МНОГОВОЛНОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В МИНИМУМАХ 22, 23 И 24 СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ

Моторина Г.Г.^{1,2}, Лысенко А.Л.², Флейшман Г.Д.^{3,2}

¹ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

³New Jersey Institute of Technology, Newark, USA

MULTIWAVELENGTH STUDY OF POWERFUL SOLAR FLARES AT MINIMUM OF 22, 23 AND 24 SOLAR CYCLES

Motorina G.G.¹, Lysenko A.L.², Fleishman G.D.^{3,2}

¹Pulkovo Observatory of RAS, St. Petersburg, Russia

²Ioffe Institute, St. Petersburg, Russia

³New Jersey Institute of Technology, Newark, USA

Solar activity has a periodicity at different time scales (from 158 days to millennia). The relative number of sunspots (Wolf number) is the most frequently used indicator of the solar activity. One of the most pronounced is the eleven-year cycle of activity, the Schwabe cycle. In general, the number of flares on the Sun and other indices of solar activity correlate very well with the Wolf number. However, an active region producing powerful X-class flares in the soft X-ray range can be observed at any phase of the solar cycle, including minima. In particular, X-class solar flares occurred at the minima of previous solar cycles, as well as during the decline of the 24th solar cycle, in September 2017. A comprehensive analysis of such powerful flares in the minima of activity has not yet been carried out, thus, the questions whether such flares are random or regular phenomenon and whether the prerequisites for their occurrence are similar or not for all cycles remain open. The present work is aimed at reviewing and analyzing X-class flares in the minima of solar cycles as a separate group of events. We have the advantage of observing the minima of the 22nd, 23rd and 24th solar cycles in the hard X-ray and soft gamma ray ranges with the same instrument – Konus-Wind, which provides observations from November 1994 till the present. We supply this data with multiwavelength observations of the Sun.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-299-302

Введение

Под солнечной активностью подразумевается совокупность явлений на Солнце, связанных с изменением конфигурации магнитного поля. Показателями солнечной активности принято считать международное число солнечных пятен (число Вольфа), радиоизлучение на длине волны 10.7 см, TSI (total solar irradiance), магнитное поле, корональные выбросы массы, солнечные вспышки и др. Используя показатели солнечной активности, можно сделать вывод, что солнечная активность имеет периодичность на различных временных шкалах от 158 дней до тысячелетий. Одним из наиболее ярко выраженных циклов является 11 летний цикл (Швабе) солнечной активности. Известно, что в минимумах 18-го (вспышка 23 февраля

1956 г. [1]), 19-го (23–27 мая 1967 г. [2]), 20-го, 21-го, 22-го (июль 1996 г.), 23-го (декабрь 2006 г.) [3] солнечных циклов наблюдалось резкое увеличение числа солнечных вспышек, по аналогии с минимумом 24-го цикла в сентябре 2017 г. Однако в связи с тем, что космический аппарат GOES [4] начал наблюдения только в 1975 г., события до этой даты не классифицировались рентгеновскими классами, и их оценка до этого года остается проблематичной. В истории же остались только очень сильные события, приведшие к геомагнитным бурям.

Следует отметить, что временные интервалы между мощными событиями июля 1996 г. и декабря 2006 г., декабря 2006 г. и сентября 2017 г. очень близки и составляют 10 лет и 5 месяцев и 10 лет и 9 месяцев соответственно. Таким образом, не исключено, что солнечные вспышки в минимуме солнечной активности составляют отдельную группу событий. Если рассмотреть подробнее минимумы 22, 23 и 24 солнечных циклов, то получим, что действительно данные события выделяются на общем фоне остальных вспышек и являются локальными максимумами в минимумах солнечной активности (рис. 1).

Рис. 1. Число солнечных вспышек рентгеновского класса C1 и выше (левая шкала) и класса X1 и выше (правая шкала) для конца 22-го, 23-го и 24-го солнечных циклов по данным спутника GOES. Стрелками указаны рассматриваемые вспышки класса X.

Цель настоящей работы – предварительно исследовать мощные вспышки рентгеновского класса X в минимумах 22, 23 и 24 циклов солнечной активности.

Анализ данных

Для выполнения поставленной задачи были проанализированы данные жесткого рентгеновского (РИ) и гамма (ГИ) излучения вспышек, которые обусловлены нетепловым тормозным излучением электронов и позитронов и ядерными реакциями, возникающими вследствие столкновений между ускоренными во вспышке ионами с фоновыми ионами в атмосфере Солнца. В особенности стоит подчеркнуть, что для вспышек в минимумах

22, 23 и 24 циклов есть данные жесткого РИ и ГИ, зарегистрированные спутником Конус-Винд (КВ) (наблюдения с 1994 г. [5]). В 1996, 2006 и 2017 гг. спутником КВ было зарегистрировано 9 событий класса X. Из них мы выбрали солнечные вспышки, которые имели магнитограммы, хорошо наблюдались другими спутниками. Таким образом, были выбраны три события: SOL1996-07-09 0:09 (X2.6), SOL2006-12-05 10:18 (X9.0) и SOL2017-09-06 11:53 (X9.3). Для выбранных событий было произведено фитирование их рентгеновских спектров (рис. 2, рис. 3, рис. 4).

Рис. 2. Солнечная вспышка 1996/07/09 (X2.6). Слева: временной профиль жесткого РИ в трех каналах по данным КВ (верхняя панель), временной профиль мягкого РИ по данным GOES (нижняя панель). Справа: результат фитирования данных КВ четырехкомпонентной моделью, включающей степенную функцию, шаблон излучения в ядерных линиях, линию аннигиляции электрона и позитрона 511 кэВ и линию захвата нейтрона 2.2 МэВ.

Рис. 3. Солнечная вспышка 2006/12/05 (X9.0). Слева: аналогично рис.2 и временные профили спутника RHESSI [6]. Справа: результат фитирования данных КВ двумя степенными функциями: степенная зависимость + степенная зависимость с экспоненциальным завалом в области высоких энергий.

Рис. 4. Солнечная вспышка 2017/09/06 (X9.3). Слева: аналогично рис. 3. Справа: результат фитирования данных КВ пятикомпонентной моделью: степенная функция + степенная зависимость с экспоненциальным завалом в области больших энергий + шаблон излучения в ядерных линиях + линия аннигиляции электрона и позитрона 511 кэВ + линии захвата нейтрона 2.2 МэВ.

Обсуждение результатов и выводы

Проведен отбор трех солнечных вспышек X класса, произошедших в минимумах 22-го, 23-го и 24-го солнечного циклов. Для выбранных событий проведен спектральный анализ данных Конуса-Винда в жестком рентгеновском и гамма диапазонах. В двух из трех событий (19.07.1996, 06.09.2017) происходило ускорение ионов, на что указывает наличие в спектрах линий снятия возбуждения ядер и линий 511 кэВ и 2.2 МэВ.

В дальнейшем общая картина будет дополнена данными в крайнем ультрафиолетовом и микроволновом диапазонах. Планируется исследовать предвспышечные магнитограммы для выбранных событий июля 1996 и декабря 2006 гг. по аналогии с тем, как было сделано другими авторами [7] для вспышки 06.09.2017 для исследования конфигурации магнитного поля; построить 3D модели вспышек с помощью GX симулятора [8] для рассмотренных трех событий; выявить общие и различающиеся от цикла к циклу черты мощных вспышек в минимуме солнечной активности.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол_a 18-32-00439.

Литература

1. Meyer P., Parker E.N., Simpson J.A. // Phys. Rev., 1956, V. 104, I.3.
2. Knipp D.J., Ramsay A.C. et al. // SpWea, 2016, V. 14, I.9, pp. 614–633.
3. Hathaway D.H. // LRP, 2015, V. 12, I. 1, id. 4.
4. White S.M., Thomas R.J., Schwartz R.A. // Sol. Phys., 2005, V. 227, I.2.
5. Aptekar R.L., Frederiks D.D., Golenetskii S.V. et al. // SSRv, 1995, V. 71, I.1-4.
6. Lin R.P., Anderson K.A., Ashford S. et al. // SSRv, 1995, V. 71, I.1-4.
7. Sharykin I.N., Kosovichev A.G. // ApJ, 2018, V. 864, I.1, Id.86.
8. Nita G.M., Fleishman G.D., Kuznetsov A.A. et al. // ApJ, 2015, V. 799, I.2.