

УДК 551.590.02

Г.С. МИНАСЯНЦ, Т.М. МИНАСЯНЦ

ОСОБЕННОСТИ ВРЕМЕННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПОТОКОВ ПРОТОНОВ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК

С помощью спутниковых наблюдательных данных построены временные распределения значений дифференциальных потоков протонов для 20 вспышек 23 цикла. По времени начала усилений вспышечных потоков протонов, выделено 3 характерных типа. Во всех рассматриваемых вспышках относительное усиление потоков протонов высоких энергий превышало усиление низкоэнергичных протонов ($E_p < 9 \text{ MeV}$).

В предыдущей работе [1] нами было выявлено несколько случаев, относящихся к протонным вспышкам, когда практически одновременно (в пределах 5-15 минут) регистрируются, прибывшие к Земле, вспышечные потоки частиц самых различных энергий. Тогда как теоретические расчеты указывают, что разница во времени между прибытием протонов с энергиями в несколько десятков keV и сотнями MeV должна составлять не менее полусуток.

Для проверки этого факта, который ранее никем не отмечался, проведено исследование 20

протонных вспышек, относящихся к текущему 23 циклу активности. Все рассмотренные вспышки, в максимуме интегрального потока протонов с энергиями $E_p > 100 \text{ MeV}$, имели значения $F \geq 1 \text{ particles/cm}^2 \text{ sec sr}$.

Ниже приведена таблица, в которой представлены характеристики рассмотренных вспышек и потоков протонов, вызванных ими. Использованы результаты наблюдений со спутников ACE, GOES, IMP, HESSI, SOHO и наземные наблюдения. Временное разрешение 5 минут.

Таблица

Дата	Начало вспыш	Конец	Балл X-ray	Координаты	СКЛ	Тип усил.	$E_p \text{ max MeV}$
1	06.11.1997	11h 49	12h 01	X9.4	S18 W63	СКЛ	III (40-80)
2	06.05.1998	07h 58	08h 20	X2.7	S11 W65	СКЛ	II (15-40)
3	24.08.1998	21h 50	22h 35	X1.0	N30 E07	СКЛ	I (15-40)
4	30.09.1998	13h 08	14h 48	M2.8	N23 W81	-----	III (15-40)
5	14.11.1998	05h 15	05h 22	C1.7	N28 W90	-----	I (09-15)
6	15.04.2001	13h 19	13h 55	X14.4	S20 W85	СКЛ	II (80-165)
7	24.09.2001	09h 32	11h 09	X2.6	S16 E23	-----	II (15-40)
8	04.11.2001	16h 03	16h 57	X1.0	N06 W18	СКЛ	II (40-80)
9	22.11.2001	22h 32	00h 06	M9.9	S15 W34	-----	I (15-40)
10	26.12.2001	04h 32	06h 47	M7.1	N08 W54	СКЛ	II (15-40)
11	21.04.2002	00h 43	02h 38	X1.5	S14 W84	-----	III (15-40)
12	22.08.2002	01h 47	02h 05	M5.4	S07 W62	-----	I (40-80)
13	24.08.2002	00h 49	01h 31	X3.1	S08 W90	СКЛ	II (80-165)
14	31.05.2003	02h 13	02h 40	M9.3	S07 W59	-----	I (15-40)
15	28.10.2003	09h 51	11h 24	X17.2	S18 E20	СКЛ	III (40-80)
16	02.11.2003	17h 03	17h 39	X8.3	S18 W54	СКЛ	III (165-500)
17	17.01.2005	06h 52	10h 07	X3.8	N15 W26	СКЛ	III (80-165)
18	20.01.2005	06h 36	07h 26	X7.9	N14 W67	СКЛ	II (80-165)
19	16.06.2005	20h 01	20h 42	M4.0	N08 W89	-----	III (15-40)
20	13.12.2006	02h 14	02h 57	X3.4	S05 W23	СКЛ	II (40-80)

Для каждой вспышки были построены временные распределения значений дифференциальных потоков протонов F_p , выраженные в counts/ $(\text{cm}^2 \text{ sec sr MeV})$, для следующих интервалов

энергий: (47-68)keV, (115-195)keV, (310-380)keV, (761-1220)keV, (1.06-1.9)MeV, (0.8-4)MeV, (4-9)MeV, (9-15)MeV, (15-40)MeV, (40-80)MeV, (80-165)MeV, (165-500)MeV.

12 вспышек из 20 были источниками солнечных космических лучей (СКЛ, события GLE – Ground Level Enhancements), состоящими, в основном, из протонов, в том числе и с энергиями от 500MeV до 15GeV (данные наземных нейтронных мониторов).

Диапазон энергий и количественные характеристики потоков заряженных частиц, которые

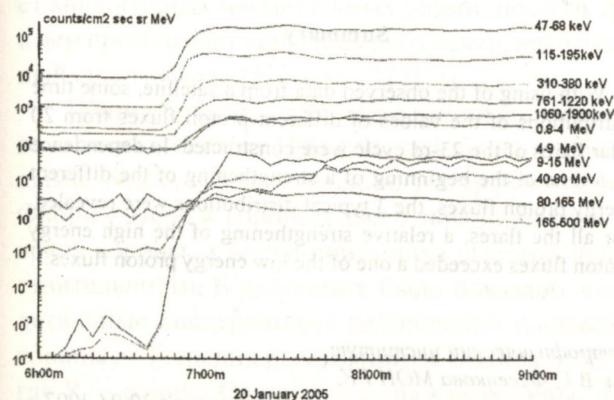


Рис.1. Распределение значений дифференциальных потоков протонов вспышки 20 января 2005 г. Характерный пример II-го типа начала усиления потоков протонов.

Итоговая картина временных распределений протонов по энергиям показывает интересные особенности. По времени начала усиления вспышечных потоков протонов, можно выделить 3 характерных типа.

1. I тип: вспышечные потоки протонов, каждого из представленных диапазонов энергий начинают усиление в различные моменты времени, в соответствии с кинетической энергией частиц.

2. II тип: наблюдается одновременное усиление потоков протонов различных энергий.

3. III тип - смешанный: начала усиления потоков протонов средних и высоких энергий соответствуют I типу, а потоки протонов низких энергий – II типу. Причем время их одновременного усиления начинается с приходом протонов более высоких энергий.

Характерный для каждой вспышки тип усиления потоков протонов, указан в восьмом столбце таблицы. Примечательно, что к II типу относятся, в основном, самые мощные вспышки, генерировавшие потоки СКЛ.

На рисунках 1 и 2 показан пример одновременного начала усиления протоков протонов самых разных энергий, соответствующий II типу.

генерируются в процессе развития вспышки, претерпевают значительные изменения при их движении к Земле из-за влияния солнечного ветра и особенно межпланетного магнитного поля [2]. Поэтому все данные наблюдений отражают результат взаимодействия вспышки и межпланетного пространства.

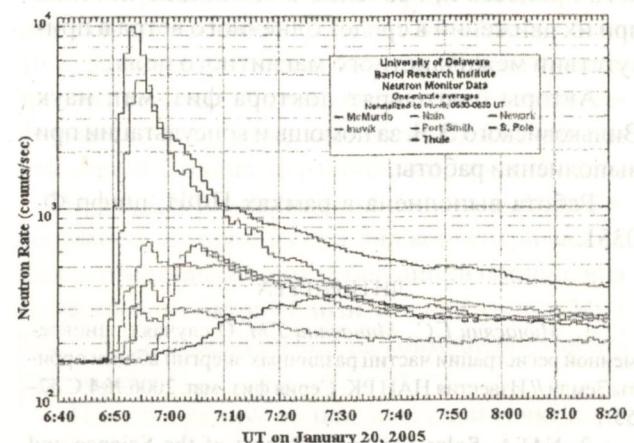


Рис.2. Результаты наблюдений события СКЛ 20 января 2005 г., полученные на наземных нейтронных мониторах высокоширотных станций.

Был рассмотрен вопрос: проявляется ли избирательность в энергиях вспышечных протонов, достигших орбиты Земли. Используя временные распределения по энергиям, были определены интервалы E_p , в которых наблюдалось максимальное относительное усиление потока протонов. Соответствующая величина интервала указана в таблице, столбец 9. Наиболее вероятным E_p^{\max} для вспышек СКЛ являются интервалы (40-80)MeV и (80-165)MeV (среднее относительное усиление составляет 3.4 порядка от предвспышечного фона), для остальных вспышек – (15-40)MeV (среднее усиление – 3.2 порядка). Для всех событий усиление потоков протонов высоких энергий существенно преобладало над потоками низкоэнергичных протонов, для которых в двух случаях даже наблюдался устойчивый, хотя и незначительный их спад.

Очевидно, что потоки частиц низких энергий, которые регистрируются вблизи орбиты Земли почти одновременно с субрелятивистскими, имеют иную природу, чем вспышечные. В подтверждение этого, удалось для нескольких случаев одновременного усиления потоков протонов всех энергий, выделить усиление протонов низ-

ких энергий, которые соответствуют реальной скорости их движения от вспышки к Земле.

Новые факты, установленные на основе наблюдательных данных о временных распределениях потоков протонов различных энергий, требуют внесения корректива в существующие механизмы генерации частиц в течение вспышечного процесса и, особенно в эволюцию потоков при их движении в среде солнечного ветра в присутствии межпланетного магнитного поля.

Авторы благодарят доктора физ.-мат. наук Вильковиского Э.Я. за помощь и консультации при выполнении работы.

Работа выполнена в рамках ПФИ, шифр Ф-0351.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минасянц Г.С., Минасянц Т.М. О случаях одновременной регистрации частиц различных энергий вблизи орбиты Земли // Известия НАН РК. Серия физ.-мат. 2006. №4. С.52-53.
2. NASA, Solar Sentinels: Report of the Science and Technology Definition Team. Maryland.2006.

Резюме

Серіктік бақылау мәліметтер көмегімен 23-ші циклдің 20 жаркылы үшін протонның дифференциалды ағындарының мәндік уақыттық үлестірілуі жасалды. Әртүрлі энергияның протон ағындарының күшесіне бастау уақыты бойынша 3 түрлі үлестірілуінің ерекшелігі табылды. Барлық анықталған жаркыл үшін жоғары энергияның протон ағындарымен салыстырмалы күшесін төмөн энергияның ($E < 9\text{ MeV}$) протондық күшесінен артық.

Summary

With using of the observed data from a satellite, some time distributions of the values of different proton fluxes from 20 solar flares of the 23-rd cycle were constructed. In dependence on a time of the beginning of a strengthening of the different energy proton fluxes, the 3 typical distributions were revealed. For all the flares, a relative strengthening of the high energy proton fluxes exceeded a one of the low energy proton fluxes.

Астрофизический институт
им. В.Г. Фесенкова МОН РК,
г. Алматы.

Поступила 20.04.2007 г.