

ПРЕДВСПЫШЕЧНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ С ИСТОЧНИКАМИ ВНЕ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ОСНОВНОЙ ВСПЫШКИ

**Зимовец И.В.¹, Шарыкин И.Н.¹, Кальтман Т.И.²,
Ступишин А.Г.³, Низамов Б.А.⁴**

¹*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*

²*Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия*

³*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

⁴*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ,
Москва, Россия*

PREFLARE PULSATIONS WITH SOURCES OUTSIDE OF THE MAIN FLARE'S ACTIVE REGION

**Zimovets I.V.¹, Sharykin I.N.¹, Kaltman T.I.²,
Stupishin A.G.³, Nizamov B.A.⁴**

¹*Space Research Institute RAS, Moscow, Russia*

²*Special Astrophysical Observatory RAS, St. Petersburg, Russia*

³*Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia*

⁴*Sternberg Astronomical Institute, Moscow University, Moscow, Russia*

We present an analysis of a solar event in which, according to RHESSI data, the sources of preflare X-ray pulsations (with a period of $P = 1.5 \pm 0.1$ min) that began at ~18:02 UT were located in active region (AR) 11885 in the western solar hemisphere, and the sources of the main M1.0 flare SOL2013-11-05T18:08 were in AR 11890 in the eastern hemisphere. According to the SDO/AIA data in the EUV range, the sources of pulsations were located at the base of coronal jets that were flowing out at velocities of ~150–850 km/s. The distance between ARs 11885 and 11890 was ~1.4R_s. It would take ~30–170 min for the jet plasma to reach AR 11890, which is much longer than the time between the onset of pulsations (jets) and the flare (~6 min), moreover, the jets flowed in the opposite direction relatively to the flare AR. No loops connecting ARs 11885 and 11890 were observed in the corona. Moreover, no connection of these ARs by potential magnetic field lines was found. Consequently, the jets (and associated pulsations) could not be the trigger for the flare. Thus, this is a striking example of an event in which there was no physical connection between the preflare pulsations (and jets) and the flare that follow them. This event demonstrates the importance of spatially resolved observations in the study of solar pulsations.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-119-122

В потоках солнечного радио и рентгеновского излучения перед частью вспышек обнаруживаются пульсации [1–3]. Важность изучения пульсаций связана с потенциальной возможностью их использования для прогнозирования вспышек и сейсмологической диагностики плазмы активных областей (АО). В [4] показано, что перед 26–46% “изолированных” вспышек в интегральном потоке рентгеновского излучения Солнца присутствуют пульсации с периодами ~1–50 мин. В [5] показано, что такие события разделяются на два типа. В событиях типа I источники пульсаций и основной вспышки находятся в одной АО, а в событиях типа II – в разных АО.

Здесь мы рассматриваем событие II типа – вспышку M1.0 SOL2013-11-05T18:08, перед которой (в $\sim 18:02$ – $18:08$ UT) в рентгеновском диапазоне наблюдалась серия из как минимум $N=4$ пульсаций с периодом $P = 1.5 \pm 0.1$ мин. Пульсации наблюдались в данных RHESSI [6], Fermi/GBM [7], GOES/XRS (рис. 1) в диапазоне энергий до ~ 25 кэВ. Также пульсации наблюдались во временном профиле температуры плазмы, $T(t)$, построенном по данным двух каналов GOES/XRS [8] (рис. 1d).

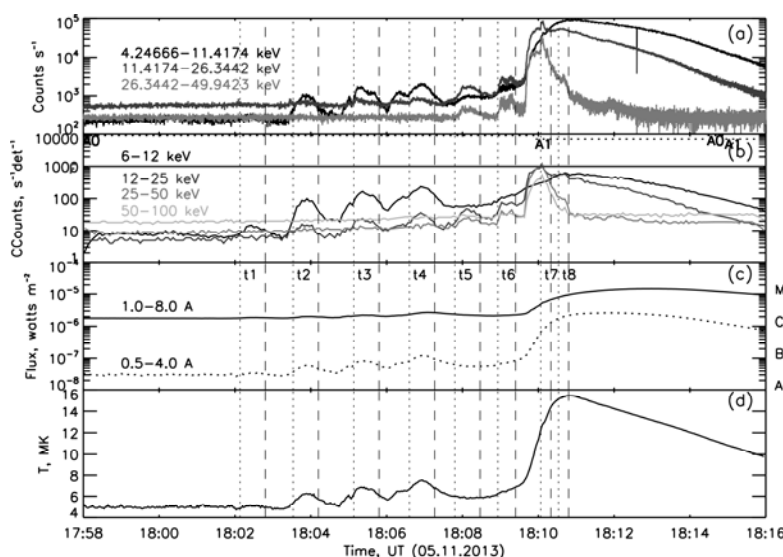


Рис. 1. Временные профили темпов счета Fermi/GBM (a), RHESSI (b), потоков рентгеновского излучения по данным GOES/XRS (c), температуры излучающей плазмы $T(t)$ по данным GOES/XRS (d). Начало и конец временных интервалов $t1$ – $t8$, для которых строились изображения по данным RHESSI (см. рис. 2–4), показаны вертикальными пунктирными и штриховыми прямыми линиями, соответственно.

Из рис. 2 видно, что источники 6–12 кэВ первых четырех предвспышечных пульсаций (интервалы $t1$ – $t4$) находились в АО 11885 в западной полусфере. В интервале $t5$ одновременно наблюдаются два источника – один в АО 11885, другой в АО 11890, где произошла основная вспышка. В интервалах $t6$ – $t8$ остаются только рентгеновские источники во вспышечной АО 11890 в восточной полусфере. Расстояние (по прямой) между АО 11890 и 11885 составляло $D \sim 1.4R_S$.

Рис. 3 показывает, что источники 6–12 кэВ предвспышечных пульсаций ($t1$ – $t5$) имели компактный размер ($L \sim 17.3'' \sim 12.6$ Мм), располагались примерно в одном месте в АО 11885 и были связаны с возникновением уярчения в ЭУФ диапазоне сначала в виде компактной каспообразной структуры (рис. 3a,b), которая затем вытянулась в юго-западном направлении в виде плазменных струй или джетов (рис. 3c-h). Используя методику из [9], получена оценка скорости плазмы в струях: $v \sim 150$ – 850 км/с.

Рис. 4 показывает, что источники 6–12 кэВ прекурсоров вспышки (в $t5$, $t6$) располагались в АО 11890 в окрестности вершины появившейся на изображениях SDO/AIA [10] петли (рис. 4e,f), а вспышечные источники (в

t7, t8) располагались в той же области, но ближе к южному основанию вспыхивающих петель, яркость (и видимая толщина) которых увеличилась относительно времени прекурсоров t5-t6 (рис. 4g,h).

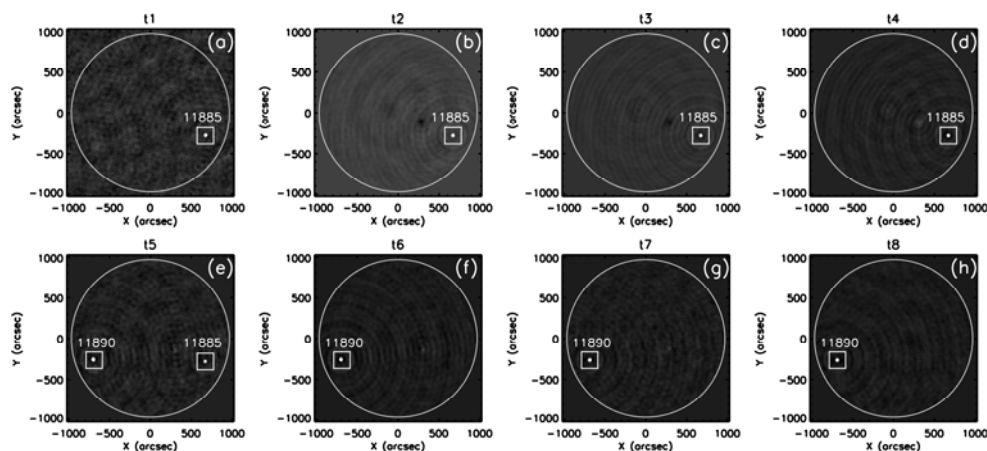


Рис. 2. Расположение рентгеновских источников 6–12 кэВ по данным RHESSI (Clean) на диске Солнца (белая окружность) в интервалах времени t1-t8, показанных на рис. 1.

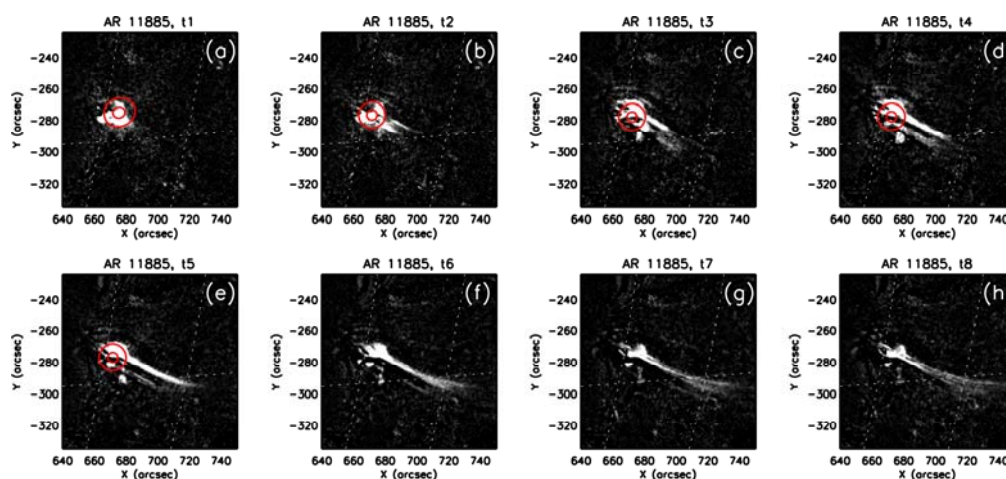


Рис. 3. Разностные изображения в канале SDO/AIA 131 Å участка АО 11885, где наблюдались источники рентгеновских пульсаций по данным RHESSI (6–12 кэВ, Clean, красные изоконтур на уровнях 50% и 90% от максимума). Интервалы времени синтеза рентгеновских изображений соответствуют интервалам t1-t8, показанным на рис. 1. Времена изображений SDO/AIA примерно соответствуют серединам интервалов t1-t8.

Основной вывод работы: струи и связанные с ними пульсации в АО 11885 не могли быть триггером вспышки в АО 11890, т.е. пульсации/струи и вспышка были причинно-несвязанными событиями. Аргументы:

- 1) Струи в АО 11885 были направлены не в сторону АО 11890;
- 2) Время, за которое плазма в струях могла бы достичь АО 11890 $dt \sim (\pi D/2)/v \sim 30-170$ мин намного больше времени между началом струй/пульсаций и началом вспышки (~ 6 мин);
- 3) На изображениях Солнца в мягком рентгене и ЭУФ не видно корональных петель, которые бы соединяли АО 11890 и 11885 (рис. 5a,b);

- 4) Нет соединения этих АО силовыми линиями магнитного поля, экстраполированного в корону в потенциальном приближении в модели PFSS [11] (рис. 5с).

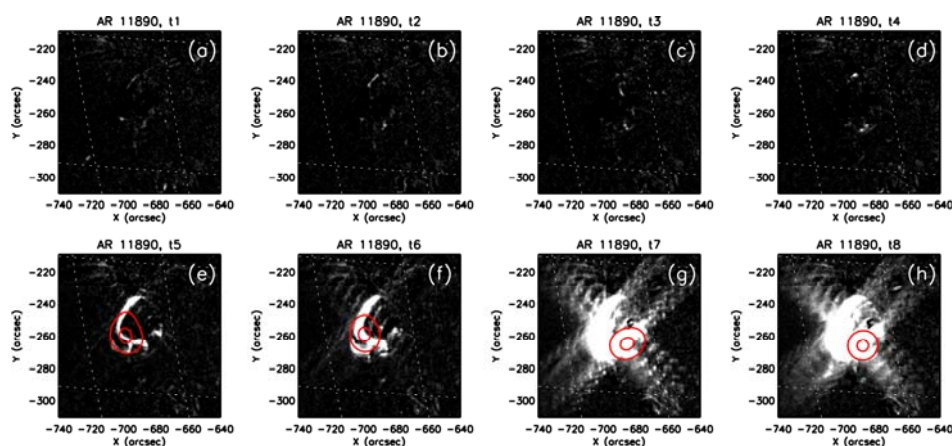


Рис. 4. То же, что на рис.3, но для АО 11890, где наблюдались источники вспышки M1.0.

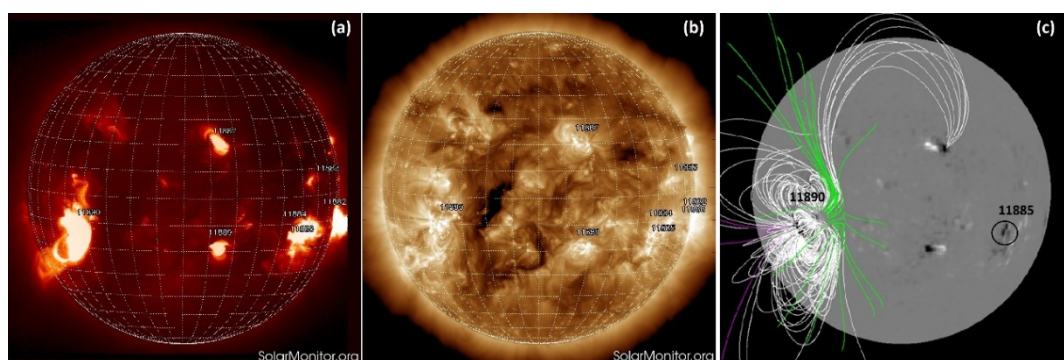


Рис. 5. Изображения Солнца 05.11.2013 г. в мягком рентгене по данным Hinode/XRT [12] (a) и в канале 193 Å SDO/AIA (b). На (c) фотосферная магнитограмма и 300 силовых линий потенциального поля, испущенных из АО 11890, где произошла вспышка M1.0.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 20-72-10158).

Литература

1. Durasova M.S. et al. // Nature, 1971, V. 229, № 3, pp. 82-84.
2. Zhdanov A.A., Charikov Yu.E. // Sov. Astron. Lett., 1985, V. 11, № 2, pp. 88-90.
3. Abramov-Maximov V.E., Bakunina I.A. // Geomagn. Aeron., 2020, V. 60, № 7, pp. 846-852.
4. Tan B. et al. // Astrophys. J., 2016, 833:206 (6pp)
5. Зимовец И.В. и др. // Геомагн. Аэрон., 2022, т. 62, №4, с. 436-455.
6. Lin R.P. et al. // Solar Phys., 2002, V. 210, pp. 3-32.
7. Meegan C. et al. // Astrophys. J., 2009, V. 702, pp. 791-804.
8. White S.M. et al. // Solar Phys., 2005, V. 227, pp. 231-248.
9. Stupishin A.G. et al. // Geomagn. Aeron., 2021, V. 61, pp. 1108-1115.
10. Lemen J.R. et al. // Solar Phys., 2012, V. 275, pp. 17-40.
11. Schrijver C.J., DeRosa M.L. // Solar Phys., 2003, V. 212, pp. 165-200.
12. Golub L. et al. // Solar Phys., 2007, V. 243, pp. 63-86.