

ПОИСК ВОЗМОЖНЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ СЕРИИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ 12230 9 ДЕКАБРЯ 2014 Г.

Моторина Г.Г.^{1,2}, Шарыкин И.Н.², Зимовец И.В.², Моторин А.С.³

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

²Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

³Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

SEARCH FOR PRECURSORS TO A SERIES OF SOLAR FLARES IN THE ACTIVE REGION 12230 ON DECEMBER 9, 2014

Motorina G.G.^{1,2}, Sharykin I.N.², Zimovets I.V.², Motorin A.S.³

¹Central Astronomical Observatory at Pulkovo of RAS, St. Petersburg, Russia

²Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia

³ITMO University, St. Petersburg, Russia

The work analyses dynamics of the NOAA active region (AR) 12230, which caused a series of consecutive flares (C5-C9) with a quasi-periodicity of about 2 h within 12 hours on 09.12.2014. This AR was characterized by a rapid increase of flaring activity and its subsequent rapid decline, which can be considered as a good example for the study of probable precursors of powerful flares. We study the evolution of AR 12230 and its transition from the “non-flare” state to the mode of initiation of a series of flares. For this purpose, we analyze magnetic field dynamics from SDO/HMI magnetograms, extreme ultraviolet images from SDO/AIA data, differential emission measure, and X-ray observations leading up to the onset of flares in this AR.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-229-232>

Введение

Предвестником солнечной вспышки принято считать локальное мелкомасштабное выделение энергии, видимое как уярчение в различных диапазонах длин волн во временном диапазоне от нескольких минут до ~1–2 ч. до начала основной вспышки. Предвестники могут являться как проявлением независимых более слабых эпизодов энерговыделения, сопутствующих эволюции АО, так и пусковым механизмом для основного вспышечного энерговыделения. В частности, в [1] описан эффект предварительного нагрева мягким и жестким рентгеновским излучением, а также связь с корональными выбросами массы. Кроме того, в работе [2] была показана связь между мелкомасштабным энерговыделением (предвестником) и началом главной вспышки. Исследования в микроволновом диапазоне [3] показали, что предвспышечные флуктуации микроволнового излучения локализованы в компактных зонах активной области. Это позволяет предположить, что мелкомасштабное высвобождение энергии в нижних слоях солнечной атмосферы может быть связано с началом основной вспышки.

Тем не менее, вопрос о предвестниках и их связи с началом солнечных вспышек до сих пор остается открытым.

Целью данной работы является исследование АО 12230 в интервале ее наивысшей вспышечной активности (9 декабря 2014 г.) на предмет поиска предвестников по данным мягкого рентгеновского (данные GOES) и крайнего ультрафиолетового (КУФ) (данные SDO/AIA) излучения, а также попытка выявить характерные процессы в АО перед серией вспышек и природу возникновения предвестников.

Наблюдения и анализ данных

АО 12230 появилась на видимой части Солнца 6 декабря 2014 г. (на максимуме 24-го цикла солнечной активности), и в процессе развития, начиная с 8 декабря, вызвала серию солнечных вспышек класса C. Первая вспышка произошла 8 декабря 2014 г. в 17:53 UT (C1.3), далее 9 декабря 2014 г. произошла последовательно серия из 11 вспышек, начиная с 03:21 UT (C2.0) по 23:22 UT (C1.3), и последняя вспышка произошла 10 декабря 2014 г. в 02:03 UT (C1.4). Длительность между концом одной вспышки и началом следующей 9 декабря 2014 г. была следующей: 1 ч. 9 мин., 2 ч. 43 мин., 1 ч. 17 мин., 1 ч. 54 мин., 58 мин., 1 ч. 25 мин., 1 ч. 39 мин., 1 ч. 14 мин., 51 мин., 3 ч. 30 мин. Среднее время между соседними вспышками составляло 100.0 мин, стандартное отклонение 50.4 мин. Данная АО была выбрана для анализа динамики активности КУФ всплесков в силу быстрого роста группы пятен (в течение суток) и появления серии солнечных вспышек, причем 7 наиболее мощных вспышек появлялись квазипериодическим образом в течение 12 часов, после чего вспышек уже не наблюдалось.

На рис. 1 показаны временные профили УФ, рентгеновского излучения и гистограмм распределения компонент магнитного поля. При сравнении УФ и рентгеновских кривых блеска можно заметить, что данные GOES показывают всплески не только с рассматриваемой АО, но и из других областей Солнца, что важно учитывать при исследовании вспышек и их предвестников [4]. Стоит отметить, что появление вспышечной активности ассоциировано с ростом магнитного поля (всех компонент).

Для выполнения поставленной задачи нами были проанализированы данные КУФ излучения в каналах 94, 131, 171, 193, 211, 335 Å, зарегистрированного с помощью SDO/AIA, и рентгеновское излучение по данным GOES, которые позволяют получить информацию о тепловой вспышечной плазме. С помощью AIA/SDO данных было проведено восстановление дифференциальной меры эмиссии (DEM, рис. 2) вспышечной плазмы вдоль луча зрения в диапазоне температур $T = 0.5 - 25$ МК для дальнейшего определения температуры и меры эмиссии из интересующей нас области, FOV (рис. 2).

Временные профили КУФ излучения, а также температуры и меры эмиссии показаны на рис. 3.

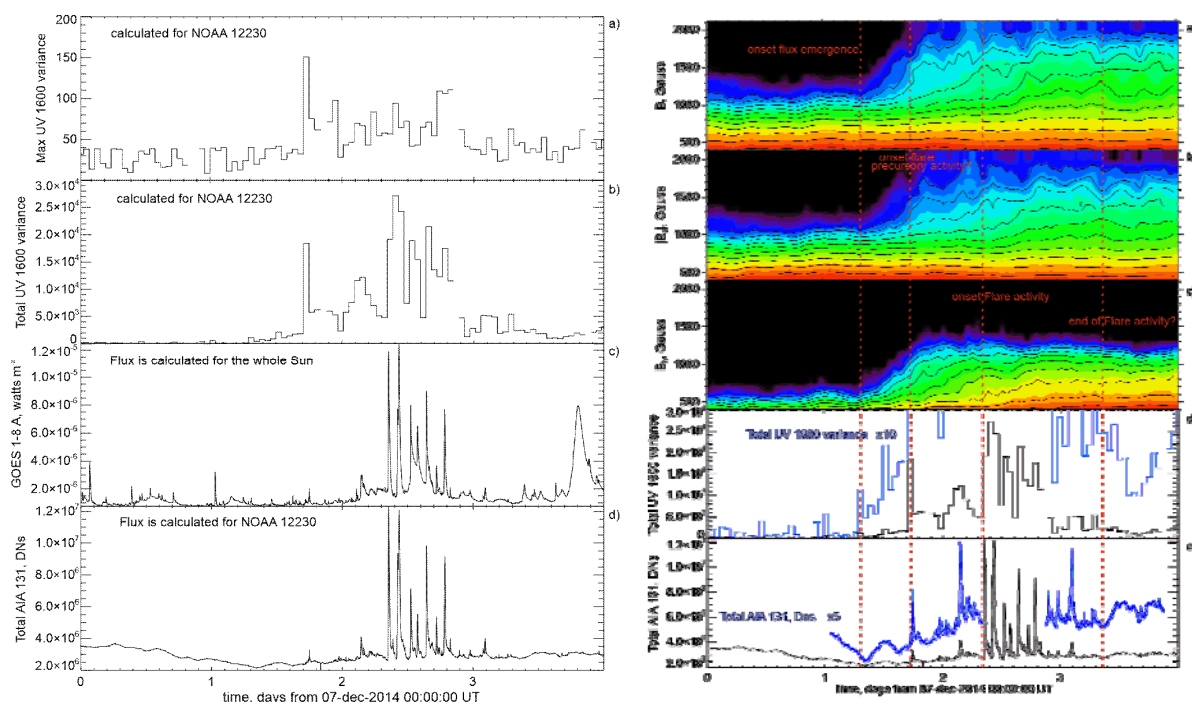


Рис. 1. Слева: временные профили АО 12230: максимальный уровень вариаций УФ излучения (ярчайший пиксель на УФ картах) в АО в канале 1600 А (а), суммарная вариация УФ излучения в АО в канале 1600 А (б), поток рентгеновского излучения по GOES в канале 1–8 А (с), поток КУФ излучения в канале AIA 131 А (д). Справа: верхние три панели показывают временные последовательности гистограмм распределения компонент магнитного поля: (а) модуль поля, (б) модуль B_z компоненты, (с) горизонтальная компонента B_h . Вертикальными линиями отмечены характерные этапы развития АО и фонового энерговыделения. На панелях (д, е) показаны увеличенные по амплитуде временные УФ профили (синий цвет) для лучшей визуализации слабых УФ всплесков.

Обсуждение результатов и выводы

Проведен анализ тепловой плазмы АО 12230 во временном интервале 02:23–23:33 UT 9 декабря 2014 г., производшей серию из 11 квазипериодических вспышек класса C со средним временем между ними 100 ± 50 мин. Показано, что наблюдается корреляция профилей меры эмиссии и температуры, полученных по данным GOES и SDO/AIA. Профили EM и T показывают не такую явную вариацию как профили КУФ излучения, они более гладкие. То есть EM и T менее чувствительны к мелкомасштабным вариациям. Если брать за критерий возникновения предвестников 1–2 ч. до вспышки, то для восьми из 11 событий предыдущая вспышка может рассматриваться как предвестник последующей в рамках единого процесса энерговыделения магнитной энергии в АО. При этом перед началом серии вспышек 9-го декабря мы увидели значительное усиление потоков УФ излучения примерно за 12 часов, что можно считать предвестником серии вспышек на фоне всплытия магнитного поля. Однако данные утверждения требуют дополнительного анализа данных наблюдений. Также наблюдаются локальные всплески из АО в некоторых КУФ каналах, не видимых с помощью GOES.

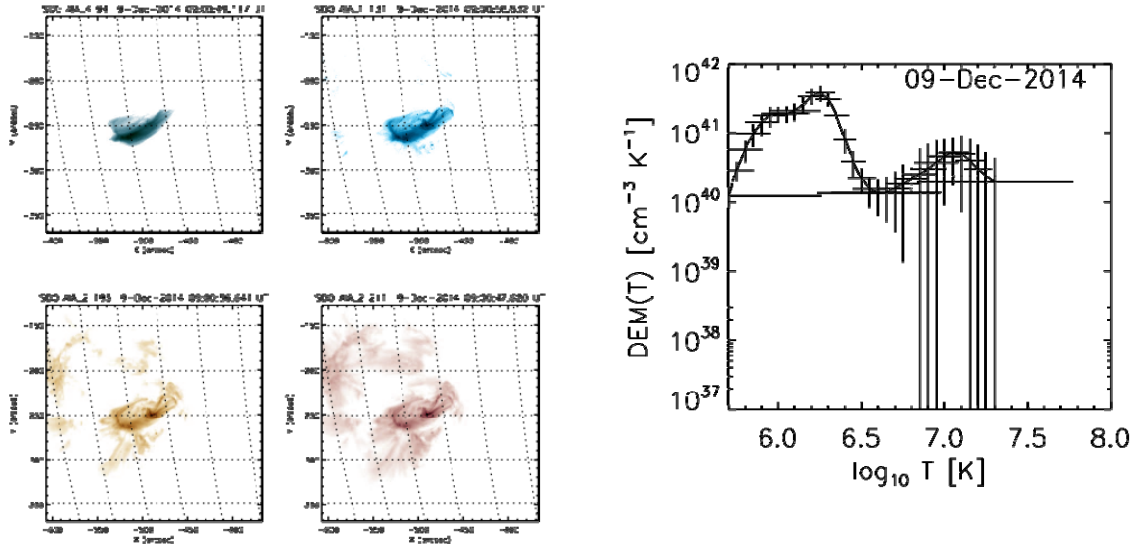


Рис. 2. Слева: анализируемый участок (FOV) АО 12230. Справа: пример DEM, рассчитанной из FOV, для момента времени 19:40-19:52 UT 9 декабря 2014 г.

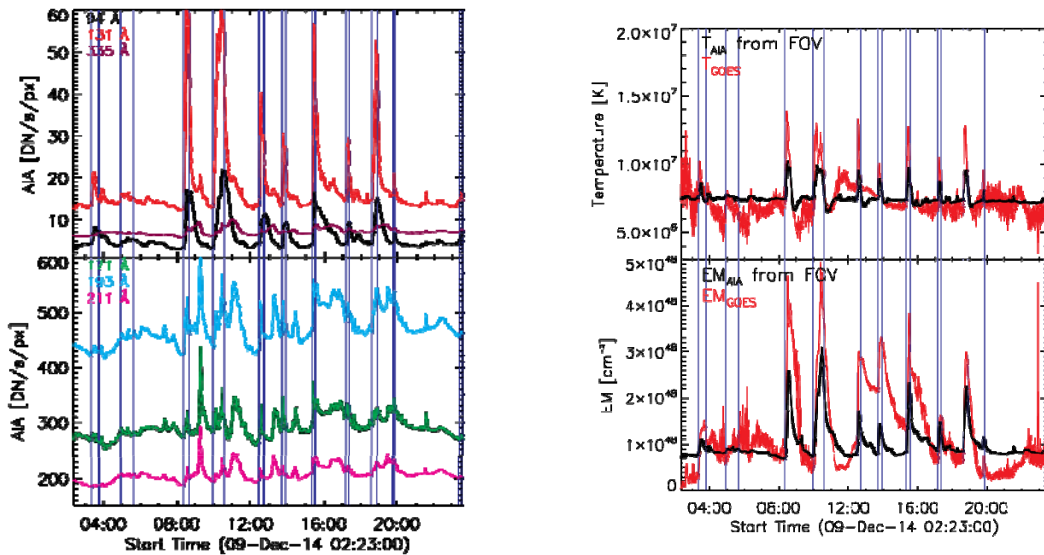


Рис. 3. Слева: кривые блеска КУФ излучения из FOV (см. рис. 2), 9 декабря 2014 г. Справа: температура (T) и мера эмиссии (EM), рассчитанные по данным GOES и AIA.

Планируется дальнейший анализ динамики различных характеристик АО 12230, включая этапы появления и формирования АО на диске Солнца, перехода из “невспышечного” во “вспышечное” состояние и наоборот.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 20-72-10158.

Литература

1. Van Hoven G., Hurford G.J. // ASR, 1986, V. 6, I. 6, pp. 83-91.
2. Wang H. et al. // Nature Astronomy, 2017, V. 1, id. 0085, 6 p.
3. Абрамов-Максимов В.Е., Бакунина И.А. // Изв. КрАО, 2021, 117, с. 38–43.
4. Zimovets I.V. et al. // Ge&Ae, 2022, V. 62, I.4, pp. 356-374.