

ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ СОЛНЦА И ВАРИАЦИИ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ В 24 ЦИКЛЕ

Е.А.БРУЕВИЧ, Г.В.ЯКУНИНА

Поступила 16 марта 2017

Принята к печати 7 июня 2017

Анализируются вспышечная активность Солнца и потоки в ультрафиолетовом диапазоне в 24-м цикле. В отличие от 21-23-го циклов, где самые мощные вспышки наблюдались на ветви спада, наиболее крупные вспышки ($>X2.7$) в 24-м цикле произошли на ветви роста и в максимуме. Регрессионные зависимости УФ-индексов от общего уровня излучения Солнца значительно различаются для 24-го цикла в сравнении с 21-23-м циклами. Обнаружено, что для вспышки 09.08.2011 (по наблюдениям SDO и GOES-15) распространение вспышки происходит по направлению от верхней короны к нижней короне и хромосфере. Исследование N-S асимметрии в распределении вспышек в 24-м цикле показало, что наблюдается сильное преобладание вспышек в N-полушарии в 2011 г. и в S-полушарии в 2014г. Найдено, что в 23 и 24-м циклах задержки начала протонных событий от начала вспышки, вызывающей это событие, характеризуются распределением с ярко выраженным максимумом, который соответствует задержке в 2 часа, как для протонов с энергиями >10 МэВ, так и с энергиями >100 МэВ.

Ключевые слова: *Солнце: 24 цикл: вспышки: вспышечный индекс: вариации
УФ-излучения: протонные события*

1. *Введение.* Анализ вспышечной активности и вариаций потоков в УФ-области спектра важен для исследования проблем солнечной и земной физики. Ускоренные частицы, генерируемые мощной вспышкой, являются фундаментальным фактором, влияющим на космическую погоду, имеющим множество практических приложений к задаче исследования физических процессов и в гелиосфере, и в атмосфере Земли.

1.1. *Особенности 24-го цикла активности.* Текущий солнечный цикл 24 является самым слабым солнечным циклом более чем за последние 100 лет. В настоящее время происходит переход к следующему минимуму солнечной активности между циклами 24 и 25, который ожидается примерно в 2018-2019гг. Солнечный цикл 24 продолжает тенденцию последних лет, характеризующуюся уменьшением числа солнечных пятен, которая началась с 21-го цикла, достигнув своего максимума примерно в 1980г. (см. рис.1). Многие ученые, занимающиеся прогнозом солнечной активности в NASA, полагают, что 25-й цикл будет примерно таким же или слабее, чем 24-й

цикл. В [1] проведено численное моделирование вариаций солнечной активности, с использованием данных наблюдений числа солнечных пятен за период 1750-2050гг. На основе представлений теории динамо решалось уравнение эволюции для ряда чисел Вольфа с учетом механизма формирования магнитных полей в солнечных пятнах. Результаты моделирования [1] хорошо коррелируют с наблюдениями и предсказывают длительный период низкой активности вплоть до 2050г., сходный с минимумом Дальтона.

На рис.1 показана зависимость вариаций числа солнечных пятен за 300 лет. Видно, что настоящий 24-й цикл активности относится к одним из самых низких, сравнимых с активностью в эпоху минимума Дальтона. Ожидается, что циклы 25 и 26 также будут подобными циклу 24.

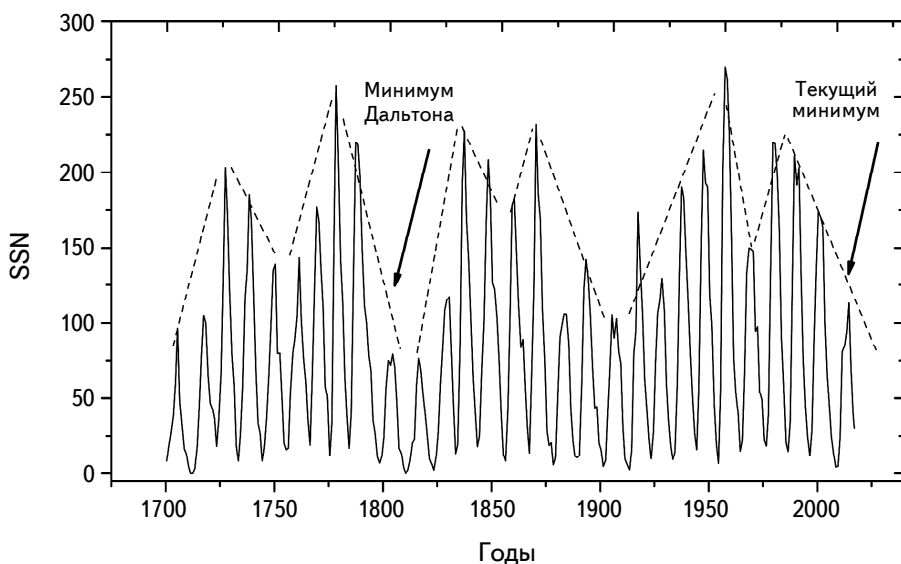


Рис.1. Среднегодовые значения чисел солнечных пятен (SSN) с 1700г. по настоящее время.

1.2. Активность Солнца в ультрафиолетовой области и вспышечная активность в 24-м цикле. Исследования в ультрафиолетовой (УФ) области спектра являются существенной частью изучения процессов развития солнечных вспышек. К УФ-области спектра электромагнитных волн относится диапазон от 5 до 400нм. УФ-фотоны поглощаются в верхних слоях атмосферы Земли, потоки солнечного излучения в коротковолновой области вызывают ионизацию и диссоциацию компонентов атмосферы, приводящих к образованию ионосферы. Солнечное УФ-излучение формируется в верхней хромосфере и переходной области, рентгеновское — в короне, потоки в этих диапазонах составляют сравнительно небольшую долю в общем потоке излучения. В отличие

от большинства звезд солнечного типа, Солнце характеризуется сравнительно небольшой запятненностью, умеренной вспышечной активностью и низким уровнем потока коронального излучения [2,3]. На этом фоне даже незначительные вариации потоков, связанные с появлением и исчезновением групп пятен в активных областях, с вариациями активности в солнечном цикле и крупными вспышками, вызывают заметные изменения ультрафиолетовых и рентгеновских индексов активности.

Потоки УФ-излучения, анализируемые в настоящей работе, изменяются на десятки процентов в масштабах времени от нескольких минут до нескольких часов (во время солнечных вспышек); на проценты за время от нескольких дней до нескольких месяцев (из-за перемещения активных областей по диску, вызванного вращением Солнца); и до двух раз за время от нескольких лет до десятков лет (вариации в солнечном цикле). Эта изменчивость вызывает аналогичные по амплитуде и времени изменения в ионосфере и верхней атмосфере Земли. Так как солнечное УФ-излучение, в основном, поглощается в верхних слоях атмосферы, его измерения проводятся с помощью аппаратуры, установленной на ракетах и спутниках. Из-за связанных с этим трудностей в течение многих лет использовались различные прогнозы потоков излучения в УФ-диапазоне с использованием корреляционных соотношений с числами солнечных пятен и с радиоизлучением на волне 10.7 см ($F_{10.7}$). Поток $F_{10.7}$ в настоящее время часто используется в качестве объективного индекса, определяющего текущий уровень активности Солнца, этот поток измеряется в sfu (solar flux units), 1 sfu соответствует потоку 10^{-22} Вт м⁻² Гц⁻¹. Таким образом, всесторонний анализ данных наблюдений солнечного УФ-излучения необходим, поскольку излучение в этой области солнечного спектра является важнейшим входным параметром при моделировании состояния ионосферы Земли и определяет космическую погоду в околоземном пространстве.

В [4] показано, что связь между УФ-индексами солнечной активности и общей активностью Солнца, определяемой по величине $F_{10.7}$, различается для циклов 21-23: изменяются величины коэффициентов регрессии. Коэффициент корреляции для линейной регрессии изменяется в течение одного цикла, дважды достигая максимумов во время фаз роста и спада цикла, и двух минимумов в течение минимума и максимума циклов [4].

На рис.2 приведены временные ряды ультрафиолетовых индексов активности и вспышечного индекса в сравнении с рядом $F_{10.7}$ - индикаторов общей активности солнечной атмосферы. Рис.2 показывает, что текущий 24-й цикл характеризуется примерно вдвое более низкими значениями амплитуд УФ-индексов и индекса вспышечной активности по сравнению с циклами 21-23, что соответствует текущей низкой солнечной активности в целом.

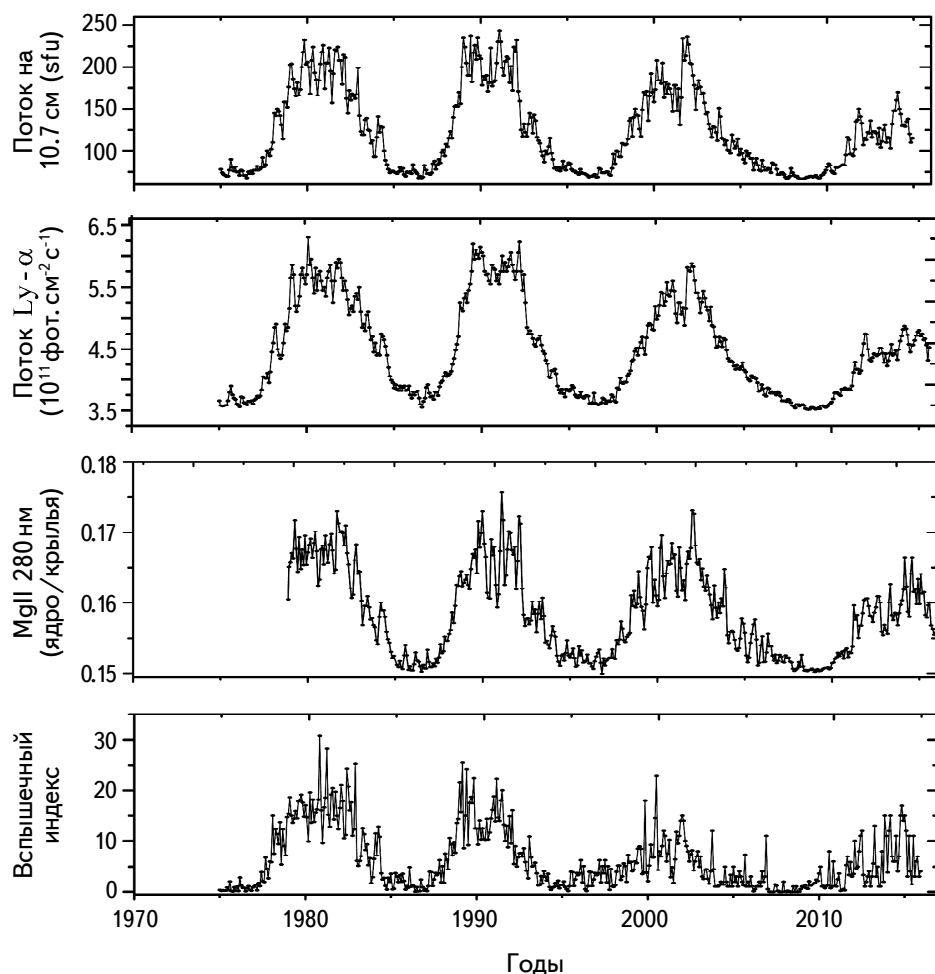


Рис.2. Циклические вариации потока $F_{10.7}$, $F_{Ly\alpha}$, Mg II 280 нм (ядро/крылья) и вспышечного индекса (Flare Index - FI) по наблюдениям в 21-24 циклах.

Целью работы является:

- анализ вариаций потоков УФ-излучения в линиях $Ly\alpha$ 121.6 нм и Mg II 280 нм, а также вспышечной активности Солнца в 24-м цикле;
- сравнение потоков в диапазоне длин волн от мягкого рентгеновского (данные со спутников серии GOES - диапазон 0.1-0.8 нм) до ультрафиолетового (данные по потокам в пяти УФ-линиях солнечной обсерватории SDO - Solar Dynamics Observatory) с целью проследить эволюцию процесса распространения в солнечной атмосфере самой крупной вспышки 24-го цикла;
- оценка задержки начала протонных событий от момента начала вспышек в диапазоне 0.1-0.8 нм, связанных с этими событиями по данным спутников GOES 13-15.

2. Потоки в УФ-области и вспышечная активность в 24-м цикле.

2.1. Поток ультрафиолетового излучения в линии Mg II 280 нм.

Индекс, характеризующий отношение потоков излучения в центре и в крыльях хромосферной линии Mg II (280 нм) непрерывно наблюдается с помощью аппаратуры, установленной на спутниках, с 1978г. Ядра линий дублета Mg II 279.56 и 280.27 нм формируются в хромосфере, но крылья, в основном, фотосферного происхождения. Этот индекс является хорошим индикатором состояния солнечной хромосферы. Наблюдается тесная связь с потоком в различных линиях и диапазонах солнечного излучения в УФ-области спектра [5,6], важных для моделирования состояния земной ионосферы. Индекс Mg II (ядро/крылья) измеряется в относительных величинах. Используются наблюдения [7].

На рис.3 показана зависимость потока ультрафиолетового излучения Mg II 280 нм от потока радиоизлучения на волне 10.7 см - индикатора уровня солнечной активности. Черными точками указана зависимость для 21-23-го циклов, полыми кружками - зависимость для 24-го цикла. Показаны линии квадратичных регрессий отдельно для 21-23-го циклов и 24-го цикла. Как видно из рис.3, эти регрессии сильно различаются: в 24-м цикле максимальные потоки составляли примерно половину величины от максимумов потоков в 21-23-м циклах, разброс величин в 24-м цикле больше, заметно различаются коэффициенты регрессии.

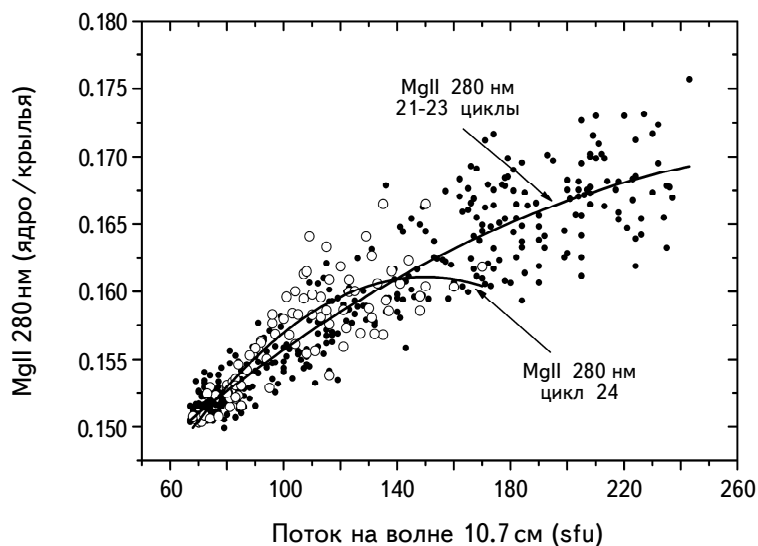


Рис.3. Зависимость потока ультрафиолетового излучения Mg II 280 нм (ядро/крылья) от потока радиоизлучения на волне 10.7 см.

2.2. Поток ультрафиолетового излучения в линии $L\alpha$ 121.6 нм.

Поток в линии водорода Лайман-альфа ($F_{L\alpha}$) от полного солнечного диска - важный индикатор, характеризующий состояние хромосферы и нижней части переходной области [8]. Индекс $F_{L\alpha}$ измеряется в 10^{11} фотон $\text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$. Используются наблюдения [9].

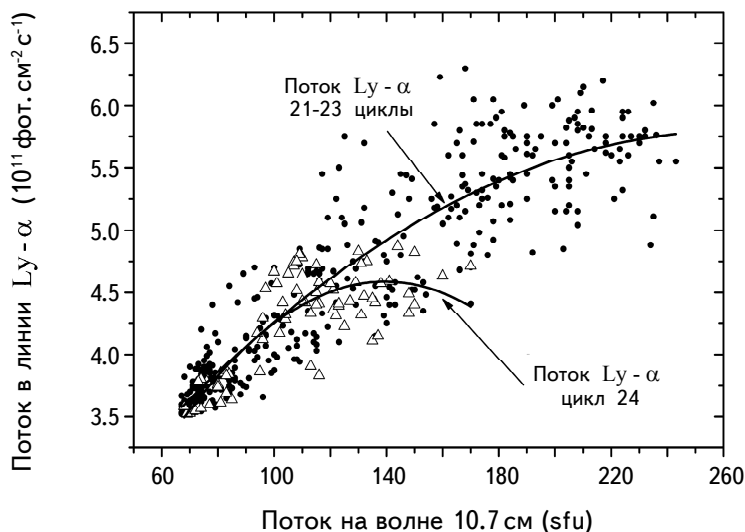


Рис.4. Зависимость потока ультрафиолетового излучения $F_{L\alpha}$ 121.6 нм от потока радиоизлучения на волне 10.7 см.

На рис.4 показана зависимость потока ультрафиолетового излучения $F_{L\alpha}$ 121.6 нм от потока радиоизлучения на волне 10.7 см. Черными точками указана зависимость для 21-23-го циклов, полыми треугольниками - зависимость для 24-го цикла. Отмечены линии квадратичных регрессий: для обеих зависимостей линии и коэффициенты регрессии различаются более явно, чем в случае с индексом $\text{Mg II } 280 \text{ нм}$.

2.3. *Вспышечный индекс в 24-м цикле.* Особенностью временных вариаций вспышечного индекса в конце XX - начале XXI вв. является то, что уже в 23-м цикле максимальная амплитуда FI уменьшилась вдвое по сравнению с циклами 21-22. Архивные данные FI с 1975 по 2008 гг. доступны на <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-indices>.

В 24-м цикле мы провели расчеты FI в соответствии с формулой вычисления FI из [10] с использованием данных о вспышечной активности, которые доступны на http://www.wdcb.ru/stp/data/Solar_Flare_Events/FI_XXIV.pdf, (см. рис.2). Показано, что амплитуда FI в цикле 24 уменьшилась еще в два раза по сравнению с 23 циклом.

На рис.5 приведена зависимость FI от потока радиоизлучения на волне 10.7 см. Черными точками указаны зависимости для 21-23-го циклов, полыми квадратами - зависимость для 24-го цикла. Отмечены линии квадратичных регрессий: видно, что различия линий регрессий для обеих зависимостей не так значимы, как для УФ-индексов, а разброс величин больше.

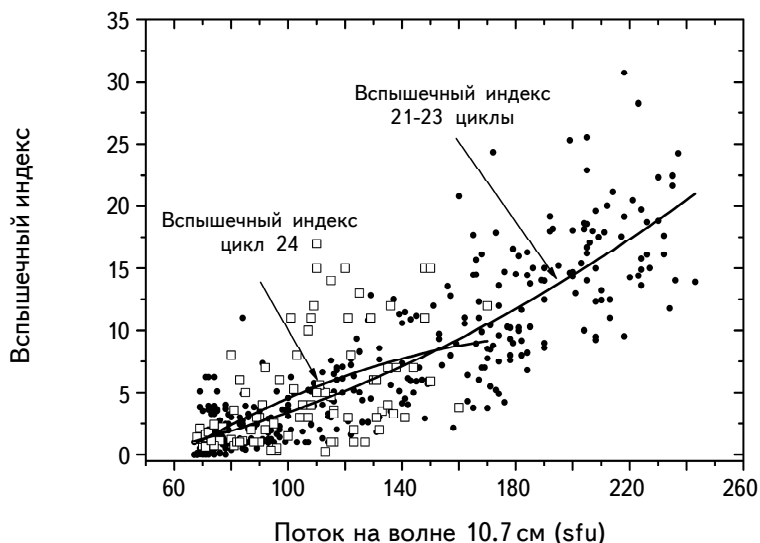


Рис.5. Зависимость вспышечного индекса FI от потока радиоизлучения на волне 10.7 см.

3. *Крупные вспышки в 24-м цикле.* На рис.6 представлено распределение вспышек M1-X7 (740) в 24-м цикле. Точками показаны месяцы, когда число вспышек за месяц $N < 5$, звездочками - число вспышек за месяц $5 < N < 10$, большими полыми кружками - число вспышек за месяц $N > 10$. Данные о вспышках нанесены на кривую скользящих среднемесячных значений числа солнечных пятен. Видно, что наибольшее количество вспышек произошло на ветви спада после первого максимума, а во время второго максимума и на ветви спада 24-го цикла. Наибольшее количество крупных вспышек приходится на 2014г. До 2011г. и с середины 2015г. крупных вспышек практически не наблюдалось. В отличие от циклов 21-23 в 24-м цикле крупные вспышки $X > 2.7$ не наблюдались на фазе спада цикла.

4. *Северо-южная (N-S) асимметрия локализации крупных вспышек в 24-м цикле.* В последние годы были исследованы и описаны основные свойства N-S асимметрии, проявляющиеся во всех индексах солнечной активности, но причина происхождения этой асимметрии до настоящего времени остается непонятной. Вероятно, что N-S асимметрия индексов является фундаментальным свойством солнечной активности, которое указывает на то,

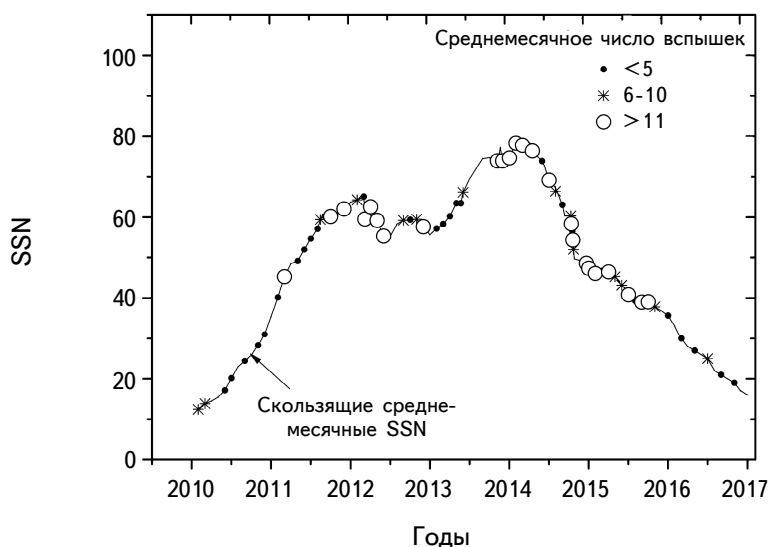


Рис.6. Среднемесячное распределение крупных вспышек в 24-м цикле.

что имеются значимые различия в процессах, происходящих в северном и южном полушариях. При исследовании N-S асимметрии [11] выяснилось, что многие особенности циклической деятельности Солнца сильнее проявляются именно в асимметрии индексов активности, а не в самих значениях этих индексов.

По результатам анализа вспышечной активности в 21-23-м циклах [12] показано, что наблюдения крупных вспышек в мягком рентгеновском диапазоне (GOES, 0.1-0.8 нм) на различных фазах солнечных 21-23 циклов демонстрируют N-S асимметрию. Отмечено также, что в течение целого цикла 21 наблюдалось небольшое превышение вспышечной активности в северном полушарии, тогда как для циклов 22 и 23 в целом преобладал южный избыток. Важно

Таблица 1

АСИММЕТРИЯ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ В 24 ЦИКЛЕ

Год	Число вспышек >M5	Число вспышек >X1	Число вспышек в N-полушарии	Число вспышек в S-полушарии
2010	3	0	2	1
2011	19	8	15	4
2012	21	6	12	9
2013	21	12	10	11
2014	39	16	11	28
2015	12	2	5	7
2016	4	-	4	-

отметить, что N-S асимметрия солнечных вспышек обнаруживается в отношении как самого факта появления вспышек, так и в интенсивности вспышек, что необходимо учитывать в моделях солнечного динамо [12].

Мы исследовали N-S распределение вспышек в 24-м цикле. В табл.1 представлены данные анализа N-S асимметрии для крупных вспышек рентгеновского класса $> M5$ (119) на различных фазах 24-го цикла. Видно, что наблюдается сильная асимметрия вспышечной активности в 2011г. (15 вспышек в северном полушарии против 4 - в южном) и в 2014г. (11 вспышек в северном полушарии против 28 - в южном). В остальное время 24-го цикла число вспышек в разных полушариях было примерно равным.

Рис.7 демонстрирует N-S распределение крупных вспышек (рентгеновский класс $> M1$ - среднемесячные данные) на различных фазах 24-го цикла.

На кривой, отображающей скользящие среднемесячные значения числа солнечных пятен, различными символами отмечены месяцы, характеризующиеся явно выраженной N-S асимметрией. На рисунке черными кружками показаны годы, когда число вспышек в северном полушарии значительно превосходит число вспышек в южном полушарии, звездочками - преобладание вспышек в южном, полыми кружками - число вспышек в обоих полушариях примерно одинаково.

На рис.7 видно, что на фазе подъема 24-го цикла сначала число крупных вспышек примерно одинаково в северном и южном полушарии, затем в 2011 и 2012гг. наблюдается преобладание вспышек в северном полушарии, что соответствует асимметрии числа пятен. Во время первого максимума

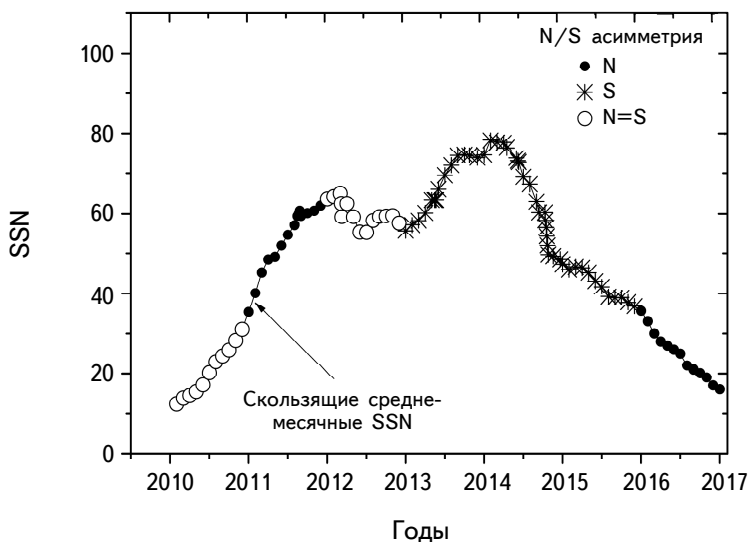


Рис.7. N-S асимметрия числа крупных ($> M1$) вспышек в 24-м цикле.

наблюдается примерно равное соотношение числа вспышек в северном и южном полушариях. Во время второго максимума на фазе спада цикла с 2013 по 2016гг. мы видим, что преобладают вспышки в южном полушарии, что соответствует асимметрии солнечных пятен в 21-23-м циклах. В 2016г. вновь мы видим больше вспышек в северном полушарии.

Анализ скорости вращения солнечных пятен и эволюцию активных долгот в [13] показал, что северное и южное полушария вращаются с разными скоростями, причем с 1990г. скорости вращения в обоих полушариях увеличиваются. Предполагается, что наблюдаемые проявления северо-южной асимметрии групп солнечных пятен и вспышечной активности являются следствием временной эволюции крупномасштабного магнитного поля и солнечного динамо. Видно, что асимметрия вспышечной активности хорошо соответствует асимметрии появления групп солнечных пятен по данным архивов наблюдений Solar Influences Data Analysis Center (SIDC) of the Royal Observatory of Belgium, который включает World Data Center изучения солнечных пятен. Согласно этим данным, для 21-23-го циклов и фазы подъема 24-го цикла существует N-S асимметрия числа солнечных пятен, немного отличающаяся от N-S асимметрии вспышечной активности: для всех циклов 21-24 число пятен в северном полушарии преобладает на фазах роста циклов, а в южном полушарии число пятен преобладает на фазах спада, см. <http://www.sidc.be/silso/datafiles>. Наблюдения N-S асимметрии в различных индексах имеют большое значение, поскольку они дают ценную информацию для моделей солнечного динамо. Появление значительной южной асимметрии в начале XXI в. свидетельствует о наступлении периода малых циклов активности [14], что мы наблюдаем в настоящее время.

5. Анализ данных спутниковых наблюдений вспышки 09.08.2011. Потоки в УФ-диапазоне с высокой точностью измеряются на спутниках с 1999г. Это позволило нам для самой крупной вспышки 24-го цикла X 6.9, произошедшей 09.08.11, на основе данных наблюдений SDO/EVE и GOES-15 проанализировать моменты начала вспышки в различных линиях. Это важно для уточнения моделей вспышек. Мы отмечаем моменты времени, связанные со вспышечным усилением потока в корональных линиях и линиях, образующихся в хромосфере и переходной области. Области корональной вспышечной плазмы, в которых происходит формирование УФ- и рентгеновского излучения, различаются по высоте и температуре. Постепенное увеличение потоков в линиях в процессе развития вспышки позволяет определить область температур, в которой начинается вспышка, а также области, куда она распространяется.

На рис.8 показано развитие вспышки 09.08.2011 в корональных линиях

и интервалах (9.4 нм, 33.5 нм, 0.1-0.8 нм), а также в линиях хромосферы и переходной области (30.4 нм и 28.4 нм), линии указаны на рисунке справа. Горизонтальными сплошными линиями отмечены уровни фонового потока излучения: это позволяет точнее оценить время начала усиления потоков. Отметим, что чем короче длина волны в линии или спектральном диапазоне,

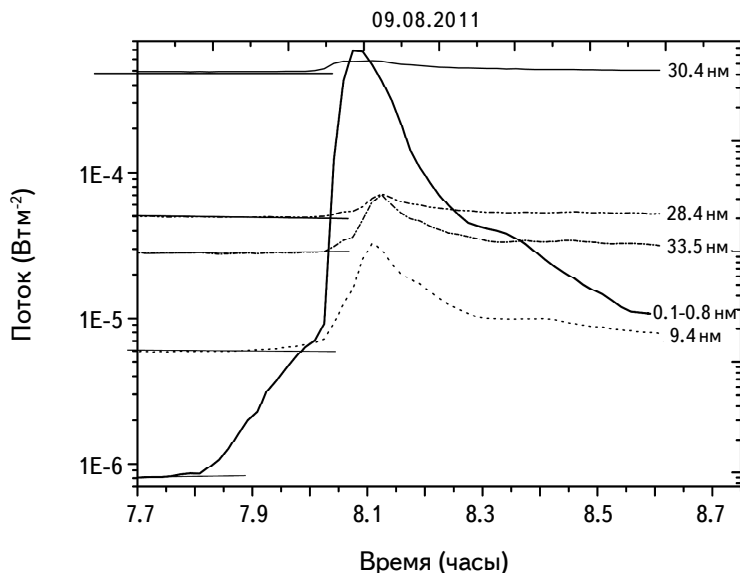


Рис.8. Развитие вспышки 09.08.2011г. в различных линиях УФ- и рентгеновского диапазонов (в линиях 30.4 нм, 33.5 нм, 28.4 нм, 9.4 нм и интервале 0.1-0.8 нм).

тем больше отношение максимальной амплитуды вспышки к уровню фона. Видно, что увеличение потоков начинается постепенно (предвспышечное усиление). В интервале 0.1-0.8 нм и в линии 9.4 нм предвспышка начинается в 7^h48^m и 7^h54^m, тогда как в остальных линиях предвспышка (выраженная менее ярко) начинается в 8^h00^m. Таким образом, предвспышечное усиление распространяется из более высоких слоев короны в нижнюю корону и хромосферу. Начало вспышки мы видим как резкое, почти вертикальное увеличение потока в 0.1-0.8 нм и крутой подъем в 9.4 нм в 8^h02^m, в остальных линиях начало вспышки произошло на несколько минут позже, в 8^h04^m-8^h05^m.

6. *Характеристики протонных событий в 24 цикле.* По данным GOES 13-15 проанализированы солнечные протонные события (СПС) и сопровождающие их вспышки в 24-м цикле активности - выделены наиболее мощные СПС. Рассмотрены события с энергиями протонов $E > 10$ МэВ и $E > 100$ МэВ.

СПС наблюдаются в межпланетном пространстве как в результате вспышек, произошедших на Солнце, так и в результате выброса корональной массы, и иногда после исчезновения волокон. Длительность протонного события зависит от энергии протонов. При энергиях ~ 10 МэВ длительность составляет несколько часов, для больших энергий - до нескольких суток. В настоящее время нет однозначных ответов на вопросы, где, когда и как ускоряются протоны и как они распространяются до наблюдателя. Мощность протонных событий измеряется в pfu (particle flux units - $\text{протон}\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}\text{ср}^{-1}$). Особенностью 24-го цикла является то, что не наблюдалось потоков протонов с энергией > 100 МэВ, характеризующихся величиной максимальной амплитуды более 100 pfu.

В 24-м цикле активности было примерно в 2 раза меньше вспышек, сопровождающихся потоками протонов. В работе [15] проведено сравнение первых 64 месяцев 24-го цикла (фазы роста и максимума) с предыдущими циклами (21-23) по характеристикам энергичных солнечных протонов. Показано, что, несмотря на низкую солнечную активность на фазе роста и максимума 24-го цикла, число СПС с энергией протонов $E > 10$ МэВ и с $E > 100$ МэВ в текущем цикле мало отличается от числа таких же событий в 21-23 циклах. За период с 2010-2016гг. нами выделено 62 СПС с энергией протонов $E > 10$ МэВ и 24 события с $E > 100$ МэВ (самые мощные из которых приведены в табл.2). Некоторые протонные события (к таким относится событие 7 марта 2012г.)

Таблица 2

**ВСПЫШКИ 24 ЦИКЛА, СОПРОВОЖДАЮЩИЕСЯ САМЫМИ
КРУПНЫМИ ПРОТОННЫМИ СОБЫТИЯМИ**

Дата	Балл рентген/оптика	Положение на диске	Поток протонов (> 10 МэВ), pfu	Поток протонов (> 100 МэВ), pfu
04.08.11	M9.3/2B	N19W76	99	2
23.01.12	M8.7/2B	N28W21	4500	3
27.01.12	X1.7/2F	N27W71	800	11
07.03.12	X5.4/2B	N17E27	2000	70
07.03.12	X1.3/SF	N23E12	6500	30
13.03.12	M7.9/1B	N19W59	500	2
17.05.12	M5.1/1F	N11W76	250	20
12.07.12	X1.4/2B	N13W15	100	0.2
17.07.12	M1.7/1F	S28W90	130	0.1
19.07.12	M7.7/SF	S16W90	90	0.7
11.04.13	M6.5/3B	N09E12	100	2
22.05.13	M5.0/3N	N15W70	2000	4
07.01.14	X1.2/2N	S15W11	1000	4
10.09.14	X1.6/2B	N12E02	130	1
21.06.15	M3.8/2B	S18W57	1000	0.1

имеют сложный временной профиль с несколькими максимумами и характеризуются большой мощностью (см. табл.2).

Видно, что большая часть таких событий происходила в северном полушарии в 2011-2013гг., при этом две из трех крупных вспышек с потоками протонов в 2014-2015гг. произошли в южном полушарии. Из табл.2 видно, что самые крупные протонные события были связаны со вспышками класса M5 и больше.

Для крупных вспышек классов M1-X7, сопровождающихся потоками протонов с энергиями >10 МэВ и >100 МэВ, проведен анализ времени задержки между началом вспышки в рентгеновском диапазоне и временем начала протонного события, вызванного этой вспышкой (см. рис.9). Оценка времени запаздывания прихода протонов к атмосфере Земли важна для прогноза космической погоды и состояния верхней атмосферы.

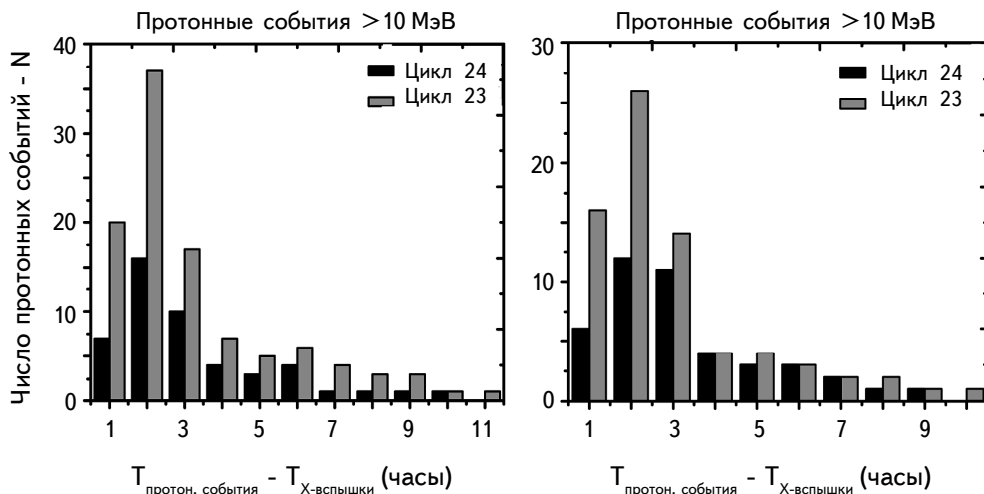


Рис.9. Гистограмма задержек времени начала протонных событий от времени начала вспышки, вызывающей это событие в мягком рентгеновском диапазоне.

По данным наблюдений выбирались протонные события, вызванные именно вспышками, а не другими причинами (выброс корональной массы, эруптивные протуберанцы). Отдельно рассмотрены протонные события в 24 (черный цвет) и 23-м циклах (серый цвет). Распределения задержек между началом вспышки в рентгеновском диапазоне и началом протонного события для 24 и 23-го циклов имеют сходный вид. Максимум распределений приходится на задержку в 2 часа, как для протонов с энергиями >10 МэВ, так и с энергиями >100 МэВ. Отметим, что наиболее мощные вспышки сопровождаются протонными событиями с наименьшими задержками. Наибольшие задержки наблюдаются у протонных вспышек, расположенных в восточном полушарии

из-за увеличения траектории распространения протонов из вспышечной области.

7. Заключение. Из представленной работы следует, что вспышечная активность в 24-м цикле значительно ниже, чем в 21-23-м циклах. Наиболее крупные вспышки ($>X2.7$) произошли на ветви роста и в максимуме 24-го цикла, в отличие от 21-23-го циклов, где самые мощные вспышки наблюдались на ветви спада. Максимум числа крупных вспышек приходится на 2014г.

Анализ потоков ультрафиолетового излучения в линиях Mg II 280 нм и La 121.6 нм показал, что регрессионные зависимости от общего уровня излучения Солнца значительно различаются для 24-го цикла в сравнении с 21-23-ми циклами.

Развитие вспышки 09.08.2011, наблюдаемой в корональных линиях (9.4 нм, 33.5 нм, 0.1-0.8 нм), а также в линиях хромосферы и переходной области (30.4 нм и 28.4 нм), происходит по направлению от верхней короны к нижней короне и хромосфере.

Исследование N-S асимметрии в распределении вспышек в 24-м цикле показало, что наблюдается сильная N-асимметрия вспышек в 2011г. и S-асимметрия в 2014г. В остальные годы 24-го цикла число вспышек в разных полушариях было примерно равным.

В 24-м цикле протонные события с $E > 100$ МэВ отличаются меньшей интенсивностью, что подтверждает выводы, сделанные в работе [15]. Самые крупные протонные события были связаны с рентгеновскими вспышками класса $>M5$.

Гистограммы задержек времени начала протонных событий от времени начала вспышки, вызывающей это событие в мягком рентгеновском диапазоне, в 24 и 23-м циклах показали, что максимум распределения приходится на задержку в 2 часа, как для протонов с энергиями >10 МэВ, так и с энергиями >100 МэВ.

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

THE SUN'S FLARE ACTIVITY AND VARIATIONS OF SOLAR UV-RADIATION IN THE CYCLE 24

The flare activity of the Sun and solar fluxes in the ultraviolet range (UV) in a 24 cycle were analyzed. Unlike 21-23 cycles, where the most powerful flare

was observed on the decline cycle's phase, the largest flares ($>X2.7$) in the cycle 24 occurred on the rise phase and on the maximum. Regression dependences of the UV-indices from a general level of solar activity vary considerably for the cycle 24 compared to the cycles 21-23. It was found that for the flare 09.08.2011 (according to observations by SDO and GOES-15) the spread of the flare occurs from the upper corona to the lower corona and chromosphere. The study of N-S asymmetry in the distribution of flares in the cycle 24 shows that there is a strong predominance of the flares in the N-hemisphere in 2011 and in S-hemisphere in 2014. It was found that in the cycles 23 and 24 the time delay for the start of a proton event from the start of the flare which causes this event, show the distribution with a pronounced maximum, which corresponds to a delay of 2 hours, as for protons with energies >10 МэВ so as with energy >100 МэВ.

Key words: *Sun: 24-th cycle: flares: flare index: variations of UV-radiation: proton events*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Y.Kleeorin, N.Safiullin, N.Kleeorin et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **460**, 3960, 2016.
2. *Р.Е.Гершберг*, Активность солнечного типа звезд Главной последовательности, Одесса, Астропринт, 2002.
3. *Е.А.Бруевич, В.В.Бруевич, Е.В.Шимановская*, Астрофизика, **59**, 115, 2016, (Astrophysics, **59**, 101, 2016).
4. *Е.А.Bruevich, V.V.Bruevich, G.V.Yakunina*, J. Astrophys. Astron., **35**, 1, 2014.
5. *M.Snow, W.E.McClintock, T.N.Woods et al.*, Solar Phys., **230**, 325, 2005.
6. *Е.А.Бруевич, Г.В.Якунина*, Астрофизика, **59**, 413, 2016, (Astrophysics, **59**, 369, 2016).
7. *M.Snow, M.Weber, J.Machol et al.*, Space Weather Space Clim., **4**, A04, 2014.
8. *R.T.Bachmann, O.R.White*, Solar Phys., **150**, 347, 1994.
9. LISIRD - Composite Solar Lyman-alpha, <http://lasp.colorado.edu/lisird/lya>, 2016.
10. *T.Atac*, Astrophys. Space Sci., **135**, 201, 1987.
11. *О.Г.Бадалян*, Письма в Астрон. ж., **38**, 51, 2012, (Astron. Lett., **38**, 51, 2012).
12. *B.Joshi, R.Bhattacharyya, K.Pandey et al.*, Astron. Astrophys., **582**, A4, 2015.
13. *L.Zhang, K.Mursula, I.Usoskin*, Astron. Astrophys., **529**, A23, 2011.
14. *J.Sykora, J.Rybak*, Solar Phys., **261**, 321, 2010.
15. *Г.А.Базилевская, Ю.И.Логачев, Э.В.Вашенюк и др.*, Известия РАН, серия физ., **79**, №5, 627, 2015.