

(ДТОО «Астрофизический институт им. Фесенкова», Алматы, Республика Казахстан)

ФИЗИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВЫБРОСОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ НА ВИДИМОЙ И ОБРАТНОЙ СТОРОНЕ СОЛНЦА

Аннотация. Проведено исследование свойств корональных выбросов на видимой и противоположной стороне Солнца. Используются данные наблюдений на солнечной обсерватории SOHO в течение 23-го цикла активности. Установлено, что параметры корональных выбросов, возникающих на противоположной стороне Солнца, указывают на присутствие там мощных активных областей. Имеется возможность спрогнозировать выход этих областей на видимую сторону Солнца.

Для всех стадий развития цикла количество выбросов типа Halo, движущихся с торможением (248), существенно превышало число выбросов, положительно ускоренных (138). Было зафиксировано экстремальное значение ускорения выброса ($a = 434.8 \text{ м/сек}^2$), позволившее ему вблизи Солнца достичь скорости $V = 3731 \text{ км/сек}$.

Выявлена характерная особенность в развитии стадии спада 23-го цикла: четко выделяются отдельные группы выбросов, источниками которых были комплексы активности на обеих сторонах диска Солнца. На стадии спада цикла количество выбросов, имеющих наиболее высокие значения кинетической энергии и ускорения, превосходило стадию максимума.

Ключевые слова: солнечные активные области, корональные выбросы.

Тірек сөздер: күннің белсенді аймақтары, тәждік шығарулар.

Keywords: solar active regions, coronal mass ejections.

На космической солнечной обсерватории SOHO осуществляется систематическая съемка корональных выбросов массы (КВМ). Причем, в проекции на небо фиксируются выбросы, движущиеся как к Земле, так и в противоположную сторону. Для тех и других выбросов, полученные в результате фотометрической и координатной обработки видеоматериала, в каталоге “SOHO/LASCO CME CATALOG” приводятся следующие данные: позиционный угол, угловая ширина, линейная скорость (V), ускорение (a), масса (m), кинетическая энергия (E_k). Таким образом, появилась возможность, используя характеристики выбросов, сопоставить проявление активности Солнца на видимой и противоположной стороне, пока недоступной для наблюдений с Земли. Можно оценить нижнюю границу массы и кинетической энергии выбросов со всей поверхности Солнца.

Изучение структуры выбросов на противоположной стороне, позволяет предсказывать появление активных областей на видимом, восточном лимбе Солнца.

Возможность получения информации одновременно обо всем Солнце появится, когда будет реализована международная программа «Часовые Солнца», предусматривающая вывод на орбиту 4-х идентичных спутников [1].

В дальнейшем, выбросы, которые возникли на видимой стороне Солнца, мы будем обозначать FS (Frontside), а на обратной стороне – BS (Backside). Для сопоставления свойств FS и BS выбросов в период с 16 августа 1996 г. по 15 декабря 2004 г., было использовано 162 события FS и 108 – BS, представляющих выбросы типа Halo. Количество принятых к рассмотрению FS и BS выбросов ограничивалось теми, для которых опубликованы рассчитанные значения массы и кинетической энергии. Заметное различие в количестве выбросов FS и BS можно объяснить сложностью отождествления и определения их координат вблизи лимба Солнца и влиянием выборки при расчете массы и кинетической энергии выбросов.

КВМ типа Halo являются наиболее мощными активными явлениями, высокоскоростная масса выбрасываемого вещества которого имеет кинетическую энергию ($10^{29} - 10^{33}$) эрг. Тогда как самые мощные вспышки дают суммарную энергию излучения и потока частиц, равную 10^{32} эрг. Как правило, выбросы типа Halo сопровождаются вспышками рентгеновских баллов: С, М и самого высокого – Х.

На рисунке 1 приведены снимки SOHO двух выбросов Halo: 28 октября 2003 г. (FS, а и б) и 5 июля 2004 г. (BS, в и г). Корональные снимки каждого события были сопоставлены с изображением Солнца в ультрафиолете ($\lambda 195\text{\AA}$). Выброс FS (б) сопровождался развитием вспышки с координатами S16 E08 (а), для BS выброса (г), на видимом диске – вспышечная активность отсутствует (в).

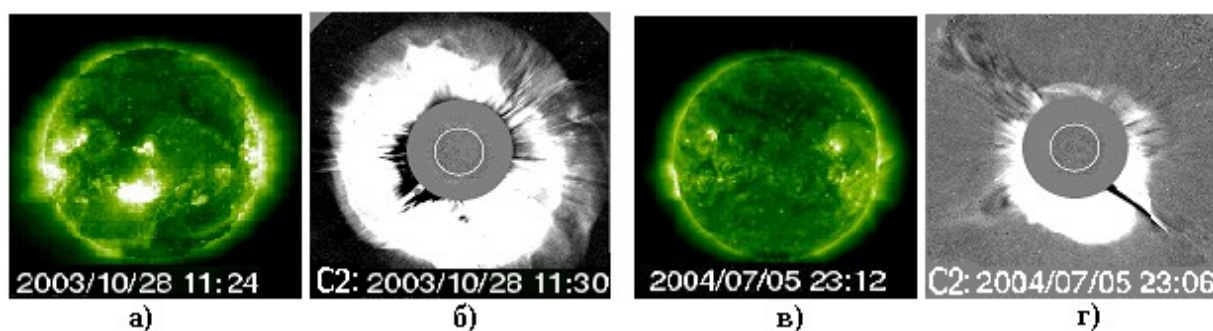


Рисунок 1 – Сопоставление развития выбросов на видимом диске (а, б) и на обратной стороне (в, г)

Согласно исследованию М. В. Еселевич и А. И. Хлыстовой [2], при движении выброса Halo со скоростью превышающей 400 км/сек, вблизи Земли регистрируется ударный фронт. Поэтому одним из признаков движения выброса Halo в противоположную от

Земли сторону, является отсутствие ударного фронта. Это условие выполняется для рассмотренных BS выбросов.

Сопоставление параметров m , V , a , E_k для выбросов FS и BS показывает одинаковый, как и ожидалось, ход изменений со временем. Для указанного периода наблюдений на рисунке 2 представлены: (а) – значения массы FS и BS, (б) – кинетической энергии E_k .

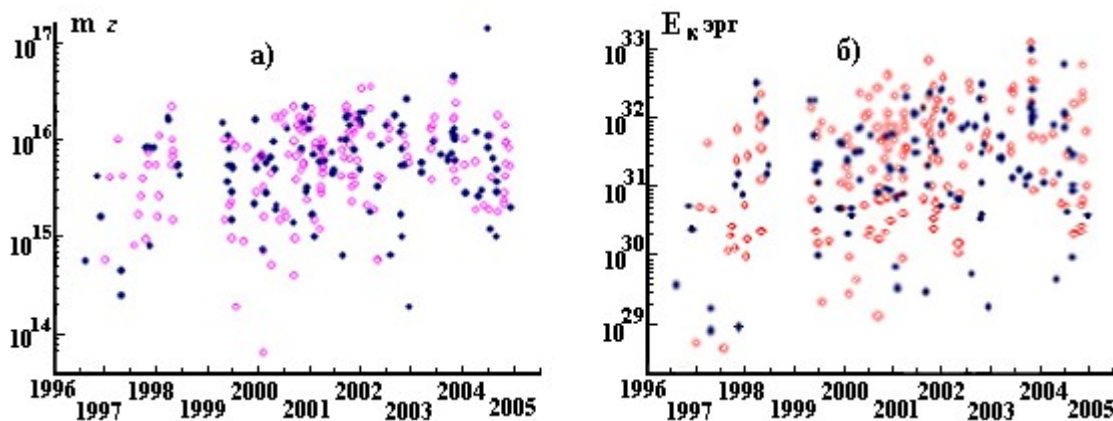


Рисунок 2 – Сравнение значений массы выбросов на видимом диске – открытые кружки и на обратной стороне – сплошные (а), и их кинетической энергии (б) для 1996–2004 гг.

Интервал значений кинетической энергии BS выбросов составляет $8.1 \cdot 10^{28} - 9.3 \cdot 10^{32}$ эрг. Самый массивный выброс ($m = 1.4 \cdot 10^{17} \text{ } \text{z}$) на обратной стороне Солнца произошел 2 июля 2004 г. Можно оценить нижнюю границу выброшенной массы вещества корональных выбросов типа Halo, со всей поверхности Солнца, за рассматриваемый период наблюдений: $m_{FS} + m_{BS} = 1.35 \cdot 10^{18} \text{ } \text{z} + 9.73 \cdot 10^{17} \text{ } \text{z} = 2.32 \cdot 10^{18} \text{ } \text{z}$. Соответствующее значение для кинетической энергии выбросов составляет:

$$E_k^{FS} + E_k^{BS} = 0.70 \cdot 10^{34} \text{ эрг} + 1.33 \cdot 10^{34} \text{ эрг} = 2.03 \cdot 10^{34} \text{ эрг}.$$

Наглядным примером использования BS наблюдений выбросов для прогноза появления из-за восточного лимба новой области, является группа AR 10486 (S16, L286), существовавшая на Солнце в октябре–ноябре 2003 г. За период с 15 по 21 октября 2003 г. в этой группе произошло 8 корональных выбросов BS. Причем, два из них были типа Halo, и имели высокие значения массы ($7.2 \cdot 10^{15} \text{ } \text{z}$ и $1.2 \cdot 10^{16} \text{ } \text{z}$) и кинетической энергии ($1.4 \cdot 10^{31} \text{ эрг}$ и $1.3 \cdot 10^{32} \text{ эрг}$). 15 октября в 14h 06m был зарегистрирован BS выброс, имевший позиционный угол SW, а 16 октября в 1h 31m – угол SE. То есть активная область в промежуток времени между этими выбросами пересекла центральный меридиан. Это позволяет оценить время выхода AR 10486 на видимую часть диска Солнца 21 октября, что и подтверждают наблюдения. В дальнейшем, с 23 октября по 4 ноября, в AR 10486 произошло 6 вспышек рентгеновских баллов от X1.1 до X28 – самой мощной в цикле. Большинство вспышек сопровождалось высокоэнергичными выбросами; 28

октября был зарегистрирован выброс, обладавший самой высокой кинетической энергией ($V = 2459$ км/сек, $E_k = 1.2 \cdot 10^{33}$ эрг).

Кроме сопоставления параметров FS и BS, рассмотрены некоторые общие свойства структур выбросов типа Halo. Так, были рассчитаны среднегодовые значения кинетической энергии KBM Halo для 1996 г. – 2004 г. и сопоставлены с соответствующими числами Вольфа (рисунок 3) в ходе развития цикла.

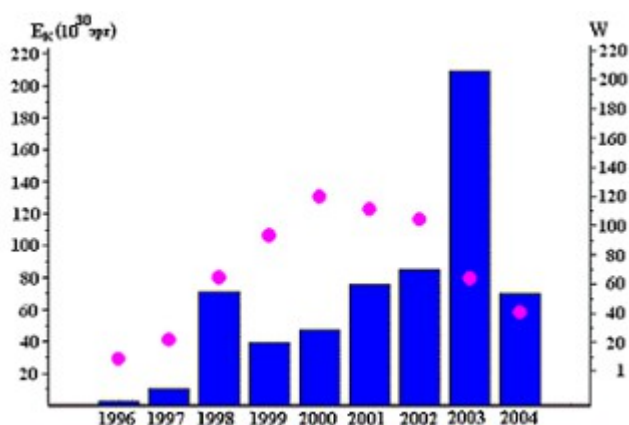


Рисунок 3 – Сопоставление среднегодовых значений кинетической энергии выбросов типа Halo (гистограмма) и чисел Вольфа (точки) за период 1996 г. – 2004 г.

Ход изменения кинетической энергии KBM в течение цикла значительно отличался от хода чисел пятен. Для энергий KBM наблюдался существенный подъем на стадии роста цикла (1998 г.), а максимальные значения относились к периоду спада цикла (2003 г.). Подобным образом происходило развитие и вспышечной активности в течение 23-го цикла, когда самые мощные вспышки наблюдались на стадии его спада. Таким образом, нашел подтверждение факт о тесной физической взаимосвязи между развитием солнечных вспышек и KBM.

Сопоставление линейной скорости и массы FS и BS выбросов (рисунок 4,а) показывает, что чем массивнее выбросы, тем более высокую скорость, в среднем, они имеют. Эта зависимость сохраняется до $V_{cp.} \sim 1500$ км/сек, при этом масса выбросов увеличивается более чем на порядок. Среднее значение массы выбросов, движущихся со скоростью $V_{cp.} > 1500$ км/сек, составляет $m_{cp.} \sim 10^{16}$ г. FS и BS выбросы, обладающие наибольшей кинетической энергией, имеют высокие значения ускорений и торможений (рисунок 4,б).

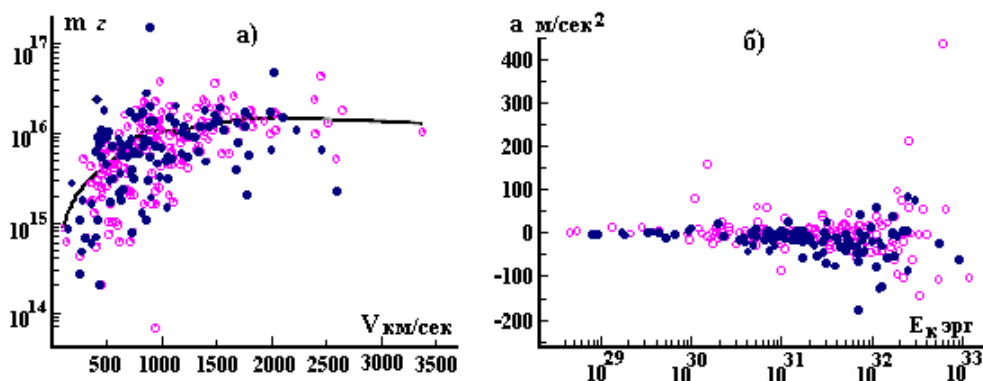


Рисунок 4 – Сопоставление значений скорости и массы (а), кинетической энергии и ускорения (б)

для выбросов на видимом диске и на обратной стороне. Обозначения для выбросов аналогичны рисунку 2

Далее были сопоставлены значения ускорений FS и BS выбросов типа Halo для 23-го цикла активности 1996–2008 гг. (рисунок 5). Годы минимума (1996 г.) и роста цикла (1997–1999 гг.) характеризуются, кроме двух случаев, абсолютными значениями a в пределах 45 м/сек^2 . На период максимума (2000–2002 гг.) приходится основное количество выбросов с большими амплитудами, как ускорений, так и торможений ($-50 \text{ м/сек}^2 > a > 50 \text{ м/сек}^2$), что подтверждается результатами исследований в [3]. 12 мая 2000 г. наблюдалось самое сильное торможение выброса ($a = -179.7 \text{ м/сек}^2$). При этом, на расстоянии $20R_{\odot}$ скорость уменьшилась от значения $V = 2604 \text{ км/сек}$ до $V = 2096 \text{ км/сек}$.

Для стадии спада цикла (2004–2007 гг.) обнаружена четко прослеживаемая структурированность выбросов, источниками которой были отдельные мощные комплексы активности. На рисунке 5 тремя вертикальными, прерывистыми линиями показаны FS и BS выбросы. Эти выбросы возникли в 3 следующих комплексах активности: октябрь – ноябрь 2003 г. – AR 10486, AR 10484, AR 10488; январь 2005 г. – AR 10720, AR 10718; июль 2005 г. – AR 10786, AR 10792. Причем, в каждом комплексе, одна из областей проявляла более высокую активность (они указаны первыми). По количеству выбросов, обладающих абсолютно высокими значениями ускорений и торможений ($-100 \text{ м/сек}^2 > a > 100 \text{ м/сек}^2$), стадия спада цикла превосходила фазу максимума. 4 ноября 2003 г. было зафиксировано экстремальное значение ускорения выброса ($a = 434.8 \text{ м/сек}^2$), позволившее разогнаться ему вблизи Солнца до скорости $V = 3731 \text{ км/сек}$.

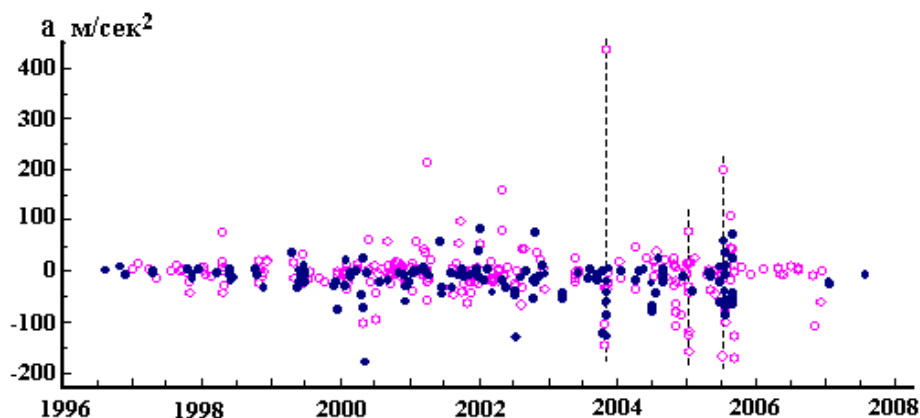


Рисунок 5 – Значения ускорения выбросов типа Halo на видимом диске и обратной стороне в течение

23-го цикла активности. Обозначения выбросов на видимом диске и на обратной стороне, аналогичные рисунку 2

Для всех стадий развития цикла количество выбросов типа Halo, движущихся с торможением (248), существенно превышает число выбросов, положительно ускоренных (138).

Подводя итог работы, отметим, что параметры корональных выбросов, возникающих на проти-воположной стороне Солнца, указывают на присутствие там мощных активных областей. Имеется возможность спрогнозировать выход этих областей на видимую сторону Солнца. Выявлена характерная особенность в развитии стадии спада 23-го цикла: четко выделяются отдельные группы выбросов, источниками которых были комплексы активности на обеих сторонах диска Солнца. На стадии спада цикла количество выбросов, имеющих наиболее высокие значения кинетической энергии и ускорения, превосходило стадию максимума.

Работа выполнена по программе «Изучение физических свойств избранных объектов солнечной системы».

ЛИТЕРАТУРА

1 Lin, R.P., Szabo, A. Solar Sentinels: Report of the Science and Technology Definition Team // NASA, Greenbelt, Maryland. – 2006. – P. 126.

2 Еселевич М.В., Хлыстова А.И. Связь параметров вспышки в линии λ 195Å со скоростью корональных выбросов массы типа «гало» // Тезисы докладов международной молодежн. научн. школы по фунда. физике. – Иркутск, 2006. – С. 46.

3 Peng-Xin Gao, Ke-Jun Li. A cyclic behavior of CME accelerations for accelerating and decelerating events // Res. Astron. Astrophys. – 2009. – Vol. 9, N 10. – P. 1165.

REFERENCES

1. Lin, R.P., Szabo, A. Solar Sentinels: Report of the Science and Technology Definition Team. *NASA, Greenbelt, Maryland.* **2006.** P. 126.

2. Eselevich M.V., Hlystova A.I. Svjaz' parametrov vspyshki v linii λ 195Å so skorost'ju koronal'nyh vybrosov massy tipa «galo» . *Tezisy dokladov mezhdunarodnoj molodezhn. nauchn. shkoly po fund. fizike. Irkutsk.* **2006.** S. 46. (in Russ/)

3. Peng-Xin Gao, Ke-Jun Li. *Res. Astron. Astrophys.* **2009.** Vol. 9, N 10. P. 1165.

Резюме

Г. С. Минасянц, Т. М. Минасянц

(«Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан Республикасы)

КҮННІҢ СЫРТҚЫ ЖӘНЕ КӨРІНЕРЛІК ЖАҚТАРЫНДАҒЫ ПАЙДА БОЛАТЫН ШЫҒАРЫНДЫЛАРДЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫ

Күннің сыртқы және көрінерлік жақтарындағы тәждік шығарындыларына қасиеттеріне зерттеулер жүргізілді. 23-ші белсенділік циклі кезіндегі SOHO күн обсерваториясында бақыланған мәліметтер қолданылды. Күннің сыртқы жақтарында пайда болатын тәждегі шығарындылардың параметрлері ондағы белсенді аймақтардың бар екендігін дәлелдейді. Бұл аймақтарды Күннің көрінерлік жағына шығарып, болжам жасау мүмкіндігі бар.

Шығарындылардың саны (138) үдемелі түрде артты, қозғалыстағы тежелуімен (248), Halo түріндегі шығарындылар санының барлығы үшін циклдің даму сатысы. Күнге жақын $V = 3731$ км/сек жылдамдыққа жететін шығулар үдеуінің ($a = 434.8$ м/сек²), экстремальды мәні тіркелді.

23-ші цикл дамуының азаю сатысының сипаттамалық ерекшеліктері табылды: Күн дискісінің екі жағының белсенділік топтарының көзі болған, жеке шығарындылардың топтары анық көрінеді. Циклдің азаю сатысында үлкен мәнге ие кинетикалық энергия және үдеудің шығарынды сандары максимум саты-сынан басым болды.

Тірек сөздер: күннің белсенді аймақтары, тәждік шығарулар.

Summary

G. S. Minasyants, T. M. Minasyants

(D TOO «Fesenkov Astrophysical Institute», Almaty, Republic of Kazakhstan)

PHYSICAL STRUCTURE OF THE EJECTIONS, ARISING

ON FRONTSIDE AND BACKSIDE OF THE SUN

The properties of coronal ejections on the front side and the backside of the Sun are investigated. The data of solar observatory SOHO during 23rd cycle of activity were used. It was obtained that the coronal ejections parameters, arising on the backside of the Sun, showed the presence the powerful sunspots regions there. There is a possibility to predict an appearance of these active regions on the visible side of the Sun.

For all stages of development of a cycle the quantity of ejections of Halo type, moving with breaking (248), is significantly higher than the number of the accelerated ejections (138). Extreme magnitude of ejection acceleration, that allowed it to reach speed $V = 3731$ km/s near to the Sun, has been fixed ($a = 434.8$ м/сек²).

The characteristic feature in development of decay stage of 23-rd cycle is revealed: the same groups of ejections, which sources were complexes of activity on both sides of a disk of the Sun, are precisely distinguished. At decay stage of a cycle the quantity of the ejections, having the highest values of kinetic energy and acceleration, surpassed the maximum stage.

Keywords: solar active regions, coronal mass ejections.

Поступила 2.09.2013г.