АСТРОФИЗИКА

TOM 61

МАЙ. 2018

ВЫПУСК 2

МОЩНЫЕ ВСПЫШКИ НА СОЛНЦЕ В СЕНТЯБРЕ 2017. СРАВНЕНИЕ С САМЫМИ КРУПНЫМИ ВСПЫШКАМИ 24 ЦИКЛА

Е.А.БРУЕВИЧ, В.В.БРУЕВИЧ Поступила 13 ноября 2017 Принята к печати 7 марта 2018

Изучается вспышечная активность Солнца в 24 цикле. Используются данные спутниковых наблюлений рентгеновских потоков GOES-15, линий УФ-излучения эксперимента SDO/EVE. Самые мощные вспышки 24 никла классов Х9.3 и Х8.2, произошедшие в сентябре 2017г., рассматриваются в сравнении с крупными вспышками классов М5-Х6.9. Лля 21 крупной вспышки проведено сравнение времени начала вспышечного усиления потоков в линиях 30.4 нм и 9.4 нм, а также в рентгеновском интервале 0.1-0.8 нм. Для 25 вспышек 2011 и 2012гг. вычислены значения полной энергии, прицедшей от вспышек на Землю в линиях 30.4 нм и 9.4 нм, а также в рентгеновском интервале 0.1-0.8 нм. Для 25 вспышек 2011 и 2012гг. вычислены значения полной энергии, прицедшей от вспышек на Землю в линиях 30.4 нм и 9.4 нм, а также в рентгеновском интервале 0.1-0.8 нм - Е₁₀₄, Е₉₄, и Е₁₁₄. Показано, что энергии вспышек, рассчитанные в анализируемых линиях SDO/ EVE и рептеновском интервале GOES-15, тесно взаимосвязаны между собой.

Ключевые слова: Солнце: 24 цикл: вспышечная активность: Вспышки: развитие вспышки в линиях: полная энергия вспышки

1. Введение. Мощнейшие вспышки, наблюлаемые на Солнце, выбрасывают в окружающее пространство огромную энергию - примерно пятую часть энергии, излучаемой Солнцем за одну секунду (для сравнения это равно всей энергии, которую выработает человечество за миллион лет при условии се произволства современными темпами). При этом Солнце в ряду звезя с активностью солнечного типа (например, вспыхивающие звезды типа UV Кита) отличается относительно низкой вспышечной активностью [1,2].

Текущий 24 шикл солнечной активности в настоящее время практически приблизился к самым минимальным значениям по числу солнечных пятен и величинам других глобальных индексов. Число крупных вспышек в 24 никле согласно рентгеновской классификании, базирующейся на измерениях спутников серии GOES (классы >M1 соответствуют вспышкам с амплитулой более $1 \cdot 10^{-5}$ Ватт/м² в диапазоне 0.1 - 0.8 нм), за весь цикл набралось около 800, тогда как в предыдущие, более сильные никлы 22 и 23, эта величина была в 2 раза больше. Самой крупной вспышкой 24 цикла до сентября 2017г. считалась вспышка рентгеновского класса X6.9, произошедшая 09.08.2011 и обланающая не совсем стандартными характеристиками для такой крупной вспышки, в частности, по количеству энергии, поступившей на Землю в соответствующем рентгеновском дианазоне 0.1-0.8 нм, она не вошла даже в первую десятку. До сентября 2017г. вспышка 09.08.2011 была самой значительной в 24 никле. Особенности этой вспышки класса X6.9 дегально рассматривались, в частности, в [3,4].

2. Вспышки в сентябре 2017г. 29 августа из-за восточного лимба в южной полусфере Солнца вышла группа 2673, с площалью 70 МДП (1 МДП -10⁻⁶ видимой полусферы Солнца), и числом пятен, равным 1. Через двое сугок плошаль группы уменьшилась до 60 МДП, число пятен увеличилось до 4, магнитная конфигурация усложнилась. 3 сентября группа достигна нентрального меридиана с площадью 130 МДП, число пятен превысило 10. На следующие сутки площаль группы увеличилась до 680 МДП, число пятен выросло до 28, магнитная конфигурация еще больше усложнилась. Серия солнечных вспышек началась в понедельник 4 сентября, в этот день в группе было зарегистрировано 7 крупных вспышек класса М.

6 сентября эта группа с числом пятен, равным 33, и площалью 880 МДП уже находилась в западном полушарии вблизи центрального мерилиана. В 12.10 МСК в группе зарегистрирована вспышка X2.2 продолжительностью 20мин, а в 15.02 МСК зарегистрирована еще одна более моншая вспышка X9.3, прополжавшаяся 17 мин, (см. рис.1, 2). Обе вспышки сопровождались протонными событиями. За последние двадпать лет были зарегистрированы лишь пять вспышек большей амплитуды, чем вспышка X9.3, а последняя из них класса X17.0 произопша почти ровно 12 лет назад - 7 сентября 2005г.



Рис.1. Вспышка 06.09.2017 - максимальная по рентеновской классификации в 24 цикле - X9.3. По оси X - гринвичское время GMT.

На рис.1 представлен поток излучения в диапазоне 0.1-0.8 нм (линейная шкала). Отмечена полная энергия, поступившая от вспышки на Землю, вычисленная как плошаль интеграла под заштрихованной временной кривой потока в лианазоне 0.1-0.8 нм с учетом уровня фона.

06.09.2017 в 12.55 по гринвичскому времени, на фоне прололжающегося вгоржения протонов от вспышки М5.5, началось вторжение потоков протонов от вспышки Х9.3 в широком лиапазоне энергий. Для протонов с энергиями ≥100 МэВ это было заметное событие, произошедшее впервые с 2014г.

Рис.2 демонстрирует протонное событие, вызванное вспышкой 06.09.2017, согласно ланным наблюлений потоков протонов на спутнике GOES-15 в лианазонах ≥10 МэВ и ≥100 МэВ. Вилно, что после достижения максимума протонов с энергиями ≥100 МэВ в 12.35 GMT, начался постепенный спал потока протонов. Для протонов с энергиями ≥10 МэВ усиление потока протонов от ланной вспышки практически незаметно наложилось на увеличенный поток протонов от вспышек 4 сентября, после чего началось лальнейшее увеличение потока протонов с энергиями ≥10 МэВ.



Рис.2. Вспышка 06.09.2017. Сверху - поток протонов с энергиями ≥ 10 МэВ, снизу - поток протонов с энергиями ≥ 100 МэВ.

10.09.2017 около 16 ч по гринвичскому времени произошла еще одна мошнейшая вспышка класса X8.2 (см., рис.3, 4). Она явилась продолжением мошнейшей вспышки 6 сентября X9.3, и стала второй по силе с 2005г., уступая лишь своей прямой предшественнице, случившейся четырьмя днями рансе. Эта вспышка, связанная с той же активной областью 7623, произошла

Е.А.БРУЕВИЧ, В.В.БРУЕВИЧ

практически на лимбе, на следующий лень активная область 7623 защла за край Солнца, но источник жестких протонов, связанный с этой вспышкой и расположенный над активной областью в короне, светился нал лимбом еще более суток. На рис.3 представлен поток излучения в дианазоне 0.1-0.8 нм (линейная шкала). Отмечена полная энергия $E_{0.1-0.8}$, поступившая от вспышки на Землю, вычисленная как площаль интеграла под заштрихованной временной кривой потока в диапазоне 0.1-0.8 нм.



Рис.3. Вспышка 10.09.2017 - одна из двух максимальных по ренттеновской классификапии в 24 цикле. По оси X - гринвичское время GMT.



Рис.4. Вспышка 10.09.2017. Сверху - поток протонов с энергиями ≥10 МэВ, снизу - поток протонов с энергиями ≥100 МэВ.

10.09.2017 примерно в 16.30 по гринвичскому времени - GMT, началось вторжение потоков протонов от вспышки X8.2 в широком диапазоне энергий, значительно превосходящее событие, последовавшее за вспышкой X9.3 от 06.09.2017.

Усиление потоков протонов во вспышке 10 сентября достигло рекорлных показателей в этом пикле как для протонов с энергиями $\geq 10 \text{ МэВ}$, так и для более жестких протонов $\geq 100 \text{ МэВ}$. Потоки протонов во вспышке 10 сентября превышали потоки протонов во вспышке 6 сентября более чем на порялок (см., рис.4), что явилось рекорлом по величине во всем 24 никле. Воздействие этих протонов на атмосферу Земли было грандиозным: магнитные бури, последовавшие за этой вспышкой, также были рекордными по величине и лиительности. k_p - индекс, характеризующий степень возмущения магнито-сферы Земли, достигал значений в 6 единиц в течение трех суток согласно данным NOAA/SWPC (см. архив сайта http://www.n3kl.org/sun/noaa_archive).

Вероятно, что воздействие этой протонной вспышки на земную атмосферу было бы значительнее, если бы источник протонов не переместился вместе со вспышечной областью за лимб Солнца.

Полчеркием, что в 24 никле такие мощные вспышки произонли на фоне солнечного минимума. Активная область 7623 просуществовала в течение сще лвух оборотов Солнца, но заметной вспышечной активности у этой области больше не наблюдалось.

3. Крупные вспышки в 24 цикле. Время начала и максимума вспышки в линиях 30.4 нм, 9.4 нм и интервале 0.1-0.8 нм. В 24 никие в сравнении с циклами 21-23 отмечается слабая вспышечная активность - всего 133 вспышки Х-класса >M5.0, из них 49 вспышек Х-класса >X1. Наибольшее количество всех вспышек наблюдалось вблизи первого и второго максимумов цикла (при этом из 10 самых крупных вспышек только две произопли на встви спада - это самые крупные вспышки 24 цикла, произопледние 06.09.17 и 10.09.17) (см., [5,6]). Если сравнить с циклами 21-23, то наиболее крупные рептгеновские вспышки Х-класса >X15 наблюдались на вствях спада циклов 21 и 23, а также в максимуме 22 цикла [7-9]. Наблюдения вспышек на спутниках с высоким временным разрешением позволяют исследовать проблему задержки времени начала вспышек в линиях, относящихся как к нижней части солнечной атмосферы (хромосфера и переходная область), так и к верхней части (корона). Наблюления SDO/EVE в линиях, относящихся к крайнему ультрафиолету, доступны с усреднением в 1 мин. Наблюдения GOES-15 в интервалах 0.1-0.8 нм и 0.05-0.4 нм доступны с временным разрешением в 2.5 с. Таким образом, для каждой исследуемой вспышки мы можем получить данные о времени начала и максимума этой

вспышки в выбранных линиях.

На рис.5 представлены потоки в рентгеновском дианазоне GOES-15 -0.1-0.8 нм и в 5 линиях SDO/EVE для крупной вспышки класса M8.8, ллящейся более 4ч. Это одна из самых крупных вспышек по величине полной энергии ($E_{1,1-0,1} = 0.389 \, \text{Дж}/\text{M}^2$) в 24 пикле. На рисунке видны характерные моменты перегиба кривой, соответствующие началу вспышки и се максимуму (в линиях 30.4 нм и 13.3 нм видны по 2 максимума). Время начала и максимума вспышки, указанное на рис.5, уточнялось непосредственно по временным массивам данных наблюдений, используемым для ностроения графиков. Видно, что характерный временной профиль вспышки в интервалс наблюдений GOES-15 0.1-0.8 нм более всего соответствует временному профилю





в корональной линии FeXX 13.3 нм и чуть хуже соответствует временному профилю корональной линии FeVIII 9.4 нм. Максимальные концентрации ионов FeVIII и FeXX наблюдаются в верхней короне при T~10⁷ K, излучение в интерване 0.1-0.8 нм формируется примерно в этой же части короны [10,11].

Как вилно из рис.5 для ланной вспышки 23.01.2012 раньше происходит усиление в коропальных линиях и интервале 0.1-0.8 нм (2:12-2:20), а затем в линиях хромосферы и переходной области (2:25-2:28).

4. Связь полной энергии, излученной вспышками в диапазоне 0.1-0.8 им, с областью первичного энерговыделения. Для дальнейшего анализа определения области первоначального энерговыделения для 21 вспышки мы выбрали линии 30.4 им и 9.4 им. С одной стороны, эти линии формируются на разной высоте в атмосфере Солнца (30.4 им - линия переходной области, 9.4 им - корональная линия). С другой стороны, эти линии обладают дополнительными полезными свойствами: линия 30.4 им - одна из самых сильных в УФ-лианазоне и играст заметную роль в формировании ионосферы Земли, линия 9.4 им - очень чувствительна к вспышечной активности Солнца и при этом на порядок интенсивнее подобной линии 13.3 им. К сожалению, ряды наблюдений в линиях 30.4 им и 9.4 им прервались в мае 2014г. в связи с выходом из строя части измерительных приборов на спутнике SDO.

Мы собрали данные о 21 вспышке класса >M5 (наблюдения 2011-2012). и проанализировали их в линиях 30.4 нм и 9.4 нм и интервале 0.1-0.8 нм.

14 из этих 21 крупных вспышек (помечены символом К в первой колонке табл.1) оказались подобными вспышке 23.01.2012, в которой усиление потоков началось с корональной линии 9.4 нм и интервала 0.1-0.8 нм. В качестве примера такой вспышки рассмотрим вспышку X1.9 в соответственных УФ-линиях и репттеновском интервале, произошелшую 03.11.2011 (см., рис.6).

На рис.6 представлена вспышка 03.11.2011 класса X1.9, довольно длительная по времени (около полутора часов) и характеризующаяся значительной полной энергией, пришелшей от нее на Землю в диапазоне 0.1-0.8 нм - $E_{0.1-0.8} = 0.167 \ Дж/м^2$. В верхней части рис.6 приводится та же вспышка в линиях 30.4 нм и 9.4 нм. Сравнение временных потоков от вспышки 03.11.11 в интервале 0.1-0.8 нм и в линиях 30.4 нм и 9.4 нм показало, что начальное усиление вспышки происходит в короне, а через 3-4 мин в переходной области. При этом максимум вспышки совпадает по времени в обеих линиях и диапазоне 0.1-0.8 нм.

Анализ 6 крупных вспышек из исследуемых дваднати одной (помеченные символами К, ПО в табл.1) показал, что для этих вспышек усиление потоков происходит примерно в одно время (с точностью до 1 мин) в исследуемых линиях и рентгеновском интервале. В качестве примера такой вспышки



Рис.6. Вспышка Х1.9 от 03.11.11.

рассмотрим вспышку 09.03.2011 (см., рис.7). Видно, что эта вспышка не очень длительная (менее часа), и соответственно, не очень круппая по энергетике.

Сравнение временных потоков от вспышки 09.03.11 в интервале 0.1-0.8 нм и в линиях 30.4 пм и 9.4 нм показало, что начальное усиление вспышки происходит практически одновременно и в короне, и в нереходной области. Максимум вспышки немпого запаздывает в линии 9.4 пм.

У олной из самых небольших вспышек МЗ.5, произошелшей 24.02.2011 и



Рис.7. Вспышка X1.2 от 09.03.11.

длящейся около часа (помечена символом ПО в табл.1), четко видно, что усиление начинается с нижней части атмосферы в линии переходной области 30.4 нм, и позже, через 2-3 мин - в корональной линии 9.4 нм и интервале 0.1-0.8 нм (см., рис.8).

Таким образом, прослеживается связь между энергией вспышки и областью ее первичного энерговылеления. Очевидно, что требуется увеличение массива исследуемых вспышек путем добавления более слабых вспышек, начиная с вспышек класса ≥ M1, для подтверждения предположения, что у вспышек с малой энергией область первичного энерговыделения находится не в короне, а в хромосфере и переходной области.

Параметры 21 вспышки, которые мы рассматриваем в настоящей работе,



Рис.8. Вспышка МЗ.5 от 24.02.11.

представлены в табл.1. Для каждой вспышки приволятся данные об уровне фонового потока, величине и времени начала и максимума вспышек в лиапазоне 0.1-0.8 нм.

Вспышки из нашей выборки относятся к относительно круппым вспышкам 2011-2012гг. Полчеркнем, что в табл.1 они расположены по мере убывания полной энергии, излученной в диапазоне 0.1-0.8 нм. Энергия Е_{9,1-08} рассчитана лля кажной вспышки в диапазоне 0.1-0.8 нм как площаль под временной кривой потока от вспышки за вычетом фонового потока. Для вспышек 06.09.2017 и 10.09.2017 эти площади под заштрихованными кривыми, соответствующие полной энергии Е_{9,1-08} показаны на рис.1, 3 (к сожалению,

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ 21 КРУПНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК 2011-2012гг. ПО НАБЛЮДЕНИЯМ GOES-15 В ДИАПАЗОНЕ 0.1-0.8 нм

Дата вспышки/ Обл. первичного энерговыделения	Уровень фона (W/м)/время	Начало вспышки (W/м²)/время	Максимум всяынки (W/м ²)/время	Е _{0.1-0.8} (Дж/м ²)
22.09.11/K	1.05E-6/09:00	7.4E-6/10:35	1.5E-4/11:00	0.756
15.02.11/K	1.12E-6/01:44	1.25E-6/01:47	2.3E-4/01:56	0.2628
09.08.2011/K	8E-7/07:45	1E-6/08:00	7.4E-4/08:05	0.2574
08.03.2011/К, ПО	I.4E-6/18:05	2.0E-6/18:10	4.45E-5/18:27	0.0806
07.03.2011/K	2.2E-6/19:20	3.73E-6/20:12	5.0E-5/20:42	0.179
03.11.2011/K	2.06E-6/20:06	2.35E-6/20:17	2.04E-4/20:27	0.168
03.08.2011/K	1.3E-6/17:45	2E-6/18:10	4.44E-5/18:28	0.148
24.09.2011/K	1.8E-6/09:31	4.00E-6/9:34	1.91E-4/09:40	0.143
06.09.2011/K	1.8E-6/22:03	2.02E-6/22:13	2.16E-4/22:20	0.118
04.08.2011/K	6E-7/03.43	2E-6/03:44	9.5E-5/03:57	0.112
07.09.2011/K, IIO	6.0E-7/22:13	3.0E-6/22:35	1.8E-4/22:38	0.1008
08.03.11-1/K	1.87E-6/10:33	3E-6/10:30	5.42E-5/10:44	0.0803
09.03.11/K, IIO	2.4E-6/23:00	3.0E-6/23:16	1.58E-4/23:23	0.107
13.02.2011/K	6.5E-7/17:26	2.0E-6/17:32	6.9E-5/17:38	0.072
25.09.2011/K	3E-6/14:55	6E-6/15:22	3.7E-5/15:43	0.064
08.09.2011/K	5E-7/15:31	1E-6/15:36	6.76E-5/15:46	0.059
18.02.2011/K	1.2E-6/09:44	3.0E-6/10:11	7.38E-5/10:12	0.053
26.12.2011/110	1.13E-6/20:00	1.6E-6/20:15	2.4E-5/20:30	0.0422
24.02.2011/K, IIO	4.0E-7/07:22	1.0E-6/07:26	3.55E-5/07:35	0.0421
14.03.2011/К, ПО	5.0E-7/19:32	3.0E-6/19:46	4.43E-5/19:52	0.022
31.12.2011/К, ПО	6.8E-7/13:09	1.7E-6/13:12	2.49E-5/13:15	0.0126

в 2017г. данных УФ-наблюлений SDO/EVE нет).

В табл.1 мы разделили вспышки по области первичного энерговыделения. Символ К в первом столбне табл.1 соответствует вспышкам, гле усиление вспышенных потоков началось с короны. Символы К, ПО вместе соответствуют вспышкам, гле усиление вспышечных потоков происходит примерно одновременно как в короне, так и в переходной области.

Олна вспышка 24.02.2011 класса M3.5 с символом ПО соответствует более раннему усилению потока в линии переходной области 30.4 нм, а затем в корональной линии 9.4 нм и интервале 0.1-0.8 нм.

Видно, величина энергин Е_{0.1-0.8} (пятая колонка табл.1), пришедшая от вспышки, связана с начальной фазой развития вспышечного процесса - в какой по высоте части атмосферы начинается усиление в линиях. Из табл.1 следует, что для более энергичных вспышек усиление начинается с короны. Для менее энергичных вспышка начинается либо в короне, либо одновременно в короне и переходной области. Для одной из самых слабых вспышек в данной выборке, занимающей 19 место из 21, усиление вспышечного потока начинается в нижней части атмосферы. Подобная зависимость от класса вспышки (его амплитуды в максимуме - четвертая колонка табя.1) не столь очевидна, так как мощные вспышки рентгеновского класса X могут быть кратковременными, при этом более длительные вспышки класса M могут характеризоваться большими значениями $E_{0.1,0.0}$.

5. Взаимосвязь энергий, излученных вспышкой, в линиях 30.4 нм и 9.4 нм и диапазоне 0.1-0.8 нм. В табл.2 приводятся всличины полной энергии, пришедшей на Землю от 25 крупных вспышек в линиях 30.4 нм, 9.4 нм, а также лиапазоне 0.1-0.8 нм. Всличины энергии $E_{0.1-0.8}$, $E_{30.4}$ и $E_{9.4}$ рассчитаны для кажлой вспышки как площадь под временной кривой потока излучения от вспышки за вычетом фонового потока. В первой колонке рядом с датой вспышки помечены вспышки, сопровождающиеся выбросом протонов (пр).

Таблица 2

Дата вспышки	Е _{0.1-08} (Дж/м ²)	Е ₃₀₄ (Дж/м ²)	E _{9.4} (Дж/м ²)
12.07.2012 up	0.792	0.956	0.118
22.09.2011 пр	0.756	0.66	0.097
23.01.2012 пр	0.389	0.91	0.1123
15.02.2011 пр	0.263	0.27	0.028
09.08.2011 up	0.257	0.099	0.0187
07.03.2011 пр	0.179	0.274	0.024
03.11.2011 np	0.168	0.126	0.0203
03.08.2011 np	0.148	0.183	0.0205
24.09.2011 np	0.143	0.11	0.021
31.12.2011 пр	0.126	0.035	0.0031
23.10.2012 np	0.1188	0.084	0.0195
06.09.2011 пр	0.118	0.124	0.0116
04.08.2011 np	0.112	0.237	0.256
09.03.2011 np	0.107	0.127	0.016
07.09.2011 пр	0.101	0.197	0.0154
08.03.2011-2	0.081	0.012	0.0179
08.03.2011-1	0.080	0.081	0.0124
13.02.2011	0.072	0.101	0.082
25.09.2011	0.064	0.0761	0.0078
08.09.2011 пр	0.059	0.153	0.009
18.02.2011	0.053	0.103	0.006
26.12.2011	0.042	0.065	0.0054
24.02.2011	0.042	0.095	0.0115
14.03.2011	0.022	0.057	0.0045
20.10.2012	0.064	0.594	0.0098

ВЫЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ЭНЕРГИЙ 25 КРУПНЫХ ВСПЫШЕК 2011-2012гг. ПО ДАННЫМ GOES-15 И SDO/EVE

Табл.2 лемонстрирует, что величина энергии вспышки связана с тем, булет ли вспышка сопровожлаться протонным событием. Величина Е равная примерно 0.1 Дж/м², является примерным значением, ниже которого вспышки, вероятно, не связаны с послелующим выбросом протонов.

На рис.9 показана зависимость межлу эпергиями $E_{0,1-0,8}$, $E_{10,4}$ и $E_{9,4}$. Мы видим достаточно тесную связь межлу вычисленными величинами энергий. Очевилно, что добавление новых вспышек, характеризующихся большими значениями энергий (вспышек, произошедших до середины 2014г., когда одновременно с наблюдениями GOES-15 проводились полноценные наблюдения в УФ-линиях SDO/EVE), позволит уточнить зависимости, представ-



Рис.9. Взаимосвязь между полной энергией, излученной вспышкой в УФ-линиях 30.4, 9.4 нм и Х-диацазоне 0.1-0.8 нм. Кружки относятся к линии 30.4 нм, звездочки к линии 9.4 нм. Круппые полые кружки и звездочки обозначают, что вспышки сопровождались выбросом протонов.

ленные на рис.9. Поскольку данные наблюдений GOES 0.1-0.8 нм доступны практически в режиме реального времени, а наблюдения SDO/EVE в Уфлиниях прервались в середине 2014г., связь между энергиями становится актуальной для оценки энергий, излученных в линиях, по величине $E_{0.1-0.8}$.

6. Выводы.

1. 24 пикл характеризуется низкой вспышечной активностью. Число крупных вспышек было примерно в 2 раза меньше, чем в циклах 22 и 23. Самые сильные вспышки в сентябре 2017г. характеризовались классами Х9.4 и Х8.3, тогда как в 23 цикле были вснышки баллов Х13-Х17.

2. Наиболее важной характеристикой вспышек является полная энергия,

поступнившая от вспышки на м² земной поверхности: энергия вспышки является входным параметром для анализа воздействия вспышки на верхнюю атмосферу Земли.

Энергии вспышек в линиях перехолной области 30.4 нм и короны 9.4 нм тесно взаимосвязаны между собой и с потоком в рентгеновском дианазоне 0.1-0.8 нм, тогла как амплитулы вспышек в этих линиях и рентгеновском интервале не показывают четкой взаимосвязи. Величина эпергии вспышки определяет, является ли вспышка протонной: начиная с $E_{0.1-0.8} \ge 0.1 \text{ Дж/m}^2$, вспышки сопровожлаются выбросом протонов.

3. Энергия вспышки связана с областью первичного усиления потока вспышечного излучения (по анализу линий перехолной области 30.4 нм и короны 9.4 нм, а также в рентгеновском лиапазоне 0.1-0.8 нм) - чем больше энергия вспышки, тем более вероятно, что область первичного усиления находится в короне.

МГУ им. М.В.Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, Россия, e-mail: red-field@yandex.ru brouev@sai.msu.ru

THE MOST POWERFUL SOLAR FLARES IN SEPTEMBER 2017. THE COMPARISON WITH THE LARGEST FLARES OF CYCLE 24

E.A.BRUEVICH, V.V.BRUEVICH

The Sun's flare activity in the 24 cycle is studied. The satellite observations of GOES-15 X-ray fluxes and of SDO/EVE UV-radiation were used. The most powerful flares of cycle 24 of X9.3 and X8.2 classes, which occurred in September. 2017, are discussed in comparison with the large flares of 24-th cycle of classes M5-X6.9. For 21 large flares we have made the comparison of starting time of flares in the EUV-lines 30.4 nm and 9.4 nm and in the X-ray interval 0.1-0.8 nm. For 25 flares in 2011 and 2012 the have calculated the values of the total energy that came from the flares to the Earth in the lines 30.4 nm and 9.4 nm, and in the X-ray interval 0.1-0.8 nm - $E_{30.47}$, $E_{9.4}$ and $E_{0.1-0.87}$. It is shown that calculated energy of the flares in the lines SDO/EVE and X-interval GOES-15 are closely interrelated.

Key words: Sun: cycle 24: flare activity: Flares: flare evolution in different lines: full flare energy

ЛИТЕРАТУРА

- Р.Г. Гериберг, Активность солнечного типа звезд главной последовательности, Одесса, Астропринт, 2002.
- 2. E.Shimanovskaya, V.V.Bruevich, E.A.Bruevich, Research in Astronomy and Astrophysics, 16, №9, 148, 2016.
- 3. И.П.Шарыкин, А.Б.Струминский, И.В.Зимовец. Письма в Астрон. ж., 41. 15, 2015.
- 4. Л.П.Бабин, Э.А.Барановский, А.П.Коваль, Изв. КрАО, 112, 15, 2016.
- 5. Е.А.Бруевич, Г.В.Якунина, Астрофизика, 60, 419, 2017, (Astrophysics, 60, 396, 2017).
- MILI "Preliminary Current Catalog of Solar Flare Events with X-ray Classes M1-X17.5 24 cycle of Solar Activity (1.2009-11.2017)", http://www.wdcb.ru/ stp/data/Solar_Flare_Events/Fl_XXIV.pdf.
- 7. National Geophysical Data Center, Solar Data Service, https://www.ngdc.noaa. gov/stp/solar/sgd.html.
- 8. GOES-15, http://www.n3kl.org/sun/noaa_archive/.
- 9. SDO DATA, http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/dataaccess.php.
- 10. J.R.Lemen et al., Solar Phys., 275, 17, 2012.
- 11. Г.С.Иванов-Холодный, Г.М.Пикольский, Солице и ионосфера, М., Наука, 1969.

