

ФИЗИКА КОСМОСА

СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ В 23 ЦИКЛЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Е.А. Чебакова

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

Проведено исследование энергетических спектров солнечных космических лучей (СКЛ) для 16 вспышек, произошедших с 1997 по 2006 гг. Расчет энергетического спектра проводился на основе данных нейтронных мониторов (НМ) мировой сети станций с использованием геомагнитосферы как спектрометра.

Для понимания природы генерации СКЛ чрезвычайно важны наблюдения хромосферных вспышек и сопутствующих им явлений. За последние годы накоплен обширный экспериментальный материал по регистрации СКЛ. Во время вспышек на Солнце происходит генерация солнечных космических лучей. Ключевой характеристикой СКЛ являются их энергетические спектры в источнике. Знание об энергетическом спектре СКЛ в широком диапазоне энергий в источнике генерации СКЛ и на орбите Земли дает возможность исследовать электромагнитные условия в околоземном космическом пространстве, также дает информацию о механизмах ускорения заряженных частиц во время вспышек на Солнце.

За всю историю наблюдения солнечных протонных событий, начиная с 1942 г., было зарегистрировано 70 наземных возрастаний интенсивности солнечных космических лучей, генерированных во вспышках на Солнце. В 23 цикле солнечной активности наблюдалось 16 солнечных протонных событий, зарегистрированных наземными приборами, характеристики которых представлены в Таблице 1. В таблице 1 указаны номер, дата, координаты и начало вспышки в H_{α} -линии.

Таблица 1. Характеристики солнечных вспышек 23 цикла солнечной активности

№	Дата	Координаты вспышки	Начало вспышки в H_{α} - линии, (UT)
55	06.11.1997	S18 W63	11:49
56	02.05.1998	S15 W15	13:31
57	06.05.1998	S11 W65	07:58
58	24.08.1998	N30 E07	21:50
59	14.07.2000	N22 W07	10:03
60	15.04.2001	S20 W85	13:19
61	18.04.2001	S20 W115	02:11
62	04.11.2001	N06 W18	16:03
63	26.12.2001	N08 W54	04:32
64	24.08.2002	S20 W85	00:50
65	28.10.2003	S16 E08	09:51
66	29.10.2003	S15 W02	20:37
67	02.11.2003	S14 W56	17:05
68	17.01.2005	N14 W24	09:30
69	20.01.2005	N14 W61	06:36
70	13.12.2006	S06 W23	02:18

В солнечных вспышках происходит генерация протонов в широкой области энергий. С усовершенствованием аппаратуры для регистрации космического излучения верхняя граница по энергии смещается в более высокие области. Например, стандартные нейтронные мониторы (НМ), мюонные телескопы (МТ) и ионизационные камеры (ИК) имеют эффективную энергию на уровне моря около 4-6 ГэВ, 15-20 ГэВ и 25-35 ГэВ, соответственно [1]. Если использовать нестандартные детекторы, то возможно поднять границу по энергии выше 20 ГэВ. Подземные детекторы проводят регистрацию в области энергий 100-200 ГэВ.

На рис.1 приведены временные профили событий, полученные на основе 5-минутных данных интенсивности космического излучения мировой сети станций нейтронных мониторов. Как видно из рисунка, максимальные амплитуды возрастания интенсивности наблюдались во время вспышки 20.01.2005. Амплитуда вспышки 20.01.2005 на станции Саус Пол достигает значений 3353%.

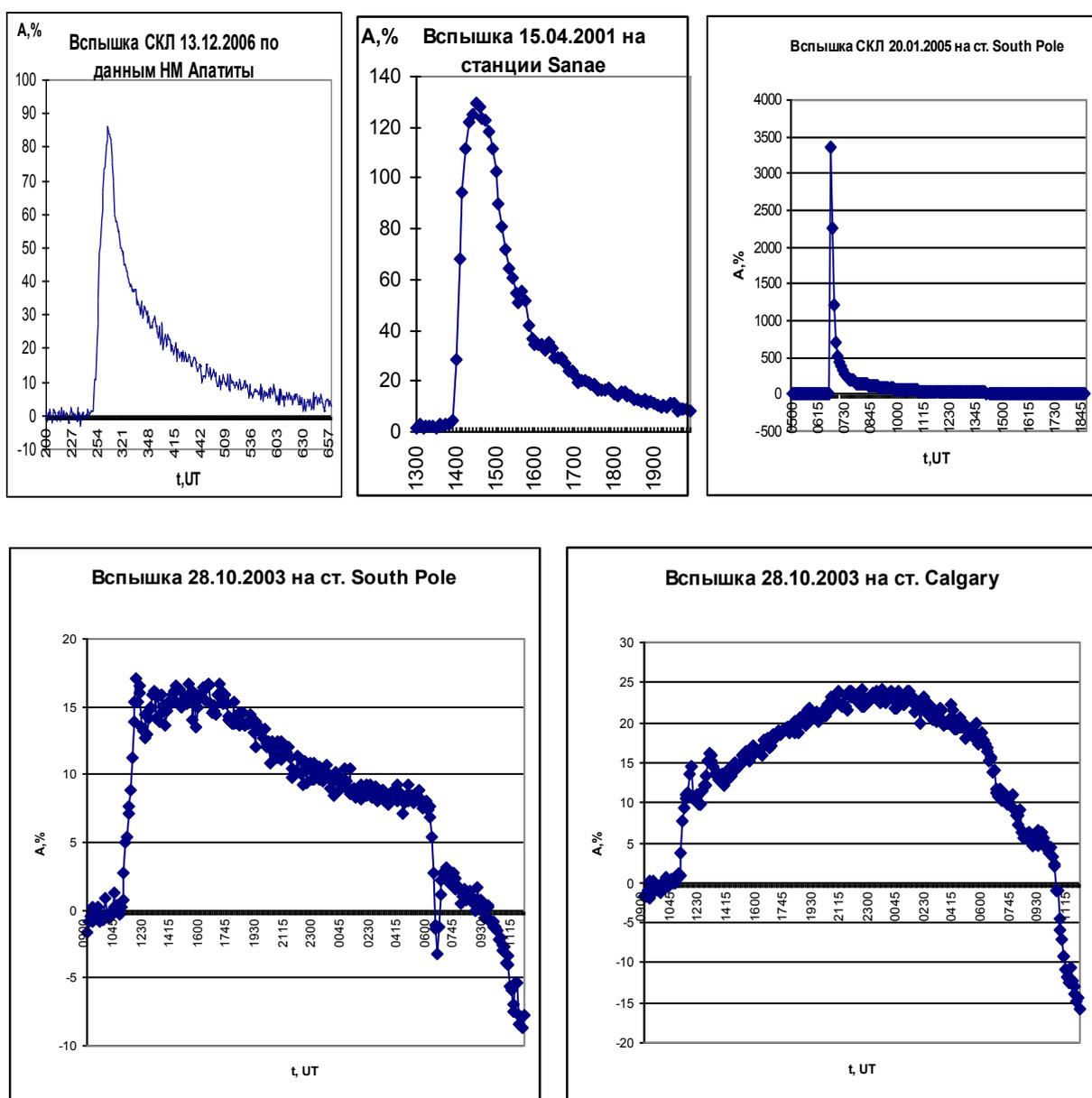


Рис.1. Временные профили СКЛ во время солнечных вспышек

Нами на основе данных мировой сети станций нейтронных мониторов были рассчитаны энергетические спектры СКЛ для вспышек 23 цикла солнечной активности. Используя геомагнитосферу Земли как спектрометр [2-3], представляя энергетический спектр СКЛ степенной функцией жесткости $R(D(R) \sim kR^{-\gamma})$ определены показатели степени γ . Результаты расчета приведены в таблице 2. Энергетический спектр СКЛ определялся в момент достижения максимума в интенсивности СКЛ.

Таблица 2. Энергетические спектры СКЛ

№	55	56	57	59	60	61	62	63	64	65	66	67	69	70
Дата	06. 11. 1997	02. 05. 1998	06. 05. 1998	14. 07. 2000	15 .04. 2001	18. 04. 2001	04. 11. 2001	26. 12. 2001	24. 08. 2002	28. 10. 2003	29. 10. 2003	02. 11. 2003	20. 01. 2005	13. 12. 2006
$\gamma \pm 0.5$, $R^{-\gamma}$ (R ≥ 1 ГВ)	3.4	4.1	3.3	3.8	4.0	3.9	4.2	4.0	4.4	2,9	3,6	4,0	4,9	5,3

Для события 28.10.2003, как видно из рисунка 1, наблюдалось возрастание интенсивности СКЛ сильно растянутое во времени. Энергетический спектр события очень жесткий ($\gamma=2.9$). Вспышки, имеющие медленный подъем интенсивности и жесткий энергетический спектр, должны наблюдаться в восточном лимбе Солнца. Координаты вспышки S16 E08.

Наклон энергетического спектра СКЛ для вспышек 23 цикла солнечной активности изменяется от 2.9 до 5.3. Для вспышки 20.01.2005 спектр мягкий ($\gamma=4.9$), несмотря на большую амплитуду возрастания СКЛ. Нейтронные мониторы позволяют регистрировать частицы с максимальной энергией 15-20 ГэВ. Верхнюю границу спектра можно найти, используя нестандартные детекторы, а именно, Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (БПСТ), который регистрирует мюоны с энергией 200 ГэВ, генерированные первичными протонами с энергией более 500 ГэВ. Установки широких атмосферных ливней «Ковер» и Андырчи Баксанской нейтринной обсерватории, MILAGRITO, Проект GRAND могут регистрировать возрастания СКЛ, обусловленные протонами с энергией 100 ГэВ. Исследования, проводимые ранее [4] на основе данных БПСТ показали, что для вспышки 29.09.1989 были зарегистрированы протоны с максимальной энергией ~ 1000 ГэВ. Теоретические модели предсказывают генерацию частиц во время солнечных вспышек с энергиями $\sim 10^{15}$ эВ [5]. В ряде вспышек 23 цикла солнечной активности были зарегистрированы возрастания мюонов на Баксанском мюонном подземном сцинтилляционном телескопе, 8 из них по времени коррелируют с исследуемыми наземными возрастаниями СКЛ [6]. Наибольшее возрастание наблюдалось 18.04.2001 г. Возрастания с пороговой энергией мюонов на БМПТ 200 ГэВ обусловлены первичными протонами с энергией более 500 ГэВ. Установка БМПТ позволяет определить максимальные энергии протонов, генерируемых во вспышках СКЛ.

В работе [7] проведен анализ события 13.12.2006 по данным мюонного годоскопа УРАГАН. Показано, что в событии присутствовали протоны с энергией более 10 ГэВ. В событиях 06.11.1997 и 15.04.2001 по данным нестандартных детекторов генерируются релятивистские протоны с энергией более 10 ГэВ, а возможно и более 100 ГэВ [1]. Амплитуда сигнала по данным установки Андырчи в событии 15.04.2001 составляет 0,5%, что соответствует 9σ , а в событии 06.05.1998 – 5σ . Для вспышек 02.05.1998, 24.08.1998, 14.07.2000, 15.04.2001, 18.04.2001 амплитуда сигнала по данным установки «Ковер»

соответствует стандартному отклонению 13σ , $6,8\sigma$, $2,8\sigma$, 13σ , 18σ , соответственно [8]. В событии 14.07.2000 измерения высокоэнергичных потоков мюонов в ЦЕРНе (Космический мюонный спектрометр) указывают на энергию первичных протонов более 30 ГэВ.

По оценкам проведенных исследований максимальная энергия протонов СКЛ, генерированных в исследуемых событиях находится в пределах от 10 до > 100 ГэВ. Таким образом, можно сделать вывод, что во вспышках 23 цикла солнечной активности генерируются релятивистские протоны с энергий более 100 ГэВ.

Литература

1. Miroschnichenko L.I. High-energy cutoff for solar cosmic ray by the data of large non-standard detectors // Proc. 28th ICRC, Japan. - 2003. - P.3321-3325.
2. Chebakova E.A., Kolomeets E.V., Mukhambetzhanova A.M., Nerezov K.V. Investigation of acceleration and propagation of solar cosmic ray in wide energy region (10 MeV- 1000 GeV) generated during 56 flares // Proc. 26 ICRC, USA. - 1999. - V.6. - P.411-414.
3. Nagashima K., Sakakibara S., Murakami K. Response and yield functions of neutron monitor, galactic cosmic - ray spectrum and its solar modulation, derived from all the available world-wide surveys // ILNuovo Cimento. - 1989. -Vol.12 C, N2. -P.173-209.
4. Чебакова Е.А. Генерация и распространение солнечных космических лучей. Алматы: Казакуниверситеті, 2005, 195 с., ISBN 9965-12-858-8.
5. Подгорный А.И., Подгорный И.Н. Ускорение частиц в токовом слое // Изв.РАН. Сер.физ. - 1997. - Т.61, №6. - С.1067 - 1069.
6. Karpov S.N., Alekseenko V.V., Karpova Z.M., Khaerdinov N.S., Petkov V.B. A search for the 200 GeV muon intensity bursts during powerful solar flares of 23rd solar cycle // Proc. 28th ICRC, Japan. - 2003. - P.3407-3410.
7. Яковлева Е.И., Петрухин А.А., Тимашков Д.А., Шутенко В.В. Энергетический спектр солнечных космических лучей с энергиями выше 5 ГэВ в событии 13 декабря 2006 года // 31-я Всероссийская конференция по космическим лучам, Россия, Москва, 2010.
8. Karpov S.N., Alekseenko V.V., Djappuev D.D., Karpova Z.M., Khaerdinov N.S., Petkov V.B., Radchenkov A.V., Zaichenko A.N. GLE Observations in 23rd solar cycle at the Baksan Air Shower Arrays Andyrchy and Carpet// Proc. 28th ICRC, Japan. - 2003. - P.3427-3430.

КҮННІҢ 23-І ЦИКЛДІК БЕЛСЕНДІЛІГІНІҢ КҮНДІК ЖАРҚЫЛДАРЫ

Е.А. Чебакова

1997 жылдан 2006 жылға дейін болған 16 күн жарқылдары үшін Күннің ғарыштық сәулеленуінің энергиялық спектрлері зерттелген. Энергиялық спектр нейтрондық мониторлар станцияларының дүние жүзілік желісінің мәліметтері негізінде, геомагнитосферасын спектрометр ретінде пайдаланып есептелген.

SOLAR FLARES IN 23rd SOLAR ACTIVITY CYCLE

E.A. Chebakova

Investigation of energy specters of solar cosmic ray (SCR) for 16 flares during 1997-2006 years was carrying out. On the base of neutron monitors (NM) data of world net stations calculation of energy specters were made using geomagnitoshpere as spectrometer.