

УДК 523.985

Тепловые свойства компактных и эруптивных вспышек по наблюдениям GOES

*О.С. Гонасюк*ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, 298409, Крым
olg@crao.crimea.ru

Поступила в редакцию 19 ноября 2025 г.

Аннотация. Рентгеновское излучение солнечных вспышек возникает в результате быстрого повышения температуры и меры эмиссии во вспышечных петлях активных областей. Для определения этих характеристик используются данные X-Ray Sensor (XRS), установленного на Geostationary Orbiting Environmental Satellite (GOES). В данной работе мы представляем результаты статистического анализа характеристик мягкого рентгеновского излучения (SXR), энерговыделения, температуры и меры эмиссии плазмы в 37 эруптивных и 20 компактных мощных вспышечных событиях, происшедших в период с 2011 по 2022 год. Более 95 % всех событий демонстрируют последовательное появление максимумов температуры, потока излучения SXR и меры эмиссии, что согласуется со сценарием хромосферного испарения. Максимум SXR-излучения 97 % всех событий происходит значительно ближе к максимуму меры эмиссии, чем к максимуму температуры. Мы получаем, что эруптивные события, по сравнению с компактными, имеют большую максимальную меру эмиссии, но меньшую максимальную температуру, а также большую продолжительность и тепловую энергию. Интерпретация этих статистических результатов с использованием модели одиночной петли позволяет предположить, что мощные эруптивные события, по сравнению с компактными, развиваются в более длинных петлях.

Ключевые слова: Солнце, активность, рентгеновские вспышки, корональные выбросы массы

1 Введение

Солнечные вспышки – самые мощные кратковременные явления высвобождения энергии на Солнце. Солнечные вспышки часто происходят в сочетании с корональным выбросом массы (СМЕ). Считается, что оба явления тесно связаны и являются различными проявлениями одних и тех же физических процессов, лежащих в их основе (например, [Priest, Forbes, 2002](#)). Наличие СМЕ подтверждается на основании данных в рассеянном белом свете, получаемых телескопами C2 и C3 LASCO, установленными на борту SOHO. Вспышки, связанные с СМЕ, обычно называют эруптивными событиями, в то время как вспышки, при которых отсутствуют сопутствующие выбросы корональной плазмы, называются компактными событиями. Вероятность вспышек, связанных с СМЕ, резко возрастает в зависимости от класса вспышки ([Yashiro et al., 2005](#)). Примерно 20, 50 и 90 % вспышек классов GOES C, M и X соответственно ассоциированы с СМЕ.

После начала вспышки, согласно стандартной модели эруптивной вспышки CSHKP ([Carmichael, 1964](#); [Sturrock, 1966](#); [Hirayama, 1974](#); [Kopp, Pneuman, 1976](#)), механизм энерговыделения нагревает плотную хромосферную плазму до достижения ею максимальной температуры. Во время и после этого процесса горячая хромосферная плазма расширяется в корональные петли. Как только энерговыделение ослабевает, поток испаренной плазмы также уменьшается и она начинает конденсироваться обратно в хромосферу. В этот момент мера эмиссии плазмы достигает своего максимального значения.

Поток SXR-излучения регулярно измеряется с помощью XRS GOES в двух каналах: 1–8 Å и 0.5–4 Å. Измерения XRS GOES содержат фундаментальные параметры солнечных вспышек: максимальное излучение в канале 1–8 Å, которое традиционно используется для определения класса

вспышки и служит мерой ее мощности, их длительность, частоту возникновения и уровни солнечного фонового излучения. Кроме того, отношение потоков в двух каналах используется для получения изменяющихся во времени температуры T и меры эмиссии EM (например, [White et al., 2005](#)). Эти параметры обычно описывают корональную часть вспышки и, в частности, плазму, захваченную в системе магнитных петель, которая становится видимой в мягком рентгеновском диапазоне благодаря инъекции новой плазмы, расширяющейся вверх из нижней атмосферы из-за внезапного высвобождения энергии.

Исследования [Feldman et al. \(1996\)](#), [Ryan et al. \(2012\)](#), [Reep, Knizhnik \(2019\)](#) продемонстрировали связь максимального потока SXR с максимальными температурой и мерой эмиссии во время солнечных вспышек. [Sadykov et al. \(2019\)](#) получили, что для подавляющего большинства вспышек максимум температуры наступает до максимума меры эмиссии, а максимум потока SXR GOES 1–8 Å наступает между максимумами T и EM . Исследования [Qiu, Cheng \(2022\)](#) показали, что максимум температуры происходит либо до максимума скорости магнитного пересоединения, либо же оба максимума происходят одновременно. Однако, не многие статистические исследования анализировали тепловые свойства компактных вспышек и проводили их сравнение с эруптивными вспышками. Например, [Kahler, Ling \(2022\)](#), [Kazachenko \(2023\)](#) показали, что при заданном максимальном потоке SXR компактные вспышки, по сравнению с эруптивными, имеют более высокие температуры. Продолжительность эруптивных вспышек больше.

Мы исследовали взаимосвязи между параметрами плазмы (максимальными значениями температуры, меры эмиссии и тепловой энергии) и свойствами SXR-излучения (максимальным потоком SXR, продолжительностью эмиссии) мощных вспышек и попытались ответить на следующие вопросы. Как часто мощные эруптивные и компактные вспышки подчиняются сценарию процесса хромосферного испарения. Какие из свойств плазмы, температура или мера эмиссии, в основном влияют на максимальное значение SXR. В чем физическая разница между эруптивными и компактными вспышками.

2 Данные наблюдений

Используя выборку [Gopasyuk \(2024\)](#), мы анализировали данные GOES-15 и GOES-16 (с временным разрешением 2 и 1 с соответственно), полученные во время вспышек в период 2011–2022 гг., который охватывает временной интервал более одного солнечного цикла. Указанный набор данных дает возможность проверить результаты исследований, упомянутых ранее в п. 1. Наш анализ был ограничен вспышками, которые удовлетворяли следующим требованиям:

- Это были события класса GOES M5.0 и выше, которые происходили в интервале 40° от центрального меридиана.
- События были достаточно изолированы во времени от других событий.
- Отсутствовала неопределенность в определении максимальной температуры T_{MAX} и максимальной меры эмиссии EM_{MAX} .
- Максимальная температура не показывала наличие сверхгорячей плазмы (>30 МК, [Caspi et al., 2014](#)).

Этим условиям соответствовало 57 вспышек, из которых 20 компактных и 37 эруптивных. Из выборки [Gopasyuk \(2024\)](#) были исключены вспышки SOL2012-03-07T01:14, SOL2014-10-25T16:55, SOL2017-09-06T11:53. Распределение вспышек по долготе и широте представлено на рис. 1. Поскольку в рамках данной работы не ставится задача исследовать магнитные свойства активных областей, в которых происходили вспышки, мы отсылаем к работе [Gopasyuk \(2024\)](#) для изучения этого аспекта.

Для получения и обработки данных использовались стандартные процедуры получения и обработки данных GOES, входящие в пакет Solar Software (SSW) – программную библиотеку для анализа солнечной активности, написанную на языке IDL. Поскольку данные GOES интегрируются по всему диску Солнца, все сопутствующие источники мягкого рентгеновского излучения вносят вклад в уровень фона для данной вспышки. Поэтому, чтобы получить SXR-поток, температуру и меру эмиссии выбранных событий, необходимо учитывать фоновый уровень рентгеновского излучения GOES. Максимальные значения потока SXR-излучения F_{SXR} , температуры и меры эмиссии в каждом из выбранных событий были определены после вычитания уровня потока SXR до вспышки. Для каждого события также были определены его продолжительность и максимальное значение

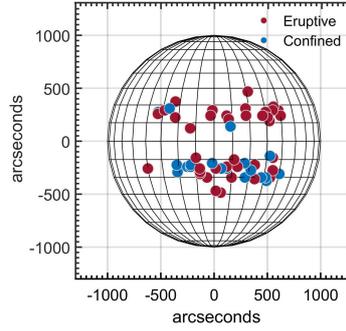


Рис. 1. Гелиографические координаты всех 57 событий, использованных в исследовании. Красные (синие) символы обозначают эруптивные (компактные) события

тепловой энергии. Продолжительность события определялась как разность между временем окончания и временем начала события по данным GOES NOAA Space Weather Prediction Center (SWPC). Максимальная энергия была определена следующим образом:

$$E_{thMAX} = 3nk_BTV = 3k_B T(EM \cdot A^{3/2})^{1/2},$$

где $n = (EM/V)^{1/2}$ – плотность электронов; k_B – постоянная Больцмана; $V = A^{3/2}$ – вспышечный объем; A – площадь вспышечной ленты в полосе 1600 \AA , являющейся основанием поствспышечной петли. Мы предполагаем, что вспышечный объем является неизменным параметром. В этом случае тепловая энергия достигает максимального значения E_{thMAX} когда $T(EM)^{1/2}$ максимально. Данные о площади вспышечных лент для исследуемых событий получены [Gopasyuk \(2024\)](#).

3 Последовательность физических процессов во время солнечных вспышек

Для определения временной последовательности физических процессов во вспышках мы определили расположение максимумов температуры и меры эмиссии относительно максимума потока SXR, т. е. временные интервалы $t_{T_{MAX}}$ (между F_{SXR} и T_{MAX}) и $t_{EM_{MAX}}$ (между EM_{MAX} и F_{SXR}). Также было проанализировано положение максимума производной потока SXR $(dSXR/dt)_{MAX}$ относительно максимума температуры, т. е. вычислены временные интервалы $t_{(dSXR/dt)_{MAX}}$ (между T_{MAX} и $(dSXR/dt)_{MAX}$). На рис. 2а представлена диаграмма относительного положения T_{MAX} (ось Y) и EM_{MAX} (ось X). Наклонная сплошная линия представляет собой место на диаграмме, где интервалы равны. Вертикальная и горизонтальная пунктирные линии ограничивают зоны, где события не подчиняются последовательному появлению максимумов T , SXR и EM .

Мы обнаружили, что 95% всех вспышек (54 вспышки из 57) следуют последовательному появлению максимумов T , SXR и EM , т. е. вписываются в стандартную картину хромосферного испарения. Для 97% всех вспышек (55 вспышек из 57) максимум SXR происходит значительно ближе к максимуму EM , чем к максимуму T . Можно предположить, что максимальный поток SXR-излучения мощных вспышек чаще всего отражает меру эмиссии испаренной плазмы, а не ее температуру.

Распределение событий относительно временного интервала между максимумами температуры и производной потока мягкого рентгена (рис. 2б) показывает, что температура достигает максимума в большинстве случаев (42 вспышки из 57) после максимума производной SXR-потока. События с отрицательными значениями соответствуют событиям, для которых максимум температуры опережает максимум производной потока мягкого рентгена. Согласно эффекту Нойперта (1968), производная потока SXR коррелирует со временем выделения энергии высокоэнергетическими электронами. Следовательно, для большинства событий наибольшее выделение энергии происходит до того, как плазма достигает максимальной температуры.

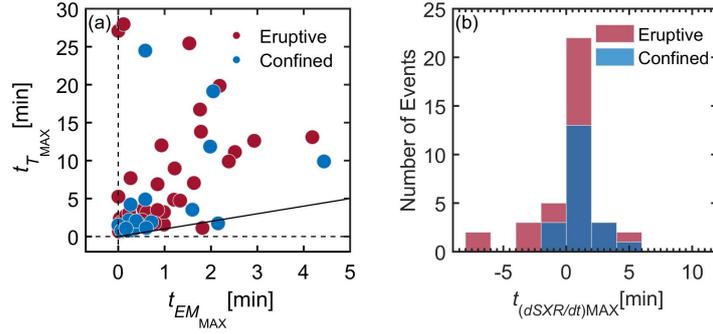


Рис. 2. (а) Диаграмма временных интервалов между максимумами EM и SXR (ось X) и максимумами SXR и T (ось Y). Наклонная сплошная линия представляет собой место на диаграмме, где интервалы равны. Вертикальная и горизонтальная пунктирные линии ограничивают зоны, где события не подчиняются последовательному появлению максимумов T , SXR и EM . (б) Распределение событий относительно временных интервалов между максимумами температуры и производной потока SXR. Красным показаны эруптивные события, синим – компактные

4 Физические свойства эруптивных и компактных событий

Распределения характеристик тепловой плазмы (T_{MAX} , EM_{MAX} , E_{thMAX}) относительно максимального потока мягкого рентгена для эруптивных и компактных событий показывают линейные зависимости (рис. 3а–с). Этот результат согласуется с более ранними работами (например, Reep, Knizhnik, 2019). Высокий коэффициент корреляции Пирсона с EM_{MAX} ($r = 0.99$ для эруптивных и компактных событий) согласуется со стандартной моделью хромосферного испарения (Hirayama, 1974), где максимальный поток SXR зависит от EM_{MAX} . Линейная связь с E_{thMAX} ($r = 0.86$ и $r = 0.90$ для эруптивных и компактных вспышек соответственно) является явным признаком эффекта Нойперта (Lee et al., 1995) и предполагает, что максимальный поток SXR можно использовать для аппроксимации энергии вспышки. Также очевидны различия в соотношении максимальной температуры и максимального потока SXR для двух типов событий: эруптивные события, как правило, имеют более низкие максимальные температуры, чем компактные события с тем же F_{SXR} . Подобный результат был получен Kahler, Ling (2022), Kazachenko (2023).

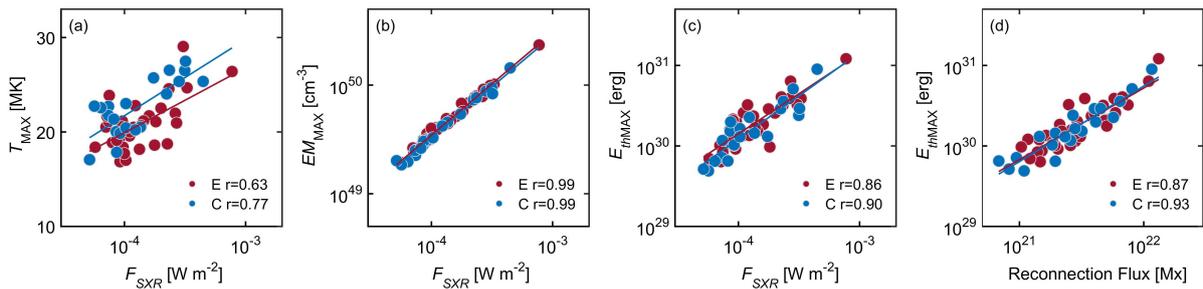


Рис. 3. Зависимости (а) максимальной температуры, (б) максимальной меры эмиссии, (с) максимальной тепловой энергии от максимального потока мягкого рентгена и (д) максимальной тепловой энергии от потока магнитного пересоединения для эруптивных (красный) и компактных (синий) событий. Красные и синие прямые показывают результаты линейной аппроксимации для эруптивных и компактных событий соответственно. Коэффициенты корреляции Пирсона r указаны справа внизу

Далее мы рассмотрели, как поток магнитного пересоединения соотносится с тепловой энергией вспышки (рис. 3д). Магнитные потоки пересоединения исследуемых вспышек взяты из работы Gopasyuk (2024). Линейная зависимость между потоком магнитного пересоединения и E_{thMAX}

($r = 0.87$ и $r = 0.93$ для эруптивных и компактных вспышек соответственно) указывает на то, что магнитный поток пересоединения определяет тепловую энергию, выделяемую вспышкой, и является допустимым прокси для энергии вспышки.

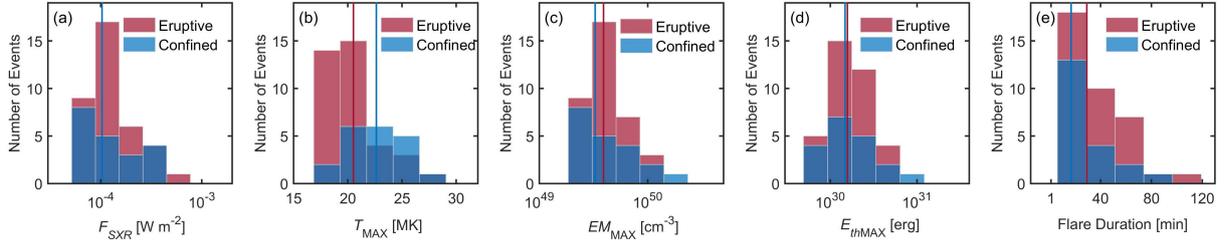


Рис. 4. Распределение эруптивных (красный) и компактных (синий) событий относительно максимального потока мягкого рентгеновского излучения (a), максимальной температуры (b), максимальной меры эмиссии (c), максимальной тепловой энергии (d) и продолжительности вспышки (e). Красная и синяя вертикальные линии представляют медианные значения (указаны вверх справа) для эруптивных и компактных событий соответственно

Свойства исследуемых вспышечных событий, представленные на рис. 4, показывают, что медианные значения максимальных потоков мягкого рентгеновского излучения в эруптивных и компактных событиях равны. В то же время эруптивные события, по сравнению с компактными, имеют несколько более низкие максимальные температуры, более высокие максимальные меру эмиссии и тепловую энергию, а также большую продолжительность. Медианные значения и соответствующие медианные абсолютные отклонения параметров плазмы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Медианные значения и медианные абсолютные отклонения характеристик SXR-излучения эруптивных и компактных событий

Вспышки	F_{SXR} , 10^{-4} Вт м $^{-2}$	T_{MAX} , МК	EM_{MAX} , 10^{49} см $^{-3}$	E_{thMAX} , 10^{30} эрг	Продолжительность, мин	L , Мм
Компактные	1.03 ± 0.36	22.6 ± 2.5	3.3 ± 1.3	1.5 ± 0.8	16.8 ± 8.2	38.2 ± 19.8
Эруптивные	1.03 ± 0.28	20.5 ± 1.6	3.9 ± 1.0	1.6 ± 0.6	29.2 ± 16.3	60.9 ± 36.3

5 Оценка длины вспышечной петли

Наши результаты показывают, что эруптивные вспышки холоднее, имеют большее максимальное значение EM и большую продолжительность. Одна из возможных причин заключается в том, что эруптивные события, по сравнению с компактными, развиваются в более длинных петлях. Несколько предыдущих исследований указывают на этот вывод. Например, [Aschwanden et al. \(2013\)](#) обнаружили, что эруптивные вспышки, по сравнению с компактными, имеют большие объемы и большую продолжительность. [Bowen et al. \(2013\)](#) получили, что вспышки с большей продолжительностью обычно холоднее и развиваются в больших объемах.

При дальнейшей интерпретации мы использовали результаты нашего анализа (таблица 1), чтобы провести оценку длины вспышечных петель. Наблюдения с высоким пространственным разрешением, полученные TRACE и AIA/SDO, четко демонстрируют многопетлевую структуру солнечных вспышек. Например, во вспышке GOES класса X5.7, произошедшей 14 июля 2000 года, было идентифицировано более 100 отдельных поствспышечных петель ([Aschwanden, Alexander, 2001](#)). Также было показано, что если во вспышке участвуют несколько петлевых структур, то это часто происходит на поздних фазах вспышки. Напротив, на начальной фазе рентгеновские вспышки довольно

локализованы, и можно с достаточной уверенностью предположить наличие одной доминирующей петли, по крайней мере, на фазе нарастания.

Приведенные аргументы позволили нам использовать для оценки длины вспыхивающих петель в исследуемых событиях модель одиночной вспыхивающей петли, основанную на гидродинамических законах масштабирования (Reale, 2007). Эта модель способна достаточно точно производить оценки порядка величины длины петель горячих компактных вспыхиваний, а также очень сложных длительных событий, включающих огромное количество корональных петель (Bowen et al., 2013). В рамках данной работы не ставится задача детального изучения модели одиночной вспыхивающей петли.

Диагностика температуры и меры эмиссии плазмы по данным GOES позволяет оценить длину петли как функцию наблюдаемых величин и времени (Reale, 2007):

$$L = 3 \left(\frac{T_{\text{MAX}}}{T_{EM_{\text{MAX}}}} \right)^2 \sqrt{T_{\text{MAX},7} t_{EM_{\text{MAX},3}}},$$

где L – половина длины петли в единицах 10^9 см; $T_{EM_{\text{MAX}}}$ – температура во время максимума меры эмиссии; $T_{\text{MAX},7}$ – максимальная температура в единицах 10^7 К; $t_{EM_{\text{MAX},3}}$ – время наступления максимума меры эмиссии (от начала вспышки) в единицах 10^3 с.

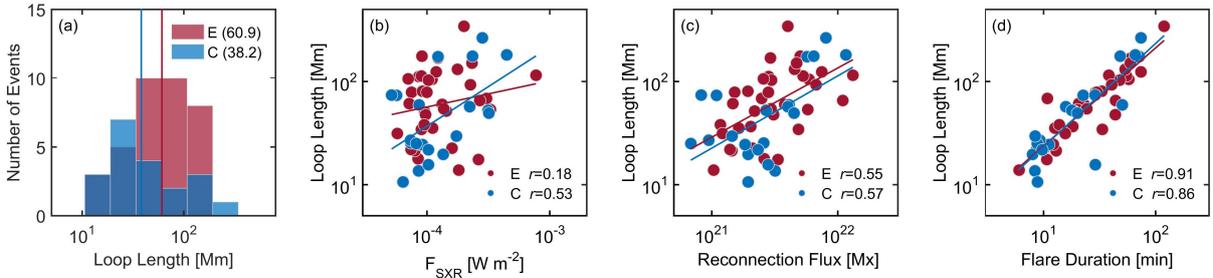


Рис. 5. (a) Распределение эруптивных (красные) и компактных (синие) событий относительно длины вспыхивающей петли. (b) Зависимость длины вспыхивающей петли от максимального потока SXR в эруптивных (красные) и компактных (синие) событиях. (c) Зависимость длины вспыхивающей петли от потока магнитного пересоединения в эруптивных (красные) и компактных (синие) событиях. (d) Зависимость длины вспыхивающей петли от продолжительности эруптивных (красные) и компактных (синие) событий. Красная и синяя вертикальные линии на панели (a) представляют медианные значения (указаны вверху справа) для эруптивных и компактных событий соответственно. Красные и синие прямые на панелях (b)–(d) показывают результаты линейной аппроксимации для эруптивных и компактных событий соответственно. Коэффициенты корреляции Пирсона r указаны справа внизу

Моделирование показало (рис. 5a), что длина вспыхивающей петли в эруптивных событиях, по сравнению с компактными, больше в 1.3–1.7 раза. Медианные значения длины петли и соответствующие медианные абсолютные отклонения представлены в таблице 1. Рисунок 5b демонстрирует, что между длиной петли и максимальным потоком SXR эруптивных событий связь практически отсутствует ($r = 0.18$), в то же время для компактных событий наблюдается тенденция увеличения длины петли с увеличением потока SXR ($r = 0.53$). Длина вспыхивающей петли зависит от величины магнитного потока, участвующего в пересоединении во время вспышки ($r = 0.55$ и $r = 0.57$ для эруптивных и компактных событий соответственно): чем больше магнитного потока участвует в пересоединении, тем длиннее вспыхивающая петля (рис. 5c). При одинаковых значениях магнитного потока пересоединения эруптивные события, по сравнению с компактными, развиваются в более длинных вспыхивающих петлях. Из рис. 5d очевидно, что продолжительность SXR-эмиссии увеличивается с увеличением длины петли ($r = 0.91$ и $r = 0.86$ для эруптивных и компактных событий соответственно), что согласуется с выводами, полученными Reep, Toriumi (2017). Развитие вспышек в корональных петлях разной длины может быть одной из причин разницы между событиями.

6 Заключение

В данной статье представлены результаты исследования тепловых свойств мощных вспышечных событий, которые позволили выявить различия в физических свойствах эруптивных и компактных событий и ответить на вопрос о том, как часто мощные вспышки подчиняются сценарию хромосферного испарения. Выборка включала 20 компактных и 37 эруптивных событий класса GOES M5.0 и выше, наблюдавшихся в период более одного солнечного цикла (с 2011 по 2022 год). Мы определили максимальные температуру и меру эмиссии и соответствующие времена, а также максимальную тепловую энергию, и оценили длину вспышечных петель в этих событиях.

Наш анализ дал следующие результаты:

- 95 % всех мощных событий следуют последовательному появлению максимумов T , SXR и EM , т. е. предполагаемому сценарию хромосферного испарения. Максимум потока SXR мощных событий в основном происходит значительно ближе к EM_{MAX} , чем к T_{MAX} (97 % всех вспышек).
- Для 76 % событий производная SXR-потока достигает своего максимума до T_{MAX} , т. е. для большинства событий наибольшее выделение энергии высокоэнергетическими электронами происходит до того, как плазма достигает максимальной температуры.
- Максимальный поток SXR-излучения и поток магнитного пересоединения тесно связаны с $E_{th\text{MAX}}$, что позволяет их использовать для аппроксимации энергии вспышки.
- Обнаружены следующие различия в усредненных физических параметрах для эруптивных и компактных событий: эруптивные вспышки, по сравнению с компактными, имеют большие EM_{MAX} и $E_{th\text{MAX}}$, но меньшие T_{MAX} и большую продолжительность.

Приведенные выше результаты подтверждают ранее описанные факторы, определяющие основные тепловые свойства мощных эруптивных и компактных событий.

Оценка длины вспышечных петель, проведенная нами на основе модели одиночной петли, показывает, что в эруптивных событиях, по сравнению с компактными, плазма эволюционирует в более длинных магнитных петлях.

Благодарности. Автор выражает благодарность команде GOES за предоставление высококачественных данных. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН «КРАО РАН».

Литература

- Aschwanden M.J., Alexander D., 2001. Solar. Phys., vol. 204, pp. 91–120.
- Aschwanden M.J., Zhang J., Kai L., 2013. Astrophys. J., vol. 775, p. 23.
- Bowen T.A., Testa P., Reeves K.K., 2013. Astrophys. J., vol. 770, p. 126.
- Carmichael H., 1964. In Hess W.N. (Ed.), Proc. AAS-NASA Symp., The Physics of Solar Flares. Washington, DC: NASA, STID, pp. 451–456.
- Caspi A., Krucker S., Lin R.P., 2014. Astrophys. J., vol. 781, p. 43.
- Feldman U., Doschek G.A., Behring W.E., Phillips K.J.H., 1996. Astrophys. J., vol. 460, pp. 1034–1041.
- Gopasyuk O.S., 2024. Geomagn. Aeron., vol. 64, no. 8, pp. 1257–1266.
- Hirayama T., 1974. Solar Phys., vol. 34, pp. 323–338.
- Kahler S.W., Ling A.G., 2022. Astrophys. J., vol. 934, p. 175.
- Kazachenko M.D., 2023. Astrophys. J., vol. 958, p. 104.
- Kopp R.A., Pneuman G.W., 1976. Solar Phys., vol. 50, pp. 85–98.
- Lee T.T., Petrosian V., McTiernan J.M., 1995. Astrophys. J., vol. 448, pp. 915–924.
- Neupert W.M., 1968. Astrophys. J., vol. 153, p. L59.
- Priest E.R., Forbes T.G., 2002. Astron. Astrophys. Rev., vol. 10, no. 4, pp. 313–377.
- Qiu J., Cheng J., 2022. Solar Phys., vol. 297, p. 80.
- Reale F., 2007. Astron. Astrophys., vol. 471, pp. 271–279.
- Reep J.W., Toriumi S., 2017. Astrophys. J., vol. 851, p. 4.
- Reep J.W., Knizhnik K.J., 2019. Astrophys. J., vol. 874, p. 157.
- Ryan D.F., Milligan R.O., Gallagher P.T., et al., 2012. Astrophys. J. Suppl., vol. 202, p. 11.
- Sadykov V.M., Kosovichev A.G., Kitiashvili I.N., Frolov A., 2019. Astrophys. J., vol. 874, p. 19.
- Sturrock P.A., 1966. Nature, vol. 211, pp. 695–697.

White S.M., Thomas R.J., Schwartz R.A., 2005. *Solar Phys.*, vol. 227, pp. 231–248.

Yashiro S., Gopalswamy, N., Akiyama, S., et al., 2005. *J. Geophys. Res.*, vol. 110, p. A12S05.

Thermal properties of confined and eruptive flares from GOES observations

O.S. Gopasyuk

Crimean Astrophysical Observatory, Nauchny 298409
olg@craocrimea.ru

Abstract. Solar flare X-ray emission results from rapidly increasing temperature and emission measure in flaring active region loops. To derive these characteristics, data from the X-Ray Sensor (XRS) on board the Geostationary Orbiting Environmental Satellite (GOES) are used. The paper presents the results of a statistical analysis of the characteristics of soft X-ray emission, energy release, temperature, and plasma emission measure for 37 eruptive and 20 confined large flare events occurred in 2011–2022. More than 95% of all flare events demonstrate the sequential appearance of the temperature, SXR flux, and emission measure maxima, which is in agreement with the chromospheric evaporation scenario. The maximum SXR emission of 97% of all events occurs significantly closer to the maximum emission measure than to the maximum temperature. We find that as compared to confined events, eruptive events have a higher maximum emission measure but lower maximum temperature, as well as longer duration and higher maximum thermal energy. Interpretation of these statistical results using the single loop model allows us to suggest that as compared to confined events, large eruptive events develop in longer loops.

Key words: Sun, activity, solar X-ray flares, coronal mass ejections