

УДК 523.98

СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ВСПЫШКИ В ЛИНИИ 195 Å СО СКОРОСТЬЮ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ ТИПА ГАЛО

М.В. Еселевич, А.И. Хлыстова

RELATIONSHIP BETWEEN THE 195 Å FLARE PARAMETERS AND THE HALO CME VELOCITIES

M.V. Eselevich, A.I. Khlystova

На примере 48 событий корональных выбросов массы типа гало, движущихся в направлении Земли, показано: параметры вспышек на диске Солнца, которые часто сопровождают корональные выбросы массы (КВМ), наблюдаемые в короне, имеют непосредственную связь со скоростью КВМ. Всем событиям, представленным в работе, кроме одного (самого слабого), были найдены соответствия в виде ударной волны, определенной по спутниковым измерениям на околоземной орбите. В то же время примерно для 30 КВМ типа гало, рассмотренных за этот же период времени, которые не сопровождались вспышечной активностью на диске, ударная волна на околоземной орбите не была зарегистрирована, т. е. в этих случаях КВМ был направлен в сторону, противоположную Земле. Таким образом, само наличие и ее параметры могут служить критерием для определения скорости КВМ типа гало и их направленности в сторону Земли.

An example of 48 halo coronal mass ejections (CME) moving toward the Earth was used to show a direct CME velocity dependence of the parameters of Sun-disk flares often accompanying CMEs observed in the corona. All events under investigation (except the slowest ≈ 360 km/s) were associated with shocks at the Earth's orbit. Meanwhile, about 30 halo CMEs observed over the same period without any accompanying flare activity on the solar disk did not demonstrate shocks, i.e. the CMEs were moving away from Earth. Hence the mere presence of a flare as well as its parameters can be a criterion to assess the velocity of halo CMEs and their direction to the Earth.

Введение

Корональные выбросы массы (КВМ), как правило, сопровождаются другими проявлениями активности на Солнце. В первую очередь это вспышки и эрупция волокон (или протуберанцев на лимбе). Поскольку эти явления тесным образом связаны с КВМ (по крайней мере, по времени и локализации вблизи поверхности Солнца), предпринимались различные попытки для того, чтобы связать их характеристики с параметрами наблюдаемых КВМ. В данной работе сделана попытка связать параметры вспышек, измеренные по изображениям Солнца в дальней УФ-области на инструменте EIT/SOHO, со скоростью КВМ.

Отметим, что мы хотели определить энерговыделение в УФ и связать его со скоростью КВМ. Поэтому первоначально не проводилось специальное разделение между вспышечными и не вспышечными событиями, т. е. детально не рассматривались морфологические особенности каждого явления. Во всех случаях, которые мы рассматривали, наблюдалось кратковременное (порядка нескольких часов) увеличение свечения в УФ, которое мы рассматривали как вспышку и определяли для нее поток излучения и площадь.

При этом мы ставили перед собой следующие задачи.

1. Определить количественную связь между скоростью КВМ и параметрами вспышек в УФ, сопровождающих эти КВМ.

2. Попытаться найти отличия КВМ, связанных и не связанных с исчезновением (эрупцией) волокна.

3. Проверить возможность использования вспышки для оценки скорости и определения направления движения КВМ.

Данные

Наше исследование включало следующую последовательность действий:

- 1) были отобраны КВМ типа гало, для которых имеются измерения скорости;

- 2) для этих КВМ проверялось наличие или отсутствие вспышки по изображениям EIT в линии 195 Å (визуально, просмотром изображений);

- 3) для имеющихся вспышек определялись поток излучения и площадь в максимуме вспышки;

- 4) для этих событий проверялось наличие или отсутствие ударной волны на орбите Земли;

- 5) окончательно строились зависимости параметров вспышек от скорости КВМ.

Всего было выбрано около 100 событий КВМ типа гало за 1999–2005 гг. Для отбора использовался каталог SOHO LASCO CME CATALOG, который составлен по данным коронографов LASCO/SOHO. Из этого же каталога были взяты значения линейной скорости для выбранных КВМ. Диапазон скоростей составил от 360 до ~ 3000 км/с.

Методика

Методика обработки данных была следующая. Для отобранных событий гало-КВМ определялся момент времени когда КВМ находился на $1R_0$ (экстраполяцией графика высота–время для КВМ обратно к поверхности Солнца). В интервале ± 1 ч от этого момента времени визуально просматривались изображения, полученные на EIT, на наличие вспышечной активности. Если такая активность обнаруживалась, по изображениям EIT определялись параметры вспышки. Бралась разность кадра во время вспышки и кадра, полученного непосредственно перед вспышкой. Поток излучения определялся как суммарный сигнал по всей площади вспышки. Поток

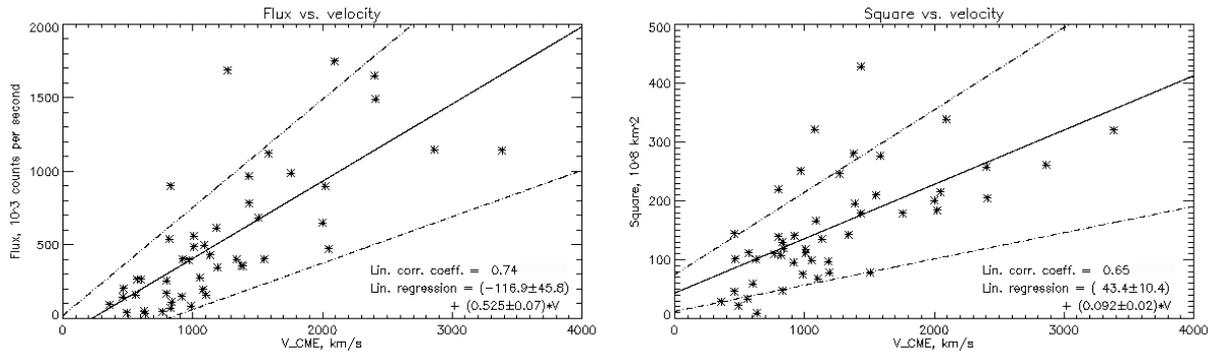


Рис. 1. Зависимости, показывающие связь скоростей КВМ с параметрами вспышек в УФ: слева – поток излучения; справа – площадь.

и площадь определялись для момента времени (т. е. для изображения), когда поток от вспышки был максимальный. Таким образом, фиксировались поток и площадь для максимума вспышки.

Для того чтобы ограничить площадь вспышки при суммировании сигнала и определении площади вспышки, вкладом во вспышку мы считали только сигнал больше некоторого определенного уровня, т. е. те области, где с момента перед вспышкой изменения сигнала превышали этот уровень. Для каждого события он определялся отдельно. Для этого строился набор зависимостей измеренной площади вспышки от размера области, по которой проводилось суммирование для разных уровней отсечения сигнала. За искомым уровнем принимался сигнал, при котором дальнейший рост площади вспышки с увеличением площади области, по которой производился подсчет, становился незначительным.

Для всех вспышек использовалась единая методика, что позволило уменьшить неопределенность, особенно в определении площади вспышек.

Результаты

Полученные значения потока излучения и площади в момент максимума (максимального потока) вспышки сравнивались со скоростью КВМ, связанных с этими вспышками. Полученные зависимости свидетельствуют о том, что имеется связь между скоростью КВМ и параметрами вспышек в УФ. Полученные линейные коэффициенты корреляции достаточно высокие и имеют значения около 0.7 (рис. 1).

Чем больше скорость КВМ, тем больше площадь и поток излучения у связанной с ним вспышки. В целом этот вывод подтверждает идею о том, что КВМ и вспышка, сопровождающая его, есть результаты единого процесса с общим масштабом энерговыделения.

Примерно в 20 % рассмотренных случаев помимо вспышечной активности наблюдалась эрупция волокна, видимая по изображениям ЕИТ, или явление исчезновения волокна (DSF) по данным измерений в линии H α . Данные о DSF были взяты из Solar Geophysical Data. Сам факт, что во всех этих случаях наблюдалась вспышечная активность, не позволяет разделить выбранные КВМ на события, связанные только со вспышками, и события, связанные только с выбросом волокна. Параметры, измеренные для вспышек в этих событиях, существенно не отличаются от общего вида зависимостей (рис. 2). Однако

даже при общем разбросе точек на графике, можно обратить внимание на то, что поток излучения для этих вспышек в целом несколько ниже средней кривой. В некоторых случаях это может быть вызвано частичной экранировкой темным веществом волокна яркой области вспышки и соответственно заниженным значением потока – для некоторых событий это видно невооруженным глазом. На рис. 3 показаны графики изменения во времени потока для двух вспышек, сопровождающих КВМ, с примерно одинаковыми скоростями (около 1000 км/с). Они отличаются тем, что в первом событии наблюдается эрупция темного волокна, перекрывающего область вспышки – соответственно поток излучения, измеренный в максимуме такой вспышки, может быть существенно занижен.

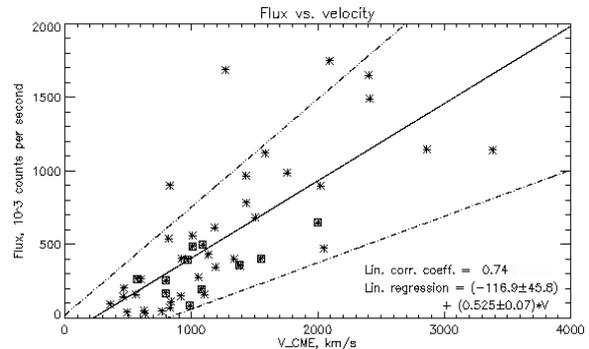


Рис. 2. Связь потока от вспышек со скоростями КВМ. Вспышки, сопровождаемые эрупцией волокон, отмечены квадратами.

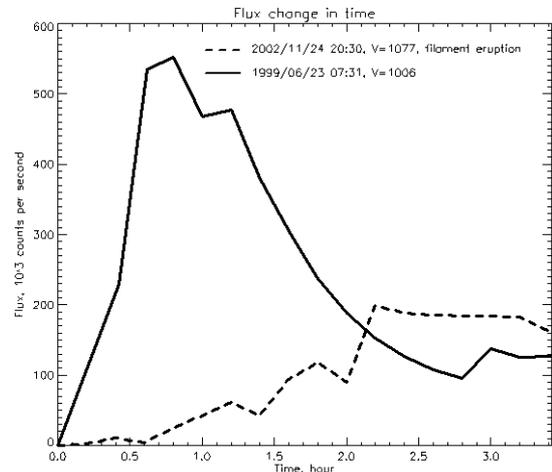


Рис. 3. Изменения потока во времени для двух вспышек сопровождающих КВМ со скоростями около 1000 км/с.

Проверка направления движения КВМ по ударной волне

Наличие вспышки близко к моменту времени возникновения КВМ не всегда может дать нам уверенность, что это связанные явления, что данный КВМ произошел на видимой стороне Солнца и направлен в сторону Земли. Дополнительным основанием, для того чтобы определить направление движения (в сторону Земли или от нее) наблюдаемого КВМ типа гало, является регистрация (или отсутствие) ударной волны от этого КВМ на орбите Земли.

На фронте КВМ при скоростях более 100 км/с на расстояниях $R \geq 2R_0$ (R_0 – радиус Солнца) формируется ударная волна. На орбите Земли она регистрируется как резкий (на временном масштабе порядка минуты) скачок параметров плазмы солнечного ветра: концентрации N , скорости V , температуры T и модуля магнитного поля B . Транзитное время ударной волны (а следовательно, КВМ) от Солнца до Земли можно вычислить по эмпирической формуле, взятой из [1]:

$$\Delta t \text{ (сутки)} = 3.9 - 2 \cdot 10^{-3} V_{\text{КВМ}} + 3.6 \cdot 10^{-7} V_{\text{КВМ}}^2$$

Здесь скорость КВМ $V_{\text{КВМ}}$ выражена в км/с. Эта формула усредняет данные, полученные для КВМ с различными скоростями. Максимальное отклонение измеренного значения Δt от вычисленного по формуле не превышает 1.5 суток.

Для каждого нашего события мы определили по этой формуле время регистрации ударной волны на орбите Земли. Для всех КВМ, сопровождающихся вспышками, была зафиксирована ударная волна, и время ее регистрации в основном менее чем на 12 ч отличалось от расчетного. Только для одного КВМ, с самой малой скоростью (~ 360 км/с) ударная волна не была зарегистрирована. Возможно, он возбуждает слишком слабую ударную волну, которую трудно обнаружить. Для анализа КВМ, предположитель-

но движущихся в сторону, противоположную Земле, были отобраны КВМ без сопутствующей вспышки в УФ. В 30 событиях, в пределах интервала ± 1.5 сут от рассчитанного времени прибытия на орбиту Земли ударная волна не была обнаружена. Таким образом, можно сделать вывод, что отсутствие сопутствующей вспышки в УФ может служить свидетельством того, что КВМ типа гало движется в противоположную от Земли сторону.

Выводы

Анализ 48 событий КВМ типа гало за 1999–2005 гг. показал:

1. Все КВМ, направленные в сторону Земли, сопровождались вспышечной активностью в УФ.
2. Для всех КВМ со скоростями больше 400 км/с на орбите Земли регистрировалась ударная волна.
3. Показана связь между скоростью КВМ и потоком излучения и площадью вспышки в УФ с линейным коэффициентом корреляции около 0.7.
4. Не обнаружено существенное отличие КВМ, сопровождающихся исчезновением волокна: такие события сопровождаются также и вспышечной активностью, движущееся волокно может приводить к частичной экранировке вспышки.
5. Наличие и параметры вспышки, сопровождающей КВМ типа гало, могут служить для оценки скорости КВМ и направления его движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Manoharan P.K. et al. Influence of coronal mass ejection interaction on propagation of interplanetary shocks // JGR. 2004. V. 109, N A6, CiteID A06109.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск
mesel@iszf.irk.ru