24-Й ЦИКЛ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ: ГЕОЭФФЕКТИВНОСТЬ ВСПЫШЕК

Бруевич Е.А., Якунина Г.В.

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Государственный астрономический институт
им. П.К. Штернберга, Москва, Россия*

24th CYCLE OF SOLAR ACTIVITY: GEO-EFFICIENCY OF FLARES

Bruevich E.A., Yakunina G.V.

Lomonosov Moscow State University, Sternberg State Astronomical Institute, Moscow, Russia

The analysis of large flares (x-ray class $\geq M5$) according to GOES-15 data in the 24th solar activity cycle has made. Three main ionospheric indices – A_p , K_p , D_{st} and $F_{10.7}$ (the main index of solar activity) are considered. The analysis of data obtained at the GOES, SOHO and SDO orbital stations in the period 2010–2017 is carried out.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-59-62

Анализируется геомагнитная активность крупных солнечных вспышек в 24-м цикле. Анализ вспышек рентгеновского класса $\geq M5$ проведен по данным GOES-15 (2010–2017) [1]. Использованы Каталог МЦД [2], Каталог SOHO LASCO CME [3]. Проведен анализ данных, полученных на орбитальных станциях GOES, SOHO и SDO в период 2010–2017 гг.

В работе мы рассмотрели три основных ионосферных индекса – A_p , K_p , D_{st} , а также индекс $F_{10.7}$ (основной индекс солнечной активности).

Наиболее точным индикатором магнитной бури на Земле является D_{st} -индекс, который характеризует возмущенное поле вблизи экватора на земной поверхности. Большинство возмущенных D_{st} -индексов отрицательны по величине и вызваны кольцевым током в магнитосфере Земли.

24-й цикл отличается значительным уменьшением не только величины магнитного поля в пятнах и в корональных дырах. Этот цикл характеризуется сложной картиной переполюсовки общего магнитного поля Солнца в южном и северном полушариях, не совпадающей по времени, уменьшением всех средних параметров солнечного ветра. Связь солнечной и геомагнитной активности не является простой. Примером может служить активная область (АО) 12192, проходившая по диску Солнца в октябре 2014 г., (самая большая группа солнечных пятен за последние 24 года), в которой произошло 42 вспышки класса $\geq M1$, из них 6 вспышек класса $\geq X1$. И не было ни одного коронального выброса массы (КВМ) типа гало. Наблюдались незначительные вариации магнитного поля Земли, но больших магнитных возмущений не было.

24-й цикл характеризуется также слабой вспышечной активностью. Было всего 133 вспышки класса $\geq M5$. Из них 49 вспышек класса $\geq X1$. Всего произошло 42 геомагнитные бури – $65 \leq Dst \leq -100$ нТ, из них 22 с индексом $Dst \leq -100$ нТ, [4]. На рис. 1 видны характерные особенности 24-го цикла – низкие значения SSN в максимуме вспышек и малое число геоэффективных событий.

Рис. 1. Вариации среднемесячных значений SSN в 24-м цикле сопоставлены по времени с крупнейшими вспышками классов X и с 22 крупнейшими магнитными бурями с индексом $D_{st} \leq -100$ нТ (стрелочки).

На рис. 2 приведены, построенные нами, изменения геомагнитных индексов с 2011 по 2018 гг. Видно, что планетарные индексы K_p и A_p , также как и индекс $F_{10.7}$, меняются в 24 цикле.

Рис. 2. Вариации ежедневных значений $F_{10.7}$, A_p и K_p в 24-м цикле.

Рис. 3. Соотношение экстремальных значений индексов K_p и D_{st} в 24-м цикле.

На рис. 3 представлено соотношение экстремальных значений индексов K_p и D_{st} для магнитных бурь с $-250 \leq D_{st} \leq -30$ нТл с 2010 по 2017 гг. Видно малое число магнитных бурь как умеренных ($K_p = 5$) так и больших ($K_p \geq 7$) в 24-м цикле. Хочется отметить, что при одном и том же значении K_p наблюдается большой разброс значений D_{st} -индекса.

Таблица 1.

Год	$K_p=5$	$K_p=6$	$K_p=7$	$K_p=8$	Всего
2011	13	6	3		22
2012	23	12	2		37
2013	19	5	1		25
2014	24	5	1		30
2015	39	21	3	4	67
2016	44	20	3		67
2017	41	15	2	1	59

Рис. 4. Распределение числа ежегодных значений K_p в 24-м цикле. Значения магнитных бурь ($K_p \geq 5$) по годам приведено в таблице 1.

Мы также проанализировали, как менялось число умеренных и сильных магнитных бурь в 24-м цикле. Из рис. 4 видно, что после 2014 г. резко возрастает общее число геомагнитных бурь. Возможно, это связано с изменениями общего магнитного поля Солнца.

На рис.5 представлена последняя большая геомагнитная буря в 24-м цикле (26 августа 2018 г.), третья по величине ($D_{st} < -174$ нТл) в цикле. Эта буря была вызвана выбросом волокна и не связана со вспышкой.

Рис. 5. Геомагнитная буря ($D_{st} < -174$ нТл) от 26 августа 2018 года по данным GOES-15 и обсерватории Киото [1, 4]: индекс $F_{10.7} = 72$ sfu; усредненный планетарный A_p -индекс = 80; усредненный планетарный K_p -индекс = 7 (265 нТл).

Таблица 2.

Дата	D_{st} (нТл)	Дата	D_{st} (нТл)	Дата	D_{st} (нТл)
25.10.2011	-147	1.10.2012	-122	23.06.2015	-204
9.03.2012	-145	17.03.2013	-132	20.12.2015	-155
21.04.2012	-120	1.06.2013	-124	21.12.2015	-148
15.07.2012	-139	17.03.2015	-222	28.05.2017	-125
16.07.2012	-133	18.03.2015	-189	26.08.2018	-174

В таблице 2 приведены данные о 15 сильных магнитных бурях в 24-м цикле. Две самые сильные магнитные бури произошли 17 марта и 23 июня 2015 г. Источниками этих бурь ($K_p = 8$) были небольшие вспышки и связанные с ними корональные выбросы массы (КВМ) типа гало.

Только те солнечные вспышки, которые связаны с крупными КВМ типа гало, могут рассматриваться как солнечные источники магнитных бурь.

Выводы

1. 24-й цикл характеризуется низкой геомагнитной активностью, связанной с крупными солнечными событиями (вспышками и КВМ):

- число крупных вспышек было примерно в 2 раза меньше, чем в циклах 22-м и 23-м. Самые сильные вспышки наблюдались в сентябре 2017 (X9.4 и X8.3), а в 23-м цикле были вспышки баллов X13 – X17.

- число геоэффективных событий в 24-м цикле было примерно в вдвое меньше, чем в 23-м цикле. В частности, количество событий, сопровождающихся GLE, было 9 в 24-м цикле против 16 в 23-м цикле.

2. Для оценки геоэффективности события на Солнце необходимо учитывать вклад в событие, как от вспышек, так и от КВМ.

3. Прогнозировать геоэффективность вспышек и связанных с ними КВМ возможно только при учете ряда важнейших начальных параметров:

- положение АО на Солнце;
- максимальная амплитуда вспышки и ее полная энергия в SXR;
- скорость коронального выброса;
- сопровождают ли событие значительные потоки протонов, величина которых превышает некое пороговое значение;
- направление B_z –компоненты магнитного поля;
- плотность возмущенного в результате исследуемого события потока солнечного ветра (данные ACE) и проч.

4. Основной вклад в геоэффективные события (магнитные бури) вносят сопутствующие вспышкам корональные выбросы масс (КВМ).

Литература

1. GOES-15: http://www.n3kl.org/sun/noaa_archive/
2. http://www.wdcb.ru/stp/data/Solar_Flare_Events/Fl_XXIV.pdf
3. SOHO LASCO CME https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/
4. http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/index.html
5. Sun X. et al.// ApJL, 2015, 804:L28.