

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 наблюдений рентгеновских потоков GOES-15, линий УФ-излучения эксперимента SDO/EVE. Самые мощные вспышки 24 цикла классов X9.3 и X8.2, произошедшие в сентябре 2017г., рассматриваются в сравнении с крупными вспышками классов M5-X6.9. Для 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, пришедшей от вспышек на Землю в линиях 30.4 нм и 9.4 нм, а также в рентгеновском интервале 0.1-0.8 нм - $E_{30.4}$, $E_{9.4}$ и $E_{0.1-0.8}$. Показано, что энергии вспышек, рассчитанные в анализируемых линиях SDO/EVE и рентгеновском 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, наблюдаемые 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 ее производства современными темпами). При этом Солнце в ряду звезд с активностью солнечного типа (например, вспыхивающие звезды типа UV Кита) отличается относительно низкой вспышечной активностью [1,2].

Текущий 24 цикл 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 цикле согласно рентгеновской классификации, базирующейся на измерениях спутников серии GOES (классы >M1 соответствуют вспышкам с амплитудой более $1 \cdot 10^{-5}$ Вт/м² в диапазоне 0.1-0.8 нм), за весь цикл набралось около 800, тогда как в предыдущие, более сильные циклы 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 обладающая не совсем стандартными характеристиками для такой крупной

вспышки, в частности, по количеству энергии, поступившей на Землю в соответствующем рентгеновском диапазоне 0.1-0.8 нм, она не вошла даже в первую десятку. До сентября 2017г. вспышка 09.08.2011 была самой значительной в 24 цикле. Особенности этой вспышки класса X6.9 детально 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 площадью 70 МДП (1 МДП - 10^6 видимой полусферы Солнца), и число пятен, равным 1. Через двое суток площадь группы уменьшилась до 60 МДП, число пятен увеличилось до 4, магнитная конфигурация усложнилась. 3 сентября группа достигла центрального меридиана с площадью 130 МДП, число пятен превысило 10. На следующие сутки площадь 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 площадью 880 МДП уже находилась в западной полушарии вблизи центрального меридиана. В 12.10 МСК в группе зарегистрирована вспышка X2.2 продолжительностью 20 мин, а в 15.02 МСК зарегистрирована еще одна более мощная вспышка X9.3, продолжавшаяся 17 мин, (см. рис.1, 2). Обе вспышки сопровождалась протонными событиями. За последние двадцать лет были зарегистрированы лишь пять вспышек большей амплитуды, чем вспышка X9.3, а последняя из них класса X17.0 произошла почти ровно 12 лет назад - 7 сентября 2005г.

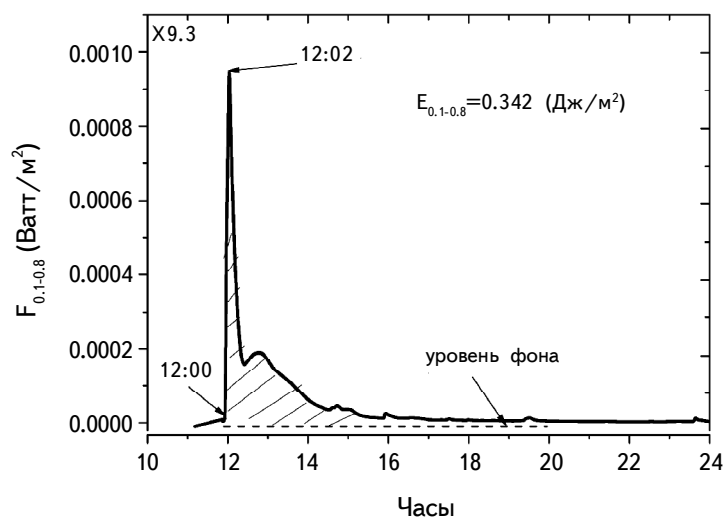


Рис.1. Вспышка 06.09.2017 - максимальная по рентгеновской классификации в 24 цикле - X9.3. По оси X - гринвичское время GMT.

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 площадь интеграла под заштрихованной временной кривой потока в диапазоне 0.1-0.8 нм с учетом уровня фона.

06.09.2017 в 12.55 по гринвичскому времени, на фоне продолжающегося вторжения протонов от вспышки M5.5, началось вторжение потоков протонов от вспышки X9.3 в широком диапазоне 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 данным наблюдений потоков протонов на спутнике GOES-15 в диапазонах ≥ 10 МэВ и ≥ 100 МэВ. Видно, что после достижения максимума протонов с энергиями ≥ 100 МэВ в 12.35 GMT, начался постепенный спад потока протонов. Для протонов с энергиями ≥ 10 МэВ усиление потока протонов от данной вспышки практически незаметно наложилось на увеличенный поток протонов от вспышек 4 сентября, после чего началось дальнейшее увеличение потока протонов с энергиями ≥ 10 МэВ.

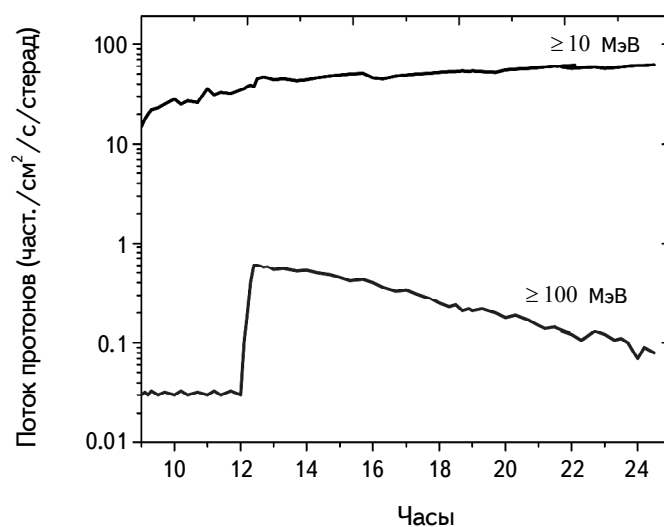


Рис.2. Вспышка 06.09.2017. Сверху - поток протонов с энергиями ≥ 10 МэВ, снизу - поток протонов с энергиями ≥ 100 МэВ.

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

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

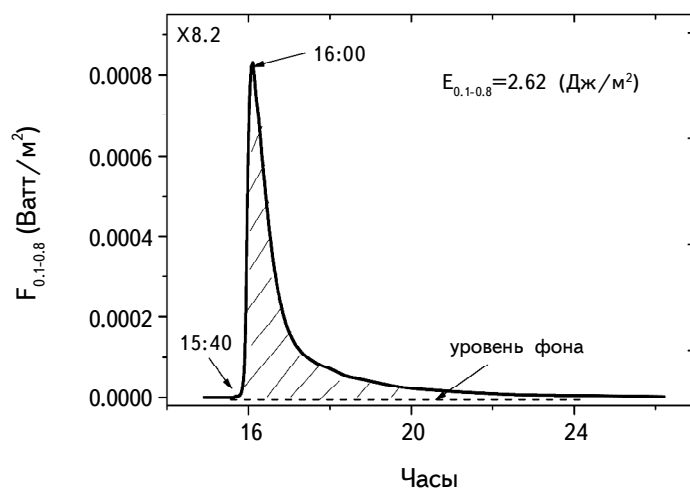


Рис.3. Вспышка 10.09.2017 - одна из двух максимальных по рентгеновской классификации в 24 цикле. По оси X - гринвичское время GMT.

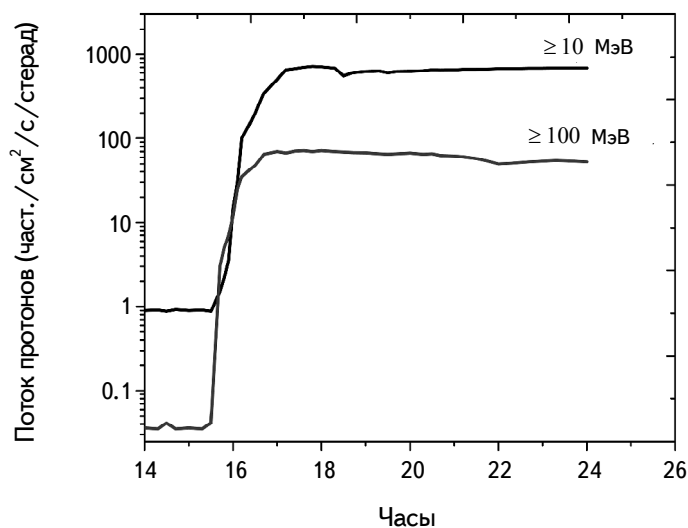


Рис.4. Вспышка 10.09.2017. Сверху - поток протонов с энергиями ≥ 10 МэВ, снизу - поток протонов с энергиями ≥ 100 МэВ.

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, следовавшее за вспышкой X9.3 от 06.09.2017.

Усиление потоков протонов во вспышке 10 сентября достигло рекордных показателей в этом цикле как для протонов с энергиями ≥ 10 МэВ, так и для более жестких протонов ≥ 100 МэВ. Потоки протонов во вспышке 10 сентября превышали потоки протонов во вспышке 6 сентября более чем на порядок (см., рис.4), что явилось рекордом по величине во всем 24 цикле. Воздействие этих протонов на атмосферу Земли было грандиозным: магнитные бури, следовавшие за этой вспышкой, также были рекордными по величине и длительности. K_p - индекс, характеризующий степень возмущения магнитосферы 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.

Подчеркнем, что в 24 цикле такие мощные вспышки произошли на фоне солнечного минимума. Активная область 7623 просуществовала в течение еще двух 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 цикле в сравнении с циклами 21-23 отмечается слабая вспышечная активность - всего 133 вспышки X-класса $>M5.0$, из них 49 вспышек X-класса $>X1$. Наибольшее количество всех вспышек наблюдалось вблизи первого и второго максимумов цикла (при этом из 10 самых крупных вспышек только две произошли на ветви спада - это самые крупные вспышки 24 цикла, произошедшие 06.09.17 и 10.09.17) (см., [5,6]). Если сравнить с циклами 21-23, то наиболее крупные рентгеновские вспышки X-класса $>X15$ наблюдались на ветвях 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). Наблюдения 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 диапазоне GOES-15 - 0.1-0.8 нм и в 5 линиях SDO/EVE для крупной вспышки класса M8.8, длящейся более 4ч. Это одна из самых крупных вспышек по величине полной энергии ($E_{0.1-0.8}=0.389$ Дж/м²) в 24 цикле. На рисунке видны характерные моменты перегиба кривой, соответствующие началу вспышки и ее 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 построения графиков. Видно, что характерный временной профиль вспышки в интервале наблюдений GOES-15 0.1-0.8 нм более всего соответствует временному профилю

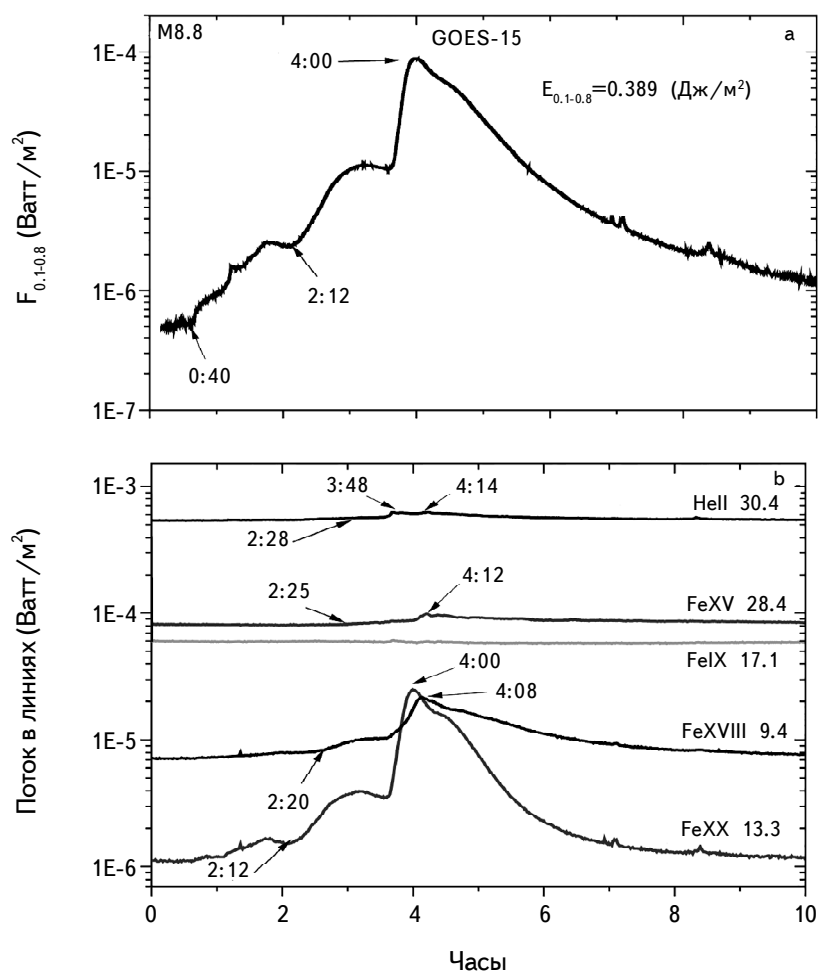


Рис.5. Вспышка M8.8 от 23.01.12. а - поток в интервале GOES-15 0.1-0.8 нм; б - потоки в УФ-линиях SDO/EVE.

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 $T \sim 10^7$ К, излучение в интервале 0.1-0.8 нм формируется примерно в этой же части короны [10,11].

Как видно из рис.5 для данной вспышки 23.01.2012 раньше происходит усиление в корональных 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 нм, с областью первичного энерговыделения.* Для дальнейшего анализа определения области первоначального энерговыделения для 21 вспышки мы выбрали линии 30.4 нм и 9.4 нм. С одной стороны, эти линии формируются на разной высоте в атмосфере Солнца (30.4 нм - линия переходной области, 9.4 нм - корональная линия). С другой стороны, эти линии обладают дополнительными полезными свойствами: линия 30.4 нм - одна из самых сильных в УФ-диапазоне и играет заметную роль в формировании ионосферы Земли, линия 9.4 нм - очень чувствительна к вспышечной активности Солнца и при этом на порядок интенсивнее подобной линии 13.3 нм. К сожалению, ряды наблюдений в линиях 30.4 нм и 9.4 нм прервались в мае 2014 г. в связи с выходом из строя части измерительных приборов на спутнике SDO.

Мы собрали данные о 21 вспышке класса $>M5$ (наблюдения 2011-2012 гг.) 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 соответствующих УФ-линиях и рентгеновском интервале, произошедшую 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, пришедшей от нее на Землю в диапазоне 0.1-0.8 нм - $E_{0.1-0.8} = 0.167$ Дж/м². 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 двадцати 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

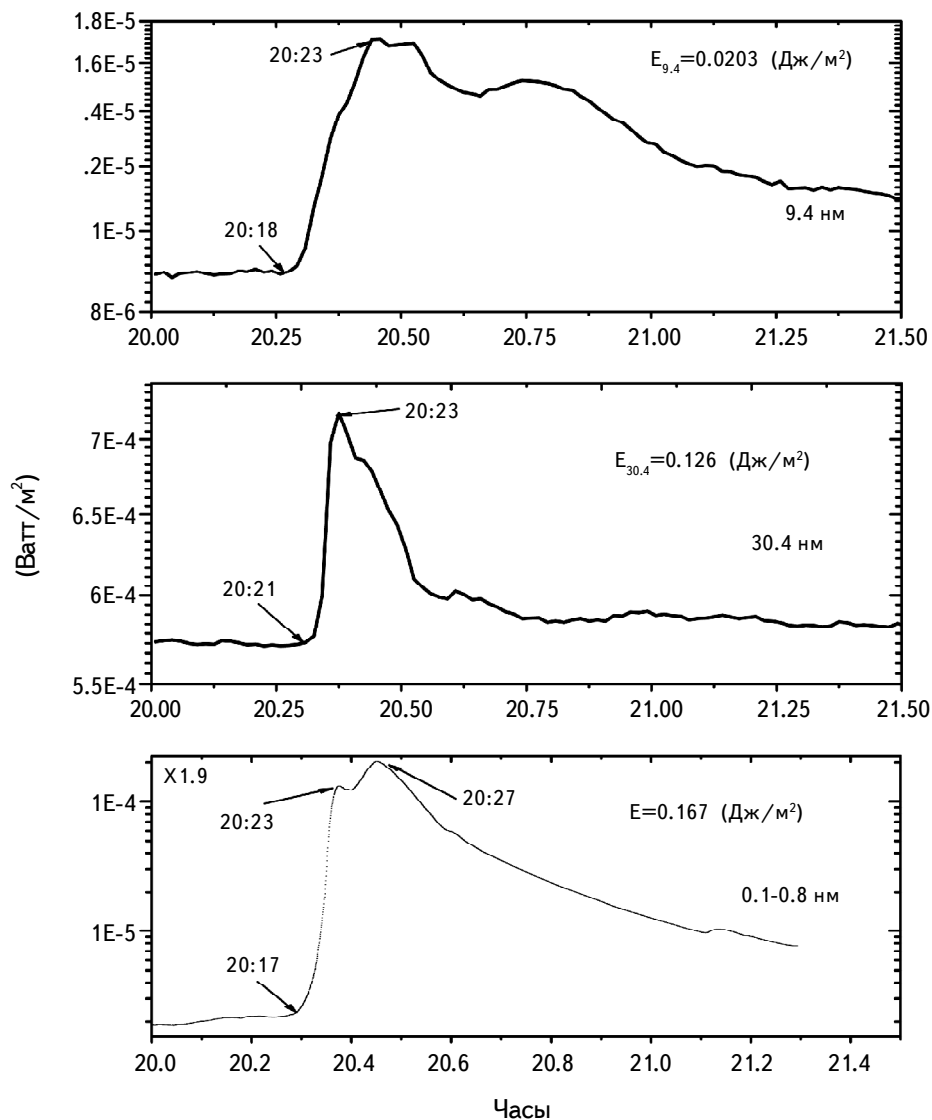


Рис.6. Вспышка X1.9 от 03.11.11.

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

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

У одной из самых небольших вспышек М3.5, произошедшей 24.02.2011 и

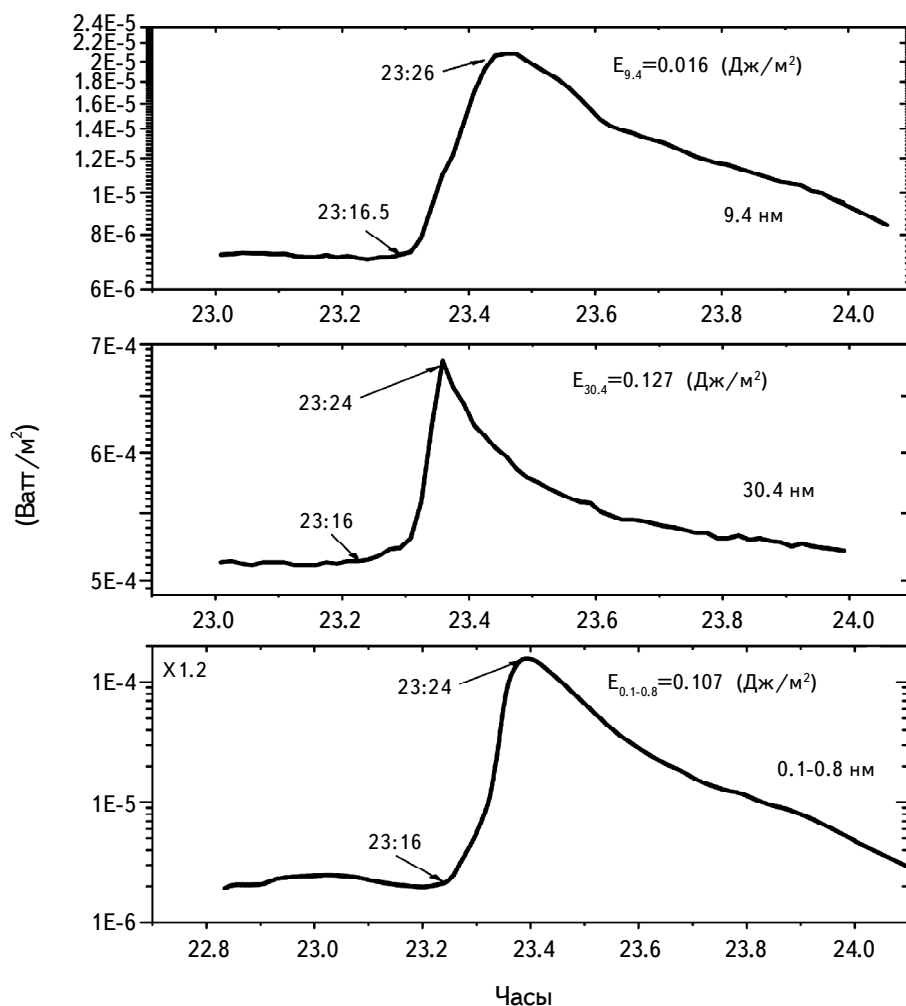


Рис.7. Вспышка X1.2 от 09.03.11.

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 энергосвечения. Очевидно, что требуется увеличение массива исследуемых вспышек путем добавления более слабых вспышек, начиная с вспышек класса $\geq M1$, для подтверждения предположения, что у вспышек с малой энергией область первичного энергосвечения находится не в короне, а в хромосфере и переходной области.

Параметры 21 вспышки, которые мы рассматриваем в настоящей работе,

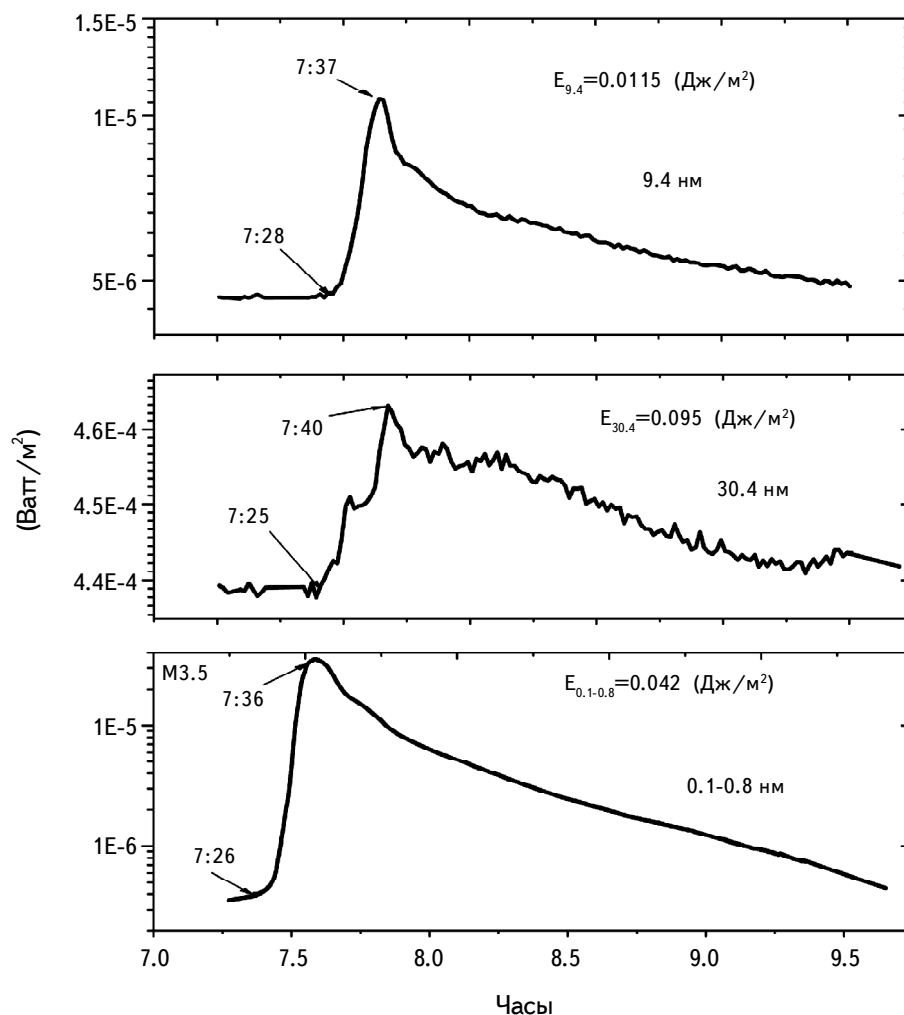


Рис.8. Вспышка M3.5 от 24.02.11.

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

Вспышки из нашей выборки относятся к относительно крупным вспышкам 2011-2012 гг. Подчеркнем, что в табл.1 они расположены по мере убывания полной энергии, излученной в диапазоне 0.1-0.8 нм. Энергия $E_{0.1-0.8}$ рассчитана для каждой вспышки в диапазоне 0.1-0.8 нм как площадь 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 $E_{0.1-0.8}$, 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 энерговыведения	Уровень фона (W/м ²)/время	Начало вспышки (W/м ²)/время	Максимум вспышки (W/м ²)/время	E _{0.1-0.8} (Дж/м ²)
22.09.11/К	1.05E-6/09:00	7.4E-6/10:35	1.5E-4/11:00	0.756
15.02.11/К	1.12E-6/01:44	1.25E-6/01:47	2.3E-4/01:56	0.2628
09.08.2011/К	8E-7/07:45	1E-6/08:00	7.4E-4/08:05	0.2574
08.03.2011/К, ПО	1.4E-6/18:05	2.0E-6/18:10	4.45E-5/18:27	0.0806
07.03.2011/К	2.2E-6/19:20	3.73E-6/20:12	5E-5/19:42	0.179
03.11.2011/К	2.06E-6/20:06	2.35E-6/20:17	2.04E-4/20:27	0.168
03.08.2011/К	1.3E-6/17:45	2E-6/18:10	4.44E-5/18:28	0.148
24.09.2011/К	1.8E-6/09:31	4.00E-6/9:34	1.91E-4/09:40	0.143
06.09.2011/К	1.8E-6/22:03	2.02E-6/22:13	2.16E-4/22:20	0.118
04.08.2011/К	6E-7/03:43	2E-6/03:44	9.5E-5/03:57	0.112
07.09.2011/К, ПО	6.0E-7/22:13	3.0E-6/22:35	1.8E-4/22:38	0.1008
08.03.11-1/К	1.87E-6/10:33	3E-6/10:30	5.42E-5/10:44	0.0803
09.03.11/К, ПО	2.4E-6/23:00	3.0E-6/23:16	1.58E-4/23:23	0.107
13.02.2011/К	6.5E-7/17:26	2.0E-6/17:32	6.9E-5/17:38	0.072
25.09.2011/К	3E-6/14:55	6E-6/15:22	3.7E-5/15:43	0.064
08.09.2011/К	5E-7/15:31	1E-6/15:36	6.76E-5/15:46	0.059
18.02.2011/К	1.2E-6/09:44	3.0E-6/10:11	7.38E-5/10:12	0.053
26.12.2011/ПО	1.13E-6/20:00	1.6E-6/20:15	2.4E-5/20:30	0.0422
24.02.2011/К, ПО	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-наблюдений SDO/EVE нет).

В табл.1 мы разделили вспышки по области первичного энерговыведения.

Символ К в первом столбце табл.1 соответствует вспышкам, где усиление вспышечных потоков началось с короны. Символы К, ПО вместе соответствуют вспышкам, где усиление вспышечных потоков происходит примерно одновременно как в короне, так и в переходной области.

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

Видно, величина энергии E_{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 табл.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 $E_{0.1-0.8}$.

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 величины полной энергии, пришедшей на Землю от 25 крупных вспышек в линиях 30.4 нм, 9.4 нм, а также диапазоне 0.1-0.8 нм. Величины энергии $E_{0.1-0.8}$, $E_{30.4}$ и $E_{9.4}$ рассчитаны для каждой 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

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

Дата вспышки	$E_{0.1-0.8}$ (Дж/м ²)	$E_{30.4}$ (Дж/м ²)	$E_{9.4}$ (Дж/м ²)
12.07.2012 пр	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 пр	0.257	0.099	0.0187
07.03.2011 пр	0.179	0.274	0.024
03.11.2011 пр	0.168	0.126	0.0203
03.08.2011 пр	0.148	0.183	0.0205
24.09.2011 пр	0.143	0.11	0.021
31.12.2011 пр	0.126	0.035	0.0031
23.10.2012 пр	0.1188	0.084	0.0195
06.09.2011 пр	0.118	0.124	0.0116
04.08.2011 пр	0.112	0.237	0.256
09.03.2011 пр	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

Табл.2 демонстрирует, что величина энергии вспышки связана с тем, будет ли вспышка сопровождаться протонным событием. Величина $E_{0.1-0.8}$, равная примерно 0.1 Дж/м^2 , является примерным значением, ниже которого вспышки, вероятно, не связаны с последующим выбросом протонов.

На рис.9 показана зависимость между энергиями $E_{0.1-0.8}$, $E_{30.4}$ и $E_{9.4}$. Мы видим достаточно тесную связь между вычисленными величинами энергий. Очевидно, 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-

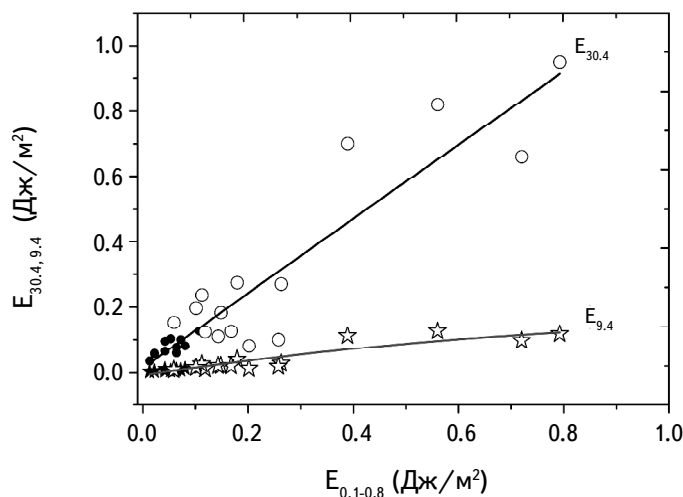


Рис.9. Взаимосвязь между полной энергией, излученной вспышкой в УФ-линиях 30.4, 9.4 нм и X-диапазоне 0.1-0.8 нм. Круги относятся к линии 30.4 нм, звездочки к линии 9.4 нм. Крупные полые круги и звездочки обозначают, что вспышки сопровождались выбросом протонов.

ленные на рис.9. Поскольку данные наблюдений GOES 0.1-0.8 нм доступны практически в режиме реального времени, а наблюдения SDO/EVE в УФ-линиях 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 цикл 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 X9.4 и X8.3, тогда как в 23 цикле были вспышки баллов X13-X17.

2. Наиболее важной характеристикой вспышек является полная энергия,

поступившая от вспышки на m^2 земной поверхности: энергия вспышки является входным параметром для анализа воздействия вспышки на верхнюю атмосферу Земли.

Энергии вспышек в линиях переходной области 30.4 нм и короны 9.4 нм тесно взаимосвязаны между собой и с потоком в рентгеновском диапазоне 0.1-0.8 нм, тогда как амплитуды вспышек в этих линиях и рентгеновском интервале не показывают четкой взаимосвязи. Величина энергии вспышки определяет, является ли вспышка протонной: начиная с $E_{0.1-0.8} \geq 0.1 \text{ Дж/м}^2$, вспышки сопровождаются выбросом протонов.

3. Энергия вспышки связана с областью первичного усиления потока вспышечного излучения (по анализу линий переходной области 30.4 нм и короны 9.4 нм, а также в рентгеновском диапазоне 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

Е.А.БРУЕВИЧ, В.В.БРУЕВИЧ

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 we 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 - $E_{30.4}$, $E_{9.4}$ and $E_{0.1-0.8}$. 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

1. *Р.Е.Гершберг*, 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.Н.Шарыкин, А.Б.Струминский, И.В.Зимовец*, Письма в Астрон. ж., **41**, 15, 2015.
4. *А.Н.Бабин, Э.А.Барановский, А.Н.Коваль*, Изв. КрАО, **112**, 15, 2016.
5. *Е.А.Бруевич, Г.В.Якунина*, Астрофизика, **60**, 419, 2017, (Astrophysics, **60**, 396, 2017).
6. МЦД "Preliminary Current Catalog of Solar Flare Events with X-ray Classes M1-X17.5 24 cycle of Solar Activity (I.2009–II.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.Никольский*, Солнце и ионосфера, М., Наука, 1969.