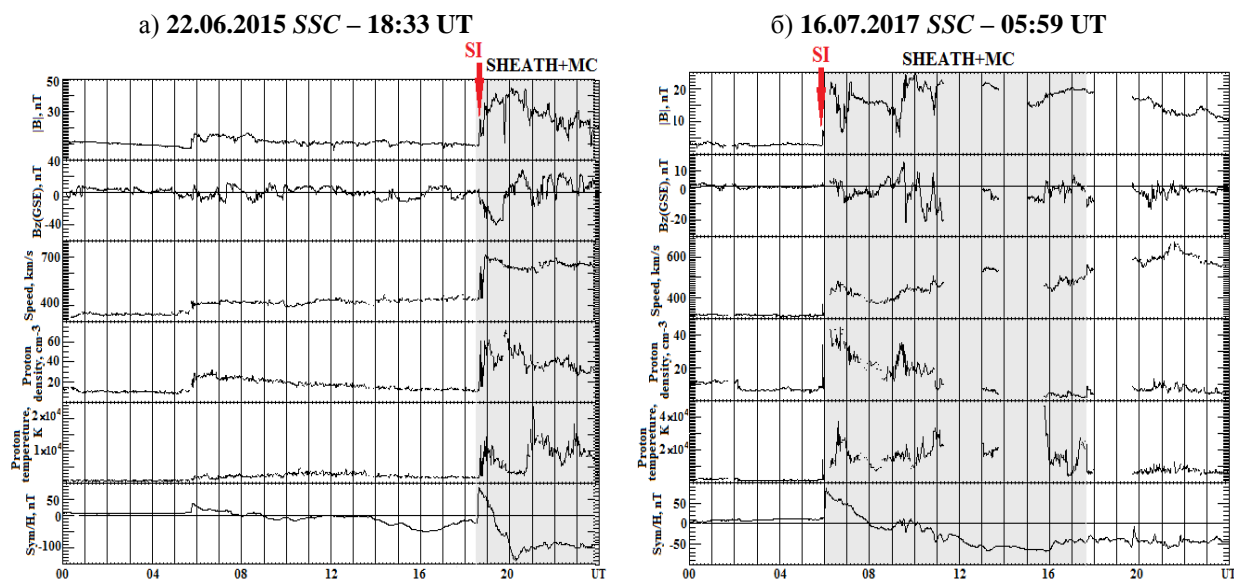


Рисунок 1. Характеристики межпланетного магнитного поля (модуль поля $|B|$, компонента $Bz(GSE)$) и солнечного ветра (скорость – Speed, плотность – Proton density, протонная температура - Proton temperature) и буревой активности на Земле ($SymH$ - одноминутный аналог индекса Dst) для событий 22.06.2015 (a) и 16.07.2017 (б).

В исследуемых случаях амплитуда SC достигала ~ 80 -90 нТл, что соответствует высокому уровню плотности солнечного ветра (см. Рис. 1).

Для выбранных событий были проанализированы, взятые из сети INTERMAGNET, секундные данные 58 станций для события от 22.06.2015, и 68 станций для события от 16.07.2017. По этим данным для каждой

обсерватории было определено время (в секундах) начала внезапного нарастания геомагнитного поля, как время начала SSC.

На Рис. 2 (SSC-событие от 22.06.2015) и Рис. 3 (SSC-событие от 16.07.2017) показаны: (а) распределение времени начала SSC как функций широты – мирового времени; (б) долготы - мирового времени, где ϕ – геомагнитная широта станции, λ – значение долготы станции, отсчитываемой от долготы, на которой в момент прихода KBM (начало SSC) был полдень по местному времени, $\lambda = 0$ соответствует «полуденной» долготы, на которой в момент прихода KBM наблюдался полдень по местному времени (12:00 LT). В представляемом случае - станция KOU. Диапазон $\lambda = [-90^\circ; 90^\circ]$ соответствуют значениям долготы λ для станций, расположенных на освещенном Солнцем полушарии Земли. Отрицательные значения долготы λ относятся к станциям, где момент появления SSC наблюдался в 00:00-12:00 LT местного времени (восточнее полуденного меридиана); положительный - в период 12:00-24:00 LT (западнее полуденного меридиана).

22.06.2015

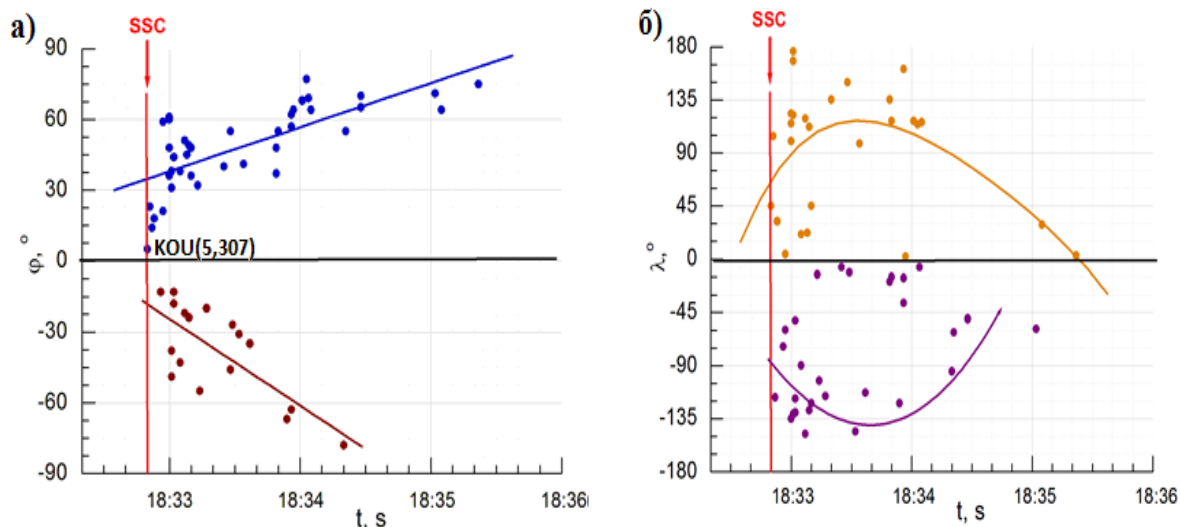


Рисунок 2. SSC-событие от 22.06.2015 (KBM от 21.06.2015), (а) - зависимость времени начала SSC как функция широты и всемирного времени, (б) - зависимость времени начала SSC как функция долготы и всемирного времени.

Во время SSC-события от 22.06.2015, инициированного приходом к орбите Земли KBM от 21.06.2015 с источником в Северном полушарии Солнца, на приход ударной волны первой отреагировала станция в Северном полушарии Земли - Kougoou (KOU, широта/долгота $5^\circ/307^\circ$), расположенная в долготном секторе от -135° до 0° .

16.07.2017

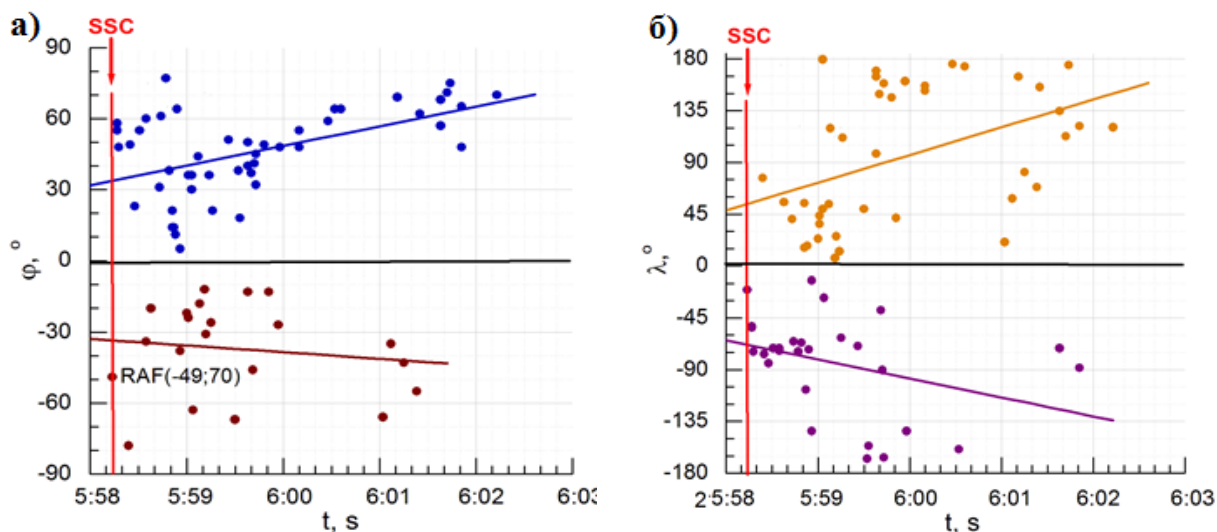


Рисунок 3. Тоже, что и на Рис.2, но для SSC-события от 16.07.2017 (KBM от 14.07.2017).

Во время SSC-события от 22.06.2015, зафиксированного в результате прихода к орбите Земли KBM от 16.07.2017 с источником в Южном полушарии Солнца, первой отреагировала станция в Южном полушарии Земли - станция Port-aux-Francais (PAF: широта/долгота $-49^{\circ}/70^{\circ}$) в долготном секторе от 0° до 90° .

Заключение

Анализ времени начала SSC как функции широты/долготы и всемирного времени по данным с секундным временным разрешением для двух SSC-событий (22.06.2015 в 18:33 UT и 16.07.2017 в 05:59 UT), вызванным приходом межпланетных KBM с ударной волной, области-источники которых зафиксированы в разных полушариях Солнца (для KBM от 21.06.2015 в 02:36 UT – в Северном полушарии, а для KBM от 14.07.2017 в 01:25 UT - в Южном полушарии) показал:

- (i) с приходом KBM к орбите Земли начало SSC на наземных магнитных обсерваториях, расположенных на разных широтах, от высоких до экваториальных, не является одновременным;
- (ii) время регистрации появления SSC на разных широтах отличаются на десятки секунд;
- (iii) в рассмотренных событиях SSC регистрируется сначала на обсерваториях полушария Земли, осященного Солнцем, и появляется раньше в нижних широтах, чем в высоких.

Далее планируется продолжить исследование зависимости времени начала SSC в связи приходом гало-KBM как функции широты/долготы и всемирного времени с целью дальнейшего исследования связи направления прихода фронта ударной волны со временем появления SSC на большей выборке событий.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственного задания № 012009488, при частичной поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проект № 20-02-00150.

Список литературы

1. Акасофу С.И., Чепмен С. (1974). Солнечно-земная физика. Перевод с англ., Москва, Изд-во Мир, 384 с.
2. Ермолаев Ю.И., Николаева Н.С., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю. (2009). Каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра для периода 1976–2000 гг. // Космич. исслед.. Т. 47. № 2. С. 99–113. <https://doi.org/10.1134/S0010952509020014>
3. Curto J.-J., Araki T., Alberca L.F. (2007). Evolution of the concept of Sudden Storm Commencements and their operative identification // Earth Planets Space. V. 59. I-XII. <https://doi.org/10.1186/BF03352059>
4. Sato T. (1961). Sudden commencement of geomagnetic storms in high latitudes // Rep. Ionosph. Space Res. Japan. 15. 215.
5. Selvakumaran R., Veenadhari B., Ebihara Y., Kumar S., Prasad D.S.V.V.D. (2017). The role of interplanetary shock orientation on SC/SI rise time and geoeffectiveness // Advances in Space Research. V. 59. N. 5. P. 1425–1438. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.12.010>
6. Williams V.L. (1960). The simultaneity of sudden commencements of magnetic storms // J. Geophys. Res.. V. 65. N. 1. P. 85–92.