

УДК 523.98

Связь длительности солнечных рентгеновских вспышек и массы ассоциированных с ними корональных выбросов

А.Н. Шаховская, З.С. Ахтемов

НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», Научный, АР Крым, Украина, 98409
anshakh@yandex.ru

Поступила в редакцию 20 декабря 2012 г.

Аннотация. Рассмотрена статистическая зависимость между характеристиками рентгеновских вспышек и массой корональных выбросов (СМЕ) на Солнце, связанных с этими вспышками. Показано, что короткие рентгеновские вспышки характеризуются в среднем меньшим выносом массы во внешние слои короны и межпланетное пространство по сравнению с мощными длительными событиями (LDE).

THE RELATIONSHIP OF DURATION OF SOLAR X-RAY FLARES AND MASS OF ASSOCIATED CORONAL EJECTIONS, *by A.N. Shakhovskaya, Z.S. Akhtemov.* The statistical relationship between characteristics of X-ray flares and coronal mass ejections (CME) on the Sun, associated with these flares, is considered. It is shown that short X-ray flares are characterized on average by less mass ejection in the outer layers of the corona and interplanetary space compared with powerful long duration events (LDE).

Ключевые слова: вспышки, Солнце, корональные выбросы

1 Введение

Горячая плазма внешней солнечной атмосферы удерживается в магнитных конфигурациях различных масштабов. Это приводит к формированию систем петель активных областей и комплексов активности, а также арочных образований над нейтральной линией крупномасштабного магнитного поля. Неустойчивости плазмы в соответствующих магнитных конфигурациях часто приводят к нестационарным (динамическим) процессам, в большинстве случаев сопровождающимися наблюдаемыми выбросами вещества. В некоторых случаях выбрасывается холодная плазма, наблюдаемая на лимбе как эруптивные протуберанцы, или на диске как выбросы волокон. Чаще, однако, формируются выбросы плазмы с корональными температурами. Уже более десяти лет такие выбросы коронального вещества, обозначаемые СМЕ (Coronal Mass Ejection), регулярно наблюдаются на коронографах LASCO на спутнике SOHO. Довольно часто наблюдается выброс в виде гигантской петли, в центре которой располагается компактная часть выброса – его ядро. Обычно угловые размеры СМЕ составляют 40–50°, но встречаются и более крупномасштабные явления. Масса выбрасываемой плазмы может превышать 10^{16} грамм (Воурлидас и др., 2002).

Кроме СМЕ, многие мощные нестационарные процессы сопровождаются вспышками, мягкое рентгеновское излучение которых в одних случаях длится 10–20 мин, а в других – медленно затухает в течение многих часов. Длительные вспышки – LDE (Long Duration Event) – характеризуются формированием постэруптивной крупномасштабной аркады. Общие сведения и основная литература о характеристиках СМЕ приведены в монографии Филиппова (2007) и обзоре Гопалсвами (2003). Однако до недавнего времени взаимосвязи СМЕ и собственно вспышек в литературе уделялось мало внимания. Здесь можно упомянуть первые работы (Кахлер и др., 1989), в которых рентгеновский балл вспышек был сопоставлен с их длительностью и показано, что наиболее мощные вспышки, ассоциирующиеся со СМЕ, длятся долго. Этот вывод на более современном материале был подтвержден в работе Кочарова и др. (2001).

В этой статье исследуется статистическая зависимость некоторых характеристик вспышки в мягком рентгене с массой связанного с ней СМЕ. Этому вопросу ранее не уделялось внимания из-за того, что оценка массы СМЕ по данным наблюдений зависит от многих факторов, в частности, от учета влияния фоновой короны. К настоящему времени существует ряд данных (http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/) как по массе СМЕ, так и по характеристикам вспышек в рентгене. Анализ проводится для достаточно мощных явлений.

2 Данные для анализа

Материалом для нашего исследования послужили следующие источники:

- Предоставленная нам база данных о солнечных и геофизических явлениях, созданная в ИЗМИРАН (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук) и Институте Ядерной Физики МГУ (далее БАЗА), из которой нами были выбраны данные о мощности и продолжительности рентгеновских вспышек. (Вспышки GOES, ассоциированные с СМЕ, – 205 событий.)
- Каталог СМЕ по наблюдениям прибора LASCO на спутнике SOHO, представленный на сайте http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/.

Из всего массива данных для анализа мы выбрали вспышки рентгеновского балла от М3 до Х3 (т. е. достаточно мощные события, в которых могут реализоваться сценарии как быстрых, так и LDE-вспышек).

С другой стороны, из вышеупомянутой базы были отобраны соответствующие по времени и положению выбросы, ассоциированные с данными рентгеновскими вспышками. СМЕ считался ассоциированным с данной вспышкой, если:

1. Отставал от нее по времени от 20 минут до 1.5 часов.
2. Происходил в ближайшей к данной вспышке части лимба.

Если достаточно близко по времени происходило много вспышек и СМЕ, то такие случаи исключались из рассмотрения.

3 Результаты

Поскольку в исследуемых данных были вспышки различной мощности, для начала мы проверили зависимость между массой выброса и мощностью вспышек в рентгене.

Вспышки длительностью более 45 минут (LDE-события) мы обозначили (рис. 1а) незаполненными треугольниками, а менее продолжительные – черными кружками. Как видно

Связь длительности солнечных рентгеновских вспышек...

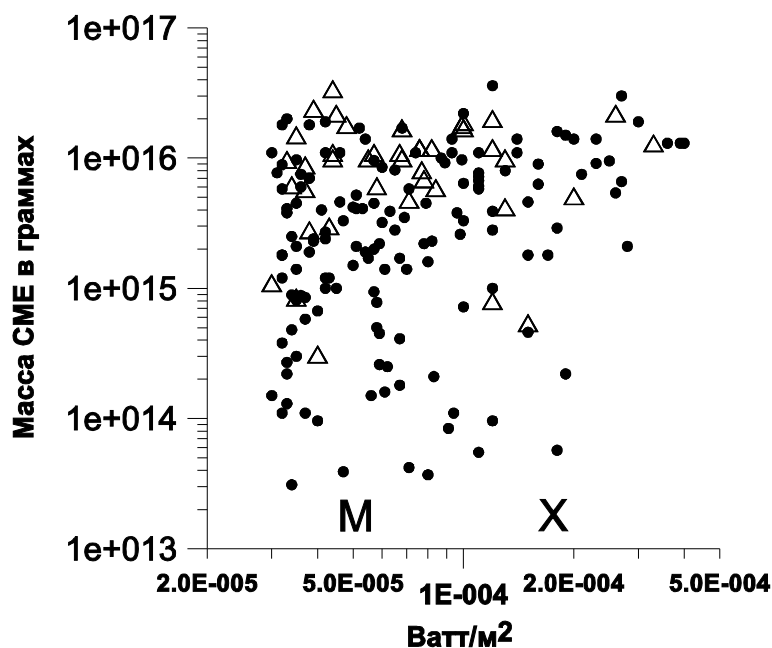


Рис. 1а. Зависимость массы СМЕ и рентгеновского балла вспышки. По оси абсцисс – рентгеновские баллы вспышек по наблюдениям спутников GOES в логарифмической шкале. По оси ординат – масса коронального выброса из каталога СМЕ, в логарифмической шкале. Вспышки рентгеновской длительностью более 45 минут обозначены незаполненными треугольниками, а менее продолжительные – черными кружками

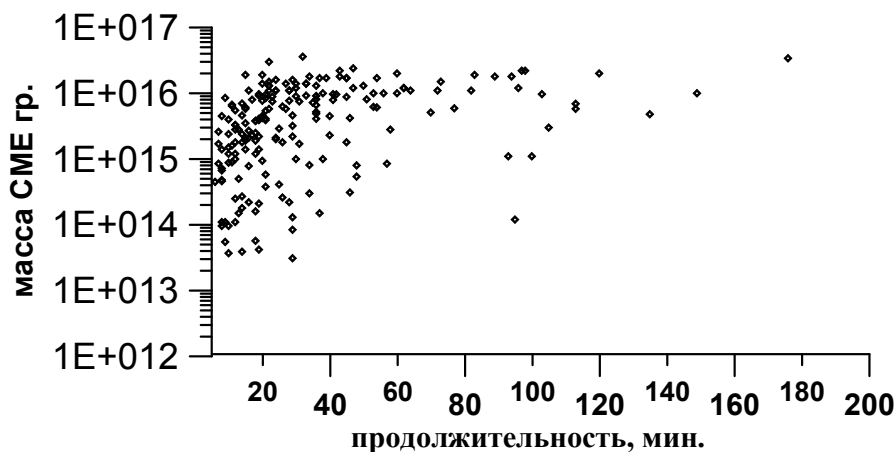


Рис. 1б. Зависимость массы СМЕ от продолжительности рентгеновской вспышки. По оси абсцисс – длительность рентгеновских баллы вспышек по наблюдениям спутников GOES. По оси ординат – масса коронального выброса из каталога СМЕ, в логарифмической шкале

на рис. 1а, зависимость массы СМЕ от мощности вспышек в рентгене, если и существует, то очень слаба. Отсутствие такой зависимости наиболее отчетливо проявляется для LDE-событий. Это, конечно, отличает эту характеристику активности, т. е. массу СМЕ, от большинства обычных характеристик нестационарных процессов, сильно зависящих от мощности связанного с ним явления.

Напомним, что этот результат получен только для достаточно мощных вспышек.

На рис. 1б представлена зависимость массы СМЕ от продолжительности связанной с ней рентгеновской вспышки. Как видно из рисунка, связь между этими характеристиками достаточно заметная.

Рисунок 1б показывает, что для рассматриваемых достаточно мощных явлений выявляется тенденция к увеличению массы СМЕ при переходе от коротких событий к тем, у которых длительность мягкого рентгеновского излучения превышает 30–40 минут. Эта тенденция проявилась, хотя определенно имели место факторы, которые существенно препятствовали ее выявлению. Среди этих факторов важны как физическое разнообразие нестационарных процессов на Солнце, так и неопределенности, связанные с оценкой массы СМЕ.

Продолжим рассмотрение этой зависимости, проанализировав распределение по массе СМЕ для коротких и длинных вспышек отдельно. На рис. 2 представлены нормированные гистограммы числа СМЕ различной массы для длинных и для коротких вспышек. Число коротких вспышек – 161, а длинных – 44. Гистограмма для коротких вспышек изображена в верхней части рис. 2, а для длинных – на нижней. На рис. 2 видно, что для коротких явлений максимум находится в области менее массивных, а для длинных, в согласии с рис. 1б, в области СМЕ с массой, превосходящей 10^{16} грамм. Таким образом, быстрые вспышки в основном связаны с маломассивными СМЕ, а для продолжительных явлений более характерны СМЕ с массой $10 \cdot 10^{16}$ грамм.

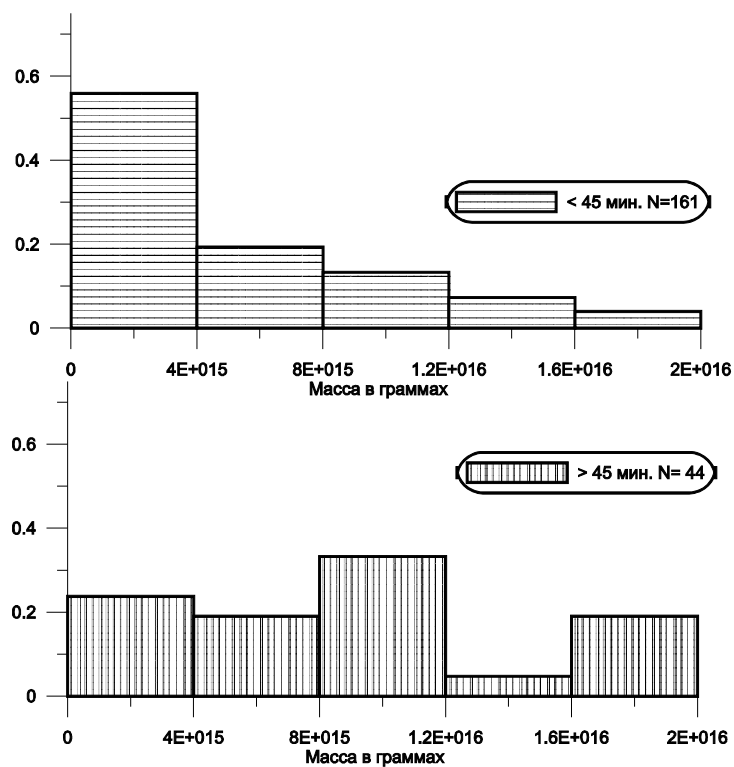


Рис. 2. Распределение массы СМЕ для вспышек различной длительности

Этот эффект проявляется еще более четко, когда мы весь массив данных разделили не по длительности рентгеновских вспышек, а по массе СМЕ. Используя в качестве граничного значения массу $5 \cdot 10^{15}$ грамм, мы получили две группы явлений, близкие по численности. Соответствующие гистограммы представлены на рис. 3. Распределение по длительности для каждой части массива оказалось близко к нормальному, но друг от друга они

Связь длительности солнечных рентгеновских вспышек...

отличаются как положением максимумов, так и их шириной. Для менее массивных СМЕ характерны короткие рентгеновские вспышки. Их длительность лежит в пределах от нескольких до 30 мин, и такие вспышки часто относят к классу импульсных, число событий с более массивными СМЕ достигает максимума несколько позже, спад происходит значительно медленнее – значительное число событий связано с длительными рентгеновскими вспышками.

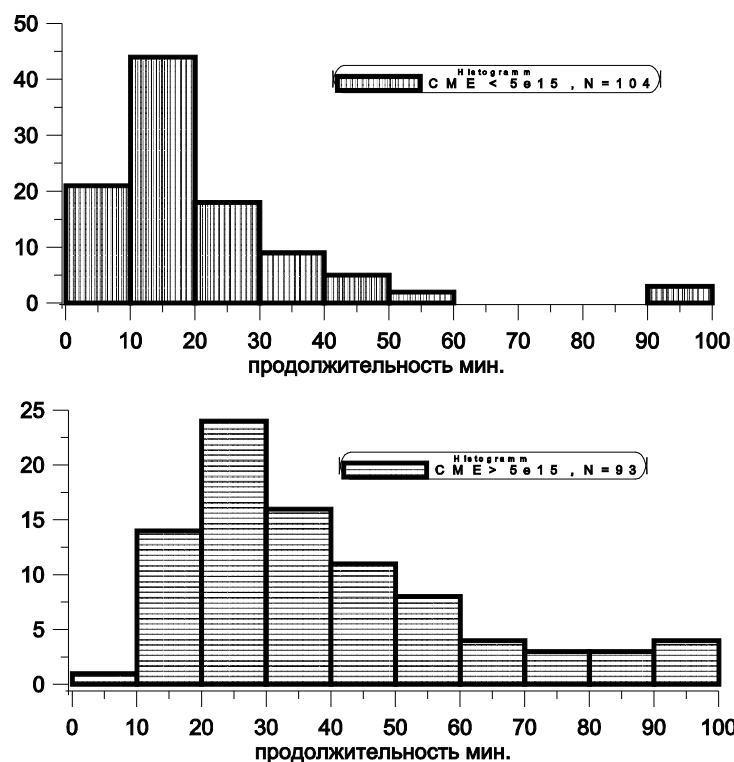


Рис. 3. Распределение числа событий с **малой и большой массой СМЕ** по продолжительности рентгеновского излучения вспышек. Итак, рассмотренный массив данных из 205 событий распадается на две группы, которые различаются по массе выброса. Как правило, быстрые компактные вспышки ассоциируются с выбросами небольшой массы, в то время как для LDE характерны массивные выбросы

4 Выводы и обсуждение

Проведено статистическое исследование связи характеристик корональных выбросов на Солнце (СМЕ) и ассоциированных с ними рентгеновских вспышек. Сопоставлена масса СМЕ с длительностью рентгеновских вспышек мощнее М3, и выявлена статическая связь обсуждаемых характеристик. Показано, что среди достаточно мощных событий короткие рентгеновские вспышки характеризуются в среднем **менее массивным** выбросом СМЕ во внешние слои короны и межпланетное пространство по сравнению с мощными длительными событиями.

Представляет интерес сравнить полученные здесь выводы с результатами недавно появившейся работы по рентгеновским выбросам (Томчак, Хмелевска, 2011). В этой работе предлагается рассматривать ХРЕ как своеобразный предвестник СМЕ. Маломассивные СМЕ нашей группы оказываются более тесно связаны с коллимированными выбросами, связанными с более короткими вспышками, развивающимися в замкнутых рентгеновских петлях, в отличие

от длительных вспышек, которые часто сопровождаются выбросом системы петель высоко в корону и в межпланетное пространство. Они же чаще входят в группу СМЕ типа гало.

Этот результат может рассматриваться как еще один аргумент в пользу развиваемых Лившицем (Лившиц, 2008; Шаховская и др., 2006) представлений о роли СМЕ в формировании постэруптивных петель. А именно, корональный выброс может не только уносить плазму в межпланетное пространство; некоторая ее часть может задерживаться в короне и участвовать затем в процессе формирования петель. Заметим, что возможны и другие механизмы влияния СМЕ на явления во вспышках, например, разрушение выбросом токового слоя над вспышкой. Уточнение этих вопросов может быть найдено в результате дальнейшего исследования как статистического, так и конкретных событий.

Авторы благодарят А.В. Белова и М.А. Лившица за консультации при выполнении этой работы.

Литература

- Воурлидас и др. (Vourlidas A., Buzasi D., Howard R.A., et al.) // Proc. 10th European Solar Meeting. ESA SP-506. 2002. P. 91.
- Гопалсвами (Gopalswamy N.) // Adv. Space Res. 2003. V. 31. P. 869.
- Кахлер и др. (Kahler S.W., Sheeley N.R., Liggett M.) // Astron. J. 1989. V. 344. P. 1026.
- Лившиц М.А. // Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2008». СПб: ГАО РАН. 2008. С. 211.
- Кочаров и др. (Kocharov L., Torstii J., St.Cyr O.C., et al.) // Astron. Astrophys. 2001. V. 370. P. 1064.
- Филиппов Б.П. // Эруптивные процессы на Солнце. ФИЗМАТЛИТ. 2007.
- Томчак, Хмелевска (Tomczak M., Chmielewska E.) // Central European Astrophysical Bulletin. 2011. P. 145.
- Шаховская А.Н., Лившиц М.А. Черток И.М. // Астрон. журн. 2006. Т. 83. № 12. С. 1.