

О НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СВИДЕТЕЛЬСТВАХ ПЕРЕСТРОЙКИ МАГНИТНОЙ КОНФИГУРАЦИИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ В ТЕПЛОМ/НЕТЕПЛОМ ИЗЛУЧЕНИИ, СВЯЗАННОМ С СОЛНЕЧНЫМИ ВСПЫШКАМИ X7.1 20.01.05, M5.1 17.05.12

Григорьева И.Ю.¹, Струминский А.Б.², Шаховская А.Н.³

¹Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

³Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Республика Крым, пгт. Научный, Россия

ON THE OBSERVED EVIDENCE OF CHANGE IN THE MAGNETIC CONFIGURATION OF ACTIVE REGIONS, ASSOCIATED WITH SO- LAR FLARES X7.1 20.01.2005 AND M5.1 17.05. 2012

Grigoryeva I.Yu.¹, Struminsky A.B.², Shakhovskaya A.N.³

¹Main Astronomical (Pulkovo) Observatory RAS, St.-Petersburg, Russia

²Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia

³Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Republic of Crimea, Russia

We assume that the process of accumulation in an active region of a large amount of energy required for one or a series of powerful solar flares should be accompanied by an increase in the total background radiation of the Sun. We study the retrospective of the parameters of thermal SXR-emission (GOES: T_{max} , EM_{max}) and non-thermal radio cm(dcm)m-emission (RSTN: instantaneous fluence) of regions 10720 and 11476, preceding two flares X7.1 (January 20, 2005) and M5.1 (May 17, 2012) associated with fast massive interplanetary CMEs and the acceleration of relativistic protons with energies of >1 GeV on the Sun (GLE69 and GLE71, respectively). We interpret the obtained ratio of the flare plasma emission characteristics as the involvement of strong magnetic fields in the nonstationary processes of the January 2005 events and, on the contrary, the participation of a moderately strong magnetic field in the May 2012 events.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-73-76

Мы предполагаем, что процесс накопления в активной области (АО) большого количества энергии, необходимой для одной или серии мощных солнечных вспышек, должен сопровождаться повышением общего фонового излучения Солнца. Это может быть связано с тем, что увеличение магнитного потока в пределах АО приводит к перестройке её первоначальной магнитной конфигурации и, следовательно, к выделению энергии, которое можно регистрировать в виде слабых всплесков мягкого рентгеновского (SXR) излучения в АО, приводящих к росту общего SXR фона. По нашему мнению такой же сценарий возможно будет показывать и радиоизлучение см(дцм)м-диапазонов.

Мы исследуем ретроспективу теплового SXR излучения и нетеплового см(дцм)м-радиоизлучения АО 10720 и АО 11476, предшествующего двум

вспышкам X7.1 (20.01.2005) и M5.1 (17.05.2012), связанным с быстрыми межпланетными гало KBM и ускорением релятивистских протонов энергий >1 ГэВ на Солнце (возрастаниями интенсивности космических лучей на Земле – *Ground Level Enhancement* GLE69 и GLE71, соответственно). В контексте идеи заблаговременной подготовки АО (накопления в ней энергии магнитного поля, см. обзор [1]) представлен анализ параметров вспышечного излучения соответствующих АО за неделю до указанных событий по данным SXR излучения с КА GOES (рис. 1(а, б)) и радиоданным наземной сети станций RSTN (*Radio Solar Telescope Network*, рис. 2(а, б)). Общая информация взята из открытого доступа – сводных отчетов службы центра предсказания космической погоды (*Dept. of Commerce, NOAA, Space Environment Center, USA*). Вычисляемые величины (температура T в МК, мера эмиссии EM в 10^{49} см $^{-3}$ и их максимальные значения) получены в автоматическом режиме в стандартном пакете *SolarSoft* для телескопа GOES в каналах 0.5–4Å и 1–8Å. Указанные ключевые вспышки выбраны как противоположные события по характеру импульсной фазы (X7.1, $T_{\max} \sim 24$ на 8 мин при $EM \sim 12$, $EM_{\max} \sim 38$ на 23 мин при $T \sim 18$, а $SXR_{\max}$ был на 21 мин [2]. M5.1, $T_{\max} \sim 16$ на 10 мин при $EM \sim 2$, $EM_{\max} \sim 3$ на 18 мин при $T \sim 13$, а $SXR_{\max}$ был на 17 мин [3]). В обоих случаях близость по времени $SXR_{\max}$ и $EM_{\max}$ от нуля минут отмеченного в [2, 3] указывает на их связь – $SXR_{\max}$ был на постэруптивной фазе вспышек. А интенсивность первоначального нагрева была разной (значения $T_{\max}$ при EM в это же время отличающейся в 6 раз), что и есть различие в импульсной фазе. Такая интенсивность нагрева ключевых вспышек, по нашему мнению, кроется в предыстории достигаемых значений $T_{\max}$ и $EM_{\max}$ во время вспышек в своих АО, соответственно (рис. 1 (а, б)). В обеих ключевых вспышках $T_{\max}$ не превысил значение 30 МК как во вспышке X6.9 09.08.2011 [4], так выбран масштаб для T на рис. 1 (верхние панели, ось Y).

На рис. 1 показаны гистограммы зависимости $T_{\max}$ и $EM_{\max}$ (черные и пустые кружки, соответственно) от времени для вспышек в АО 10720 в январе 2005 года (панель а) и для вспышек АО 11476 в мае 2012 года (панель б). Стрелками отмечены ключевые вспышки X7.1 и M5.1, соответственно. В начале и в конце периодов вычисленные параметры выборочно: (а) 13.01.05 балл B4.6, $T_{\max} = 10.8$, $EM_{\max} = 0.04$ при SXR-фоне до вспышки $\sim 2.2 \cdot 10^{-7}$ Watt/m 2 ; 14.01.05 C8.9, 17.7, 0.53 и M1.8, 16.8, 1.00, ~ 5.5 ; 20.01.05 C4.8, 14.1, 0.29, X7.1, 29.0, 32.44, ~ 5.2 , C8.0, 14.2, 0.39, C3.6, 14.0, 0.16 и C4.5, 14.6, 0.23 и (б) для 10.05.12 C1.4, 13.2, 0.08, ~ 4.5 , C2.4, 14.0, 0.13, C1.2, 11.0, 0.05 и M5.7, 18.5, 2.96, ~ 5.1 ; 16.05.12 C1.0, 13.4, 0.06; 17.05.12 M5.1, 15.6, 2.9, ~ 4.9 и C1.3, 9.2, 0.1. Обращает на себя внимание «перегрев» ключевой вспышки X7.1 20 января 2005 года (даже с учетом разницы между вычисленными значениями при автоматическом подсчете в этой работе и индивидуальном подходе с уточнением значений каждого параметра в [2, 3]), относительно других вспышек выбранного периода. Динамика значе-

ний $EM_{\max}$ не так однозначна и требует дальнейшего исследования с учетом задержек относительно $T_{\max}$.

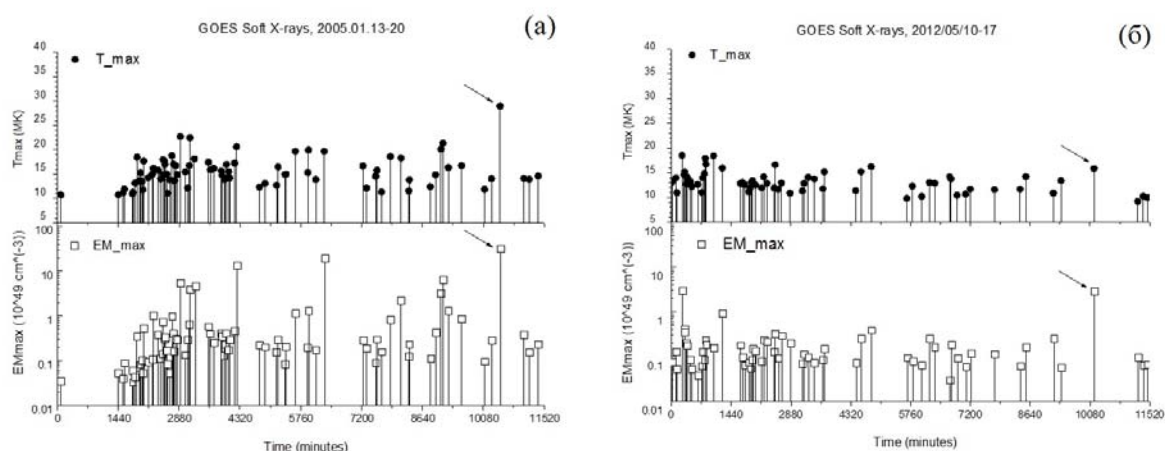


Рис. 1. Максимальные значения параметров SXR-излучения вспышечной плазмы в каналах GOES: сверху $T_{\max}$, линейный масштаб по оси Y; $EM_{\max}$, внизу, логарифмический масштаб: (а) 13–20.01.2005, АО 10720, (б) 10–17.05.2012, АО 11476, стрелки см. в тексте.

О различии в импульсной фазе, по-видимому, свидетельствуют и зарегистрированные всплески на частотах см(дцм)м-диапазона во время вспышек в указанные периоды – ретроспектива нетеплового излучения соответствующих АО (см. рис. 2 (а, б)). Регистрация во вспышках высоких частот (> 5 ГГц) с мгновенным флюенсом 10^3 – 10^5 с.е.п. – источник вблизи сильного магнитного поля, и вспышки при величинах всплесков $< 10^3$ с.е.п. – источник в области слабых магнитных полей высоко в короне.

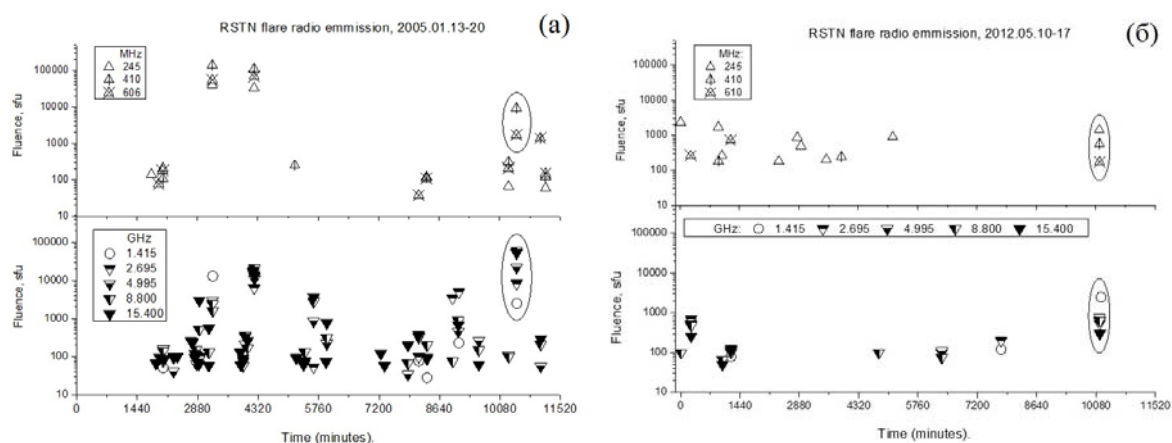


Рис. 2. Максимальные значения радиоизлучения вспышечной плазмы (флюенс в с.е.п.) на частотах RSTN: сверху 245, 410 и 606(610) МГц, внизу 1.415, 2.695, 4.995, 8.800 и 15.400 ГГц. (а) слева 13–20.01.2005, АО 10720. (б) справа 10–17.05.2012, АО 11476. Овалы см. в тексте.

На рис. 2 показаны максимальные значения (мгновенный флюенс) радиоизлучения на частотах RSTN (частоты обозначены на рисунке) в выбранные периоды для вспышек в АО 10720 (панель а) и для вспышек АО 11476 (панель б). Овалами обведены значения мгновенного флюенса для ключевых вспышек X7.1 и M5.1, соответственно. Видно, что в выбранный период 2005 года общее число радиовсплесков, связанных с SXR-вспышками больше, чем в 2012 году (согласно рис. 1). Из них преобладают всплески на высоких частотах в 2005 году (см. панели внизу). Напомним, что согласно [5], частота 1 ГГц является максимальной для преобладания плазменного механизма излучения, 3 ГГц – теплового, а при более высоких частотах преобладает гиротронный механизм.

Результаты исследования динамики вспышечного теплового и нетеплового излучения сводятся к следующему:

1) Преобладание всплесков на высоких RSTN частотах: 4.995 ГГц, 8.8 ГГц и 15.4 ГГц во вспышках периода 13–20.01.05 в АО10720 по сравнению с 10–17.05.12 в АО11476, может интерпретироваться как развитие вспышек на различных высотах (переходной области и высоко в короне).

2) Такое предполагаемое различие характерных высот соответствует увеличению параметров SXR-излучения ($EM_{\max}$, $T_{\max}$) перед вспышкой X7.1 20.01.05 и тенденцией к уменьшению перед вспышкой M5.1 17.05.12 в указанных АО.

3) Различие в значениях SXR-фона объясняется большим количеством общего числа вспышек в период 13–20.01.05, относительно 10–17.05.12. Соответственно, общее количество зарегистрированных всплесков на RSTN-частотах различно.

4) Полученное соотношение характеристик SXR- и см(дцм)м-излучения вспышечной плазмы мы интерпретируем как вовлечение сильных магнитных полей в нестационарные процессы событий января 2005 года и, напротив, участие магнитного поля с умеренными величинами в событиях мая 2012 года. Вышесказанное не противоречит процессам, обусловленным всплытием нового магнитного поля в пределах магнитной конфигурации выбранных АО.

Литература

1. Toriumi, Sh., Wang, H. // *Living Reviews in Solar Phys.* 2019. v. 16. No. 3. p. 128.
2. Струминский А.Б., Зимовец И.В. // ПАЖ. 2007. т. 33. № 9. с. 690-697.
3. Григорьева И.Ю., Струминский А.Б. // АЖ. 2022. т. 99. № 6. с. 486-495.
4. Шарыкин И.Н., Струминский А.Б., Зимовец И.В. // ПАЖ. 2015. т. 41 №1-2, с. 57-71.
5. Aschwanden, M.J. *Physics of the Solar Corona: An Introduction with Problems and Solutions*, Springer, 2009. p. 924.