

## МАЙСКИЙ ВСПЫШЕЧНЫЙ ЭКСЦЕСС 2024 Г.

Е.С. Исаева<sup>1</sup>, С.А. Язев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

### THE FLARE EXCESS OF MAY 2024

E.S. Isaeva<sup>1</sup>, S.A. Yazev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia, ele3471@yandex.ru

<sup>2</sup>Irkutsk State University, Irkutsk, Russia, ele3471@yandex.ru

**Аннотация.** В мае 2024 г. на Солнце наблюдался значительный всплеск вспышечной активности, сопровождавшийся многочисленными выбросами коронального вещества. Следствием явилась сильнейшая за последние два десятилетия магнитная буря 10–12 мая, достигшая высшего балла G5. Настоящая работа посвящена результатам предварительного анализа указанного вспышечного эксцесса.

**Ключевые слова:** Солнце, вспышки, магнитные бури, активные области.

**Abstract.** In May 2024, the Sun experienced a significant increase in flare activity, accompanied by numerous coronal matter ejections. The consequence was the magnetic storm on May 10–12 which became the strongest storm observed in the last two decades and which reached the highest G5 level. This work is devoted to the results of a preliminary analysis of this flare excess.

**Keywords:** Sun, flare, magnetic storms, active areas.

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно общепринятому подходу, 25-ый солнечный цикл начался с января 2020 г. Появлению первых групп пятен 25 цикла предшествовало возникновение так называемых эфемерных активных областей (без пятен), начиная с 2017 г. [Golovko, 2020]. Фактически первые пятна 25 цикла появились на фазе глубокого спада предыдущего 24 цикла, в июле 2019 г.

За первый год цикла произошло всего 88 вспышечных событий, из которых всего две вспышки относились к рентгеновскому классу M (остальные — C). В 2021 году количество вспышек увеличилось в 5 раз, были отмечены две вспышки класса X (X1.0 и X1.5). Количество вспышек класса M увеличилось до 27, но все они были сравнительно маломощные и не превышали значения класса M5.0. В 2022 г. Произошло 2297 вспышек всех классов, из них 7 вспышек класса X. [<https://xras.ru/>]

В 2023 г. вспышечная активность продолжала нарастать, общее количество вспышек достигло 3170. Увеличилось и число сильных вспышек. Отмечены вспышки M5.0 – M8.0 (вспышки класса, превышающего M5.0, считаются сильными). Также выросла мощность самых сильных вспышек. В ночь с 31 декабря 2023 г. на 1 января 2024 г. произошла вспышка класса X5.0, которая стала первой вспышкой высокой мощности, начиная с 10 сентября 2017 г. (тогда были зафиксированы класс события X6.7). Всего с начала 2020 г. на Солнце произошло 6010 вспышек, из них 566 вспышек класса M и 22 класса X. Это существенно превысило показатели предыдущего 24-го цикла за такой же интервал времени от начала цикла в январе 2009 г. (всего — 3006, класса M — 258, класса X — 15) (см. рис. 1).



Рис. 1. Количественное сравнение вспышек в 24-м (серый цвет) и 25-м циклах (черный цвет), 1 — 2009/2020; 2 — 2010/2021; 3 — 2011/2022; 4 — 2012/2023)

### ВСПЫШЕЧНЫЙ ВСПЛЕСК НАЧАЛА 2024 г.

Рассмотрим подробнее первые месяцы 2024 г. С учетом мощного всплеска активности пятен в июне–июле 2023 г., можно считать, что цикл находится на стадии максимума. Соответственно, выросла и интенсивность генерации вспышек. Общее число вспышек с 1 января по 22 мая 2024 г. составило 1406 событий. При этом три активные области (далее АО) продемонстрировали крайне высокую вспышечную продуктивность, зафиксировали — более 100 вспышек на одну группу пятен. Это АО 13576 (123 вспышки), АО 13615 (157 вспышек) и АО 13664 (101 вспышка). При этом АО 13576 (максимальная площадь группы пятен — 660 миллионных долей полусферы, далее мдп) произвела две очень сильные вспышки — M9.0 и X2.5 соответственно 11 и 16 февраля 2024 г. Еще одна группа пятен с высокой вспышечной продуктивностью — АО 13615 (максимальная площадь группы пятен около 1000 мдп) — явилась источником пяти сильных вспышек (M7.4, M7.1, M6.1, M9.4 в период с 20 по 31 марта, а также вспышка X 1.1 28 марта 2024 г.).

Сильные вспышки в мае 2024 г.

1	2	3	4	1	2	3	4
30	X1.6	03.05.2024	3663	38	X2.2	09.05.2024	3664
	M9.1	04.05.2024	3663	39	X1.1.	09.05.2024	3664
	M9.0	05.05.2024	3663	40	X3.9	10.05.2024	3664
	M8.4	05.05.2024	3663		M5.9	10.05.2024	3664
31	X1.3	05.05.2024	3663	41	X5.8	11.05.2024	3664
	M7.4	05.05.2024	3663	42	X1.5	11.05.2024	3664
32	X1.2	05.05.2024	3663		M8.8	11.05.2024	3664
33	X4.5	06.05.2024	3663	43	X1.0	12.05.2024	3664
	M5.1	07.05.2024	3663		M6.6 LDE	13.05.2024	3664
	M8.2	07.05.2024	3663	44	X1.7	14.05.2024	3664
34	X1.0	08.05.2024	3663	45	X1.2	14.05.2024	3664
35	X1.0	08.05.2024	3664	46	X8.7	14.05.2024	3664
36	X1.0	09.05.2024	3664	47	X3.5	15.05.2024	3664
37	X1.0	09.05.2024	3664	48	X2.9	15.05.2024	3685

Подобные АО привлекают внимание, однако считаются хоть и несчастными, но нормальными явлениями, особенно на фазах максимума и начала спада циклов солнечной активности. В группах пятен большой площади со сложной топологией магнитного поля (прежде всего типа «бета-гамма-дельта») одна — две вспышки класса X выглядят как естественное явление.

Сравнительно неожиданным вспышечным эксцессом, по-видимому, следует считать наблюдавшиеся в мае 2024 г. многочисленные вспышки наивысшего класса X, которые произошли в двух активных областях – 13663 и 13664. Данные о сильных вспышках в указанных группах пятен приведены в таблице 1. В первом столбце указан номер вспышки класса X, считая от начала текущего 25-го цикла, во втором столбце показан рентгеновских класс сильной вспышки, в третьем столбце – дата вспышки, в четвертом – группа пятен, где произошла вспышка.

АО 13663 наблюдалась в северном полушарии Солнца в период с 1 по 11 мая вплоть до захода за западный лимб. Максимальной площади (600 мдп) группа пятен достигла 7 мая. В этой группе пятен во время пребывания на видимом полушарии Солнца произошло 80 вспышек всех классов, в том числе, как видно из таблицы 1, 11 сильных вспышек, в том числе 5 вспышек класса X. Следует отметить, что вспышечная активность АО 13663 продолжалась и после момента захода за западный лимб Солнца 12 мая, не исключено, что уже за лимбом здесь также произошли сильные вспышки, не наблюдавшиеся с Земли.

АО 13664 наблюдалась в южном полушарии Солнца в период со 2 по 14 мая 2024 г., фактически весь процесс роста группы пятен происходил на глазах наблюдателей. Максимального значения площади (2400 мдп) группа пятен достигла 11 мая, уже вблизи западного лимба. Отметим, что значение площади этой группы пятен лидирует с большим (двойным) отрывом в списке АО в текущем цикле. В этой группе пятен на видимом

полушарии произошла 101 вспышка, в том числе 16 сильных, включая 13 вспышек класса X. 14 мая здесь произошла вспышка класса X8.7 – вторая по мощности за семь лет после вспышки X9.3, наблюдавшейся 6 сентября 2017 г. и семнадцатая в рейтинге вспышек за весь период наблюдений, начиная с 1976 г. Важно отметить, что промежутки времени между двумя последовательными вспышками класса X составляли всего несколько часов. Четыре вспышки класса X подряд в течение суток (9 мая) выглядят крайне редкой аномалией. Подобная скважность мощных вспышечных событий указывает на чрезвычайно высокий запас энергии, и/или эффективную подпитку энергией магнитных структур обсуждаемой АО.

В качестве аналога АО 13664 можно назвать только АО 486, наблюдавшуюся с 23 октября по 11 ноября 2003 г., (максимальная площадь — 2610 мдп) и генерировавшую 17 сильных вспышек, включая 8 класса X (табл. 2). [<https://www.spaceweatherlive.com/>]

Таблица 2.

Сравнение количества вспышек в группах 00486 и 13664

	C	M	X
00486	10	23	9
13664	36	52	13

Впрочем, надо заметить, что, хотя по числу X-вспышек АО 13664 превосходит АО 486, но значительно уступает по их мощности: в АО 486 отмечены сильнейшие за всю историю наблюдений вспышки классов X40+, X24+, X14 и X12, при этом оценки самых мощных из них условны, поскольку являются косвенными (наблюдалось зашкаливание сенсоров).

Для оценки энергетики солнечных вспышек традиционно применяется так называемый вспышечный индекс. Как известно (например, см. [Ишков, 2010]), с 1976 г. в качестве такого индекса используется значение потока мягкого

рентгеновского излучения вспышки в диапазоне 0.1 – 0.8 нм (12.5 эВ – 1 кэВ) по данным спутников серии GOES. Введены классы, оценивающие диапазоны максимальной интенсивности рентгеновского излучения вспышек в соответствии со следующими правилами  $(1-9) \times 10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup> (класс C),  $(1-9) \times 10^{-5}$  Вт/м<sup>2</sup> (класс M),  $(1-n) \times 10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup> (класс X), где n ограничено возможностями сенсора. Согласно этой методике вычисления вспышечного индекса, нами был произведен расчет вспышечных индексов, отражающих энергетику майского вспышечного эксцесса 2024 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, следует отметить, что в течение двух недель, в первой половине мая 2024 г., две группы пятен 13663 и 13664 произвели 30 сильных вспышек, в том числе 18 класса X, что является рекордным показателем за полувековую историю наблюдений рентгеновских вспышек на Солнце. Суммарный вспышечный индекс, отражающий энергетику событий, для указанных двух групп пятен составляет 98,005 — это 56,4 % от интегрального вспышечного индекса текущего 25-го цикла, начиная с января 2020 г.

Отметим морфологическое сходство событий мая 2024 г. и октября–ноября 2003 г. (рис. 2). В обоих случаях одновременно наблюдались по крайней мере две крупные группы пятен большой максимальной площади (одна из двух — превышавшей 2400 мдп) при одновременном практическом отсутствии на диске других малых групп пятен. В обоих случаях вспышечноактивные группы (в 2003 г., 13663 и 13664 в 2024 г. — 486 и 488) находились в разных (северном и южном) полушариях), в обоих случаях превалировала вспышечная активность в южной, более крупной группе пятен.

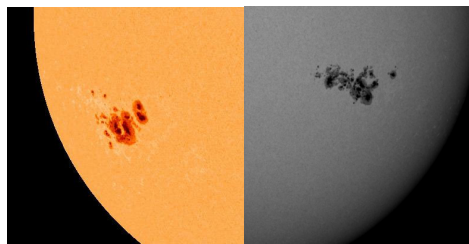


Рис. 2. Слева: группа пятен 00486. Справа: группа 13664

Если продолжать указанную аналогию, можно отметить, что вспышечный эксцесс 2003 г. произошел на фазе спада цикла, после максимума. Это обстоятельство позволяет предположить, что указанный выше всплеск пятенной активности летом 2023 г. в действительности является максимумом текущего цикла, который уже миновал. Огромные объемы высвободившейся во время вспышек майского эксцесса 2024 г. магнитной энергии также позволяет ожидать дальнейшего спада активности Солнца и предполагать, что достигнутое в июне–июле 2023 значение Международного числа солнечных пятен в текущем цикле уже не повторится.

Работа выполнена на УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», поддержана Минобрнауки России (соглашение 13.УНУ.21.0007, Госзадание FZZE- 2020-0017, FZZE-2020-0024).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ишков В.Н. Солнце в декабре 2009 – январе 2010 гг. // Земля и Вселенная. № 3. С. 22–24.  
Golovko A.A. The beginning of 25-th Solar Cycle /// SCOSTEP Presto Newsletter. 2020. V. 24. P. 4–5.  
Space Weather Prediction Centre NOAA  
<https://www.swpc.noaa.gov/products/solar-cycle-progression>  
URL: <https://www.spaceweatherlive.com/>  
URL: <https://xras.ru/>