

ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ ФАЗЫ МАКСИМУМА ТЕКУЩЕГО 25 ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Ишков В.Н., Лебедев Н.И., Лебедев М.Н.

ИЗМИРАН, Москва, Троицк, Россия

FLARE ACTIVITY ON THE MAXIMUM PHASE OF THE CURRENT 25 SOLAR CYCLE

Ishkov V.N., Lebedev N.I., Lebedev M.N.

IZMIRAN, Troitsk, Moscow, Russia

The main feature of the last year of the current cycle is a sharp increase in sunspot-forming and flare activity in the form of flare-active regions and, accordingly, large solar flares, the most powerful of which are on the rise branch, which put it above the low SC24 and transitional SC23 in a relatively short period in terms of the number of significant flares for the corresponding period. In the maximum phase of the current SC25, the number of sympathetic flares of significant classes ($> M1$) increased noticeably, which made it possible to begin studying both such flares themselves and the active regions where they were realized.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-145-148>

1. Начавшийся с 01.2020 г. текущий 25 цикл солнечной активности (СА) в ноябре 2023 г. вошел в фазу максимума и по ходу развития (57 мес.) попадает в семейство солнечных циклов (СЦ) средней величины [1]. Под фазой максимума здесь понимается временной интервал, в течение которого значения сглаженного относительного числа солнечных пятен (W^*) находятся в пределах значений 15% от стандартно сглаженного значения в максимуме цикла ($W^*_{\max}$).

Основной особенностью настоящего периода развития текущего СЦ25 является достаточно резкое увеличение пятнообразовательной и вспышечной активности и количества вспышечно-активных групп пятен и, соответственно, больших (рентгеновского класса $\geq M5$) солнечных вспышек, причем самые интенсивные пришлись на фазу максимума текущего СЦ. Это заметное за сравнительно короткий срок увеличение вспышечной активности по количеству значимых вспышек в рассматриваемый период поставило СЦ25 выше предыдущего низкого СЦ24 и переходного между эпохами СЦ23. В результате исключительной вспышечной продуктивности активной области (АО) AR13664 мая 2024 г. и очень высокой СА в летние месяцы 2024 г. СЦ25 на начало октября 2024 г. произвел 1080 вспышек средних классов M1–M4 и 179 больших ($\geq M5$), из которых 62 были класса X. Почти 11% из этих 1259 вспышек произошли в мае 2024 г., что можно сравнить лишь с мартом 1991 г., 179 против 143, соответственно. В марте 1991 г. произошло на две вспышки класса X больше, чем в мае 2024 года (23 против 21). Май 2024 г. стал первым с сентября 2005 г. месяцем с более чем 10 вспышками класса X за один месяц (AR10808). До октября 2024 г.

самыми интенсивными вспышками в SC25 были X8.7, произошедшая 14.05.2024 г. в AR13664, и X6.3, наблюдавшаяся 22.02.2024 г. в AR13590. Но уже 1-го и 3-го октября AR13842 произвела вспышки X7.1 и X9.0, из которых последняя является самым большим по интенсивности в мягком рентгене вспышечным событием текущего SC25.

На рис. 1 сравнивается количество больших вспышек классов $M \geq 5$ (серый) и X (черный) последних SC с 1976 г. [<https://www.stce.be/content/sc25-tracking#flares>]. Можно заметить, что в текущем SC25 их уже больше, чем в SC23 и 24 (соответственно 179, 145 и 73), но значительно ниже, чем в SC21–22 эпохи повышенной СА (соответственно 222 и 383). Самая большая по площади и вспышечно-активная область AR13664 текущего SC произвела 17 из 130 вспышек $M \geq 5$, кроме того, AR13663, находившаяся на видимом диске в то же время, добавила еще 11 больших вспышек, 5 из которых были класса X.

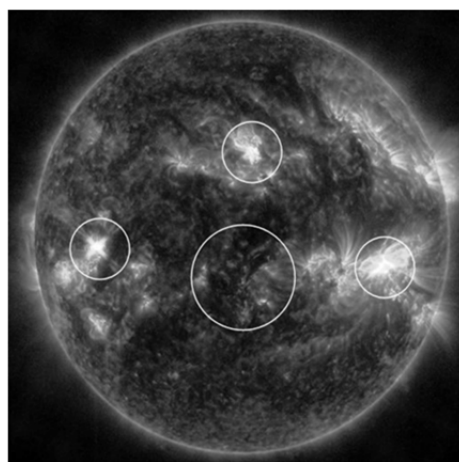
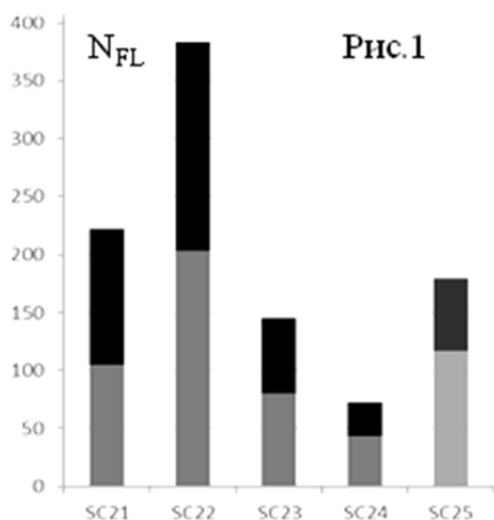


Рис. 2.

2. В фазе максимума (с 2023 г.) текущего SC25 заметно увеличилось количество одновременных вспышек значимых классов ($>M1$), некоторые из которых могут претендовать на звание симпатических, что позволило начать изучение, как самих вспышек, так и АО, где они реализовались.

Симпатические вспышки представляют собой вспышечные события, одновременно или последовательно, с небольшой задержкой по времени, происходящие в разнесённых порой на значительные расстояния АО. Картина их развития предполагает, что между этими АО существует возможная связь, которую в некоторых наблюдениях можно четко определить по высоким корональным стационарным арочным системам.

В эпоху Наблюдений после первой работы [2] проведено достаточно много исследований обсуждаемых явлений. Работы [3–5] показали реальность синхронных уярчений как в разнесённых АО, так и в соседних флоккулах, подтвердив существование симпатических вспышечных событий (уярчений, вспышек, выбросов волокон). Однако анализ данных рентгеновских вспышек по [6, 7] не дает уверенных доказательств существования симпатических вспышечных событий, хотя авторы не исключают, что

некоторые вспышки являются таковыми. В этом случае возникает вопрос о возможных путях инициирования таких явлений от времени начала 1-й вспышки. Известные наблюдаемые магнитные структуры, которые могут быть ответственными за связь между удалёнными АО, следующие:

- высокие корональные арочные системы, хорошо наблюдаемые на лимбе, и связывающие удалённые АО;
- крупномасштабные униполярные структуры, взаимодействие в которых можно ожидать между АО одной нейтральной линии продольного магнитного поля, как бы далеко она не распространялась через подфотосферные связи (синхронное всплывание разнесённых магнитных потоков в рамках униполярной структуры).

Из динамических реальных процессов, связанных с первичным энерговыделением – это МГД УВ и волны Мортон. Рассмотрение динамики волн в линиях крайнего ультрафиолета, однако, не показывает увеличения числа вспышек за счет этих явлений [7], но это и понятно, т.к. эти волны суть проекция распространения коронального выброса вещества по диску Солнца от места энерговыделения. Глобальные наблюдения часто показывают почти синхронные дальние взаимодействия между магнитными структурами, в которых происходят вспышки, выбросы волокон и другие более мелкие формы вспышечной активности (уярчения). Серия вспышечных событий 1–2 августа 2010 г. по данным космических аппаратов SDO и STEREO, наблюдавших Солнце с видимой и обратной сторон, дает прямые доказательства того, что удалённые АО (до 180°) за счет моделирования крупномасштабной топологии коронального магнитного поля (система сепаратрис, сепараторов и квазисепаратрисных слоев), могут образовывать единые крупномасштабные магнитные образования, в которых происходят синхронные и симпатические вспышечные события [8]. Этот первый хорошо документированный случай показывает, что такое крупномасштабное магнитное образование может способствовать появлению синхронно всплывающих вспышечных магнитных потоков в связанных АО и быть значимым в дестабилизации поля, вовлеченного в последовательность осуществления вспышечного процесса. Т.о. совокупность симпатических вспышек представляет собой подмножество синхронных и случайно совпадающих вспышек. Если следовать теории динамо-процесса, то именно в фазе максимума и образуются особые условия для образования крупномасштабных магнитных корональных связей симпатических вспышек.

На рис. 2 (слева) представлен яркий пример квартета симпатических событий: три практически одновременные вспышки (малые окружности), общий класс которых M3.6 определила большая вспышка в восточной АО (AR13654), и выброс волокна (большая окружность), с 2-мя корональными выбросами вещества, в сильно разнесенных АО 23.04.2024 г. <https://www.stce.be/content/sc25-tracking#flares>].

Основная особенность симпатических явлений состоит в том, что интервал времени их осуществления настолько короткий, что фотометры GOES зачастую не могут разделить их индивидуальные рентгеновские

классы, поэтому их класс определялся по интенсивности наибольшей вспышки. Благодаря современным, хорошо налаженным наблюдениям была исследована реакция видимого диска Солнца (раствор $\sim 115^\circ$) на каждое вспышечное событие [https://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events/], наблюдавшееся в 2024 г., и оценивалась магнитная ситуация, развитие и характеристики АО, в которых наблюдались эти события, что позволило установить, что в каждом семействе взаимодействующих АО обычно есть одна, не всегда самая крупная и вспышечно-продуктивная, в которой практически любая вспышка в этих АО вызывает отклик. Поэтому, по нашему мнению, правильней говорить о связанных между собой АО, причём «симпатические» события в них происходят неоднократно. Связь между АО динамическая и существует как постоянно, так и на некотором интервале времени.

3. Явление разнесённых, но связанных между собой вспышечных событий («симпатичность»), можно считать установленным, если в данных АО они повторяются неоднократно при прохождении этих АО по видимому диску Солнца, либо существуют видимые доказательства их крупномасштабных (корональных или по нейтральной линии) связей, либо они происходят в комплексах АО, погружённых в повышенное фоновое магнитное поле. Эти вспышечные события могут охватывать различные активные структуры на очень больших расстояниях и происходить за малый временной интервал – время начала последующих событий ограничивается временем реализации первой иницирующей вспышки.

Литература

1. Ишков В.Н. // Труды ежегодной 27 Всероссийской конференции «Солнечная и солнечно-земная физика – 2023», под ред. А. Степанова и Ю. Наговицына. Пулковое, СПб, с. 139-144. DOI: 10.31725/0552-5829-2023-139-144
2. Fritzova-Svestkova, L., Chase, R., Svestka, Z. // Solar Phys., 1976, 48, 275.
3. Огирь М.Б. // Изв. Крао, 1980, т. 62, с 131.
4. Огирь М.Б. // Изв. Крао, 1981, т. 64, с 118.
5. Bumba V., Klvana, M. // Astrophys. and Space Science, 1993, V. 199, P. 45-52.
6. Biesecker, D.A., Thompson B.J. // J. of Atmospheric and Solar-Terr. Phys., 2000, V. 62, 16, P 1449-1455.
7. Moon, Y.-J., Choe, G.S., et al. // The Astrophys. J., 2002, 574:434–439.
8. Schrijver, C.J., A.M. Title. // J. Geophys. Res., 2011, 116, A04108, doi:10.1029/2010JA016224