

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 4, Number 314 (2017), 162 – 169

UDC 523.62

G.S. Minasyants, T.M. Minasyants

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
gennadii_minasya@mail.ru

EFFECT OF THE SHOCK WAVE OF CORONAL EJECTION ON THE ENERGY OF ACCELERATED PROTONS

Abstract. The influence of a shock wave of coronal ejections the acceleration of protons in the process of their joint development with powerful flares and during motion in interplanetary space from the Sun to the Earth is considered in this paper. The study used observation data on various solar spacecraft (GOES, SOHO, ACE, WIND), as well as Proton Events Catalog materials 1996-2008 (Institutes of RAS). It was found that the efficiency of the process of protons acceleration is mainly influenced by high values of the magnetic field intensity and the velocity of the shock wave of ejections. The quasimaximal values of the energy of protons accelerated by the shock wave lie in the range from 60 to 1520 MeV. Observations indicate that a highly magnetized shock wave moving at a high speed, under the influence of flare fluxes of relativistic energy protons, can be a source of protons with energies up to 1.5 GeV. When comparing the quasimaximal values of the proton energy, their mean values were determined for the fluxes of 16 cosmic ray flares (1809 ± 305 MeV), powerful 16 gradual flare fluxes (498 ± 41 MeV), and shock waves of 16 coronal ejections (286 ± 96 MeV). The validity of the allotment of Ground Level Events into a separate subclass of Gradual Large Events is confirmed.

Key words: coronal ejections, solar flares, shock wave.

УДК 523.62

Г.С. Минасянц, Т.М. Минасянц

Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова, Алматы, Казахстан

ВЛИЯНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ НА ЭНЕРГИЮ УСКОРЕННЫХ ПРОТОНОВ

Аннотация. В работе рассмотрено влияние ударной волны корональных выбросов на ускорение протонов в процессе их совместного развития с мощными вспышками и при движении в межпланетном пространстве от Солнца к Земле. В исследовании использованы данные наблюдений на различных солнечных космических аппаратах (GOES, SOHO, ACE, WIND), а также материалы Каталога Протонных Событий 1996-2008 г.г. (институты РАН).

Установлено, что на эффективность процесса ускорения протонов основное влияние оказывают высокие значения напряженности магнитного поля и скорости движения ударной волны корональных выбросов. Квазимаксимальные значения энергии протонов, ускоренных на ударной волне выбросов, лежат в интервале от 60 до 1520 MeV. Наблюдения указывают, что движущая с высокой скоростью сильно намагниченная ударная волна, при влиянии вспышечных потоков протонов релятивистской энергии, может быть источником протонов с энергией вплоть до 1.5 GeV. При сопоставлении квазимаксимальных значений энергии протонов, были определены их средние значения для потоков 16-ти вспышек космических лучей (1809 ± 305 MeV), мощных 16-ти длительных вспышечных потоков (498 ± 41 MeV) и ударных волн 16-ти корональных выбросов (286 ± 96 MeV). Подтверждается обоснованность выделения вспышек космических лучей в отдельный подкласс длительных событий.

Ключевые слова: корональные выбросы, солнечные вспышки, ударная волна.

Введение. В процессе развития активных областей на Солнце постоянно возрастает свободная магнитная энергия, что приводит, как правило, при появлении районов диссипации - токовых слоев, к возникновению быстротекущих процессов выделения энергии – солнечным вспышкам и корональным выбросам массы. В самой области энерговыделения вспышки (токовом слое) происходит интенсивный нагрев плазмы и ускорение частиц до высоких энергий. Кроме того, мощные солнечные вспышки почти всегда сопровождаются быстрыми корональными выбросами массы (КВМ) с образованием ударных волн, на фронтах которых эффективно ускоряются частицы при движении вспышечных потоков плазмы вблизи Солнца и в межпланетной среде.

Длительные вспышечные события с ускоренными ударными волнами происходят в сложных магнитных структурах, содержащих волокно магнитного потока, располагающееся над линией раздела полярностей поля в фотосфере (рис. 1) [1]. При нарушении общего равновесия магнитной конфигурации поля волокно теряет устойчивость и начинает ускоренно подниматься вверх, что вызывает пересоединение магнитного поля в нижней его части и инициирует появление вспышечного процесса. Формирующийся корональный выброс массы (волокно содержится в его центральной части) в своем развитии обычно проходит три фазы: 1) начальную фазу, до включения вспышки; 2) фазу быстрого ускорения, совпадающую с фазой роста эмиссии вспышки и 3) фазу распространения, с постоянной или медленно спадающей скоростью [2]. В ходе распространения КВМ в короне и межпланетной среде его структура расширяется, заполняя значительную долю гелиосферы. Естественно, что детали эволюции КВМ определяются магнитной структурой поля в начальной конфигурации, где произошла вспышка. По современным представлениям вспышка и выброс КВМ рассматриваются как единый процесс нарушения равновесия магнитной структуры.

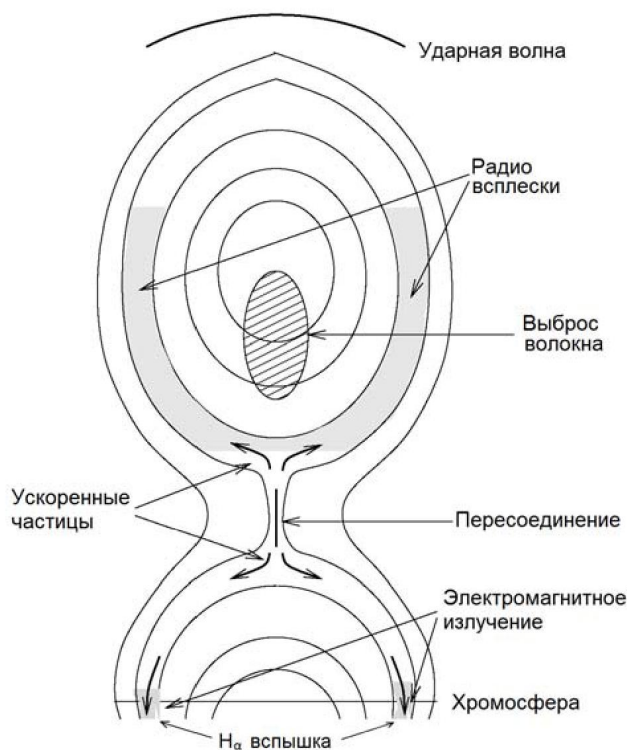


Рисунок 1 - Магнитная структура и зоны ускорения частиц, порождающие вспышечные потоки с выбросом волокна [1]

Самые высокоскоростные КВМ способны возбуждать ударные волны в короне и межпланетной среде, которые способны эффективно ускорять частицы (ширина КВМ в таких событиях превосходит 100°). Некоторым указанием на возбуждение ударных волн в солнечной короне может служить появление радио всплесков II типа в метровом диапазоне [3]. Относительная действенность механизмов ускорения ударными волнами КВМ зависит от угла между нормалью к фронту волны и магнитным полем; наиболее эффективное ускорение ионов с энергиями $\sim \text{MeV}$ осуществляется вблизи «носовой» части выброса КВМ [1].

Эффективность ускорения частиц на ударных волнах оказывается различной для каждого типа волновых возмущений [4]. Для околоземной головной ударной волны, которая образуется и постоянно существует благодаря динамическому давлению спокойного солнечного ветра на атмосферу Земли, диапазон энергий ускоренных частиц, в частности протонов, составляет значения от тепловых энергий до сотен keV. На

межпланетных ударных волн частицы ускоряются до энергий 0.1-1 MeV. Самые энергичные частицы 0.1-1 GeV образуются во внутренней короне на ударном фронте, который формируется в процессе взрывного развития быстрых, узконаправленных КВМ.

Обработка данных наблюдений. Используя многочисленные наблюдательные данные, полученные на спутниках в течение 23 цикла солнечной активности (1997-2007г.г.), нами проведено исследование влияния ударных волн корональных выбросов на вспышечные потоки ускоренных протонов. Рассматривались вспышки, которые являлись источниками усиления интегральных потоков протонов с энергией $E_p > 100$ MeV. При этом протонные вспышки сопровождались КВМ, с движущимися перед ними фронтами ударных волн. Приход фронта ударной волны характеризовался резким скачком значений параметров солнечного ветра: скорости, плотности, температуры и напряженности магнитного поля.

В первую очередь, мы предполагали выявить случаи наиболее заметного влияния UV выброса на интенсивность вспышечных потоков протонов $E_p > 100$ MeV. Для трех событий 4-6 ноября 2001 г., 22-24 ноября 2001 г. и 18-20 ноября 2003 г., наблюдения показывают, что значения интенсивности потоков $E_p > 100$ MeV на ударной волне выбросов даже превышают соответствующие значения интенсивности для периода взрывной фазы развития вспышек (см. примеры на рис. 2-3).

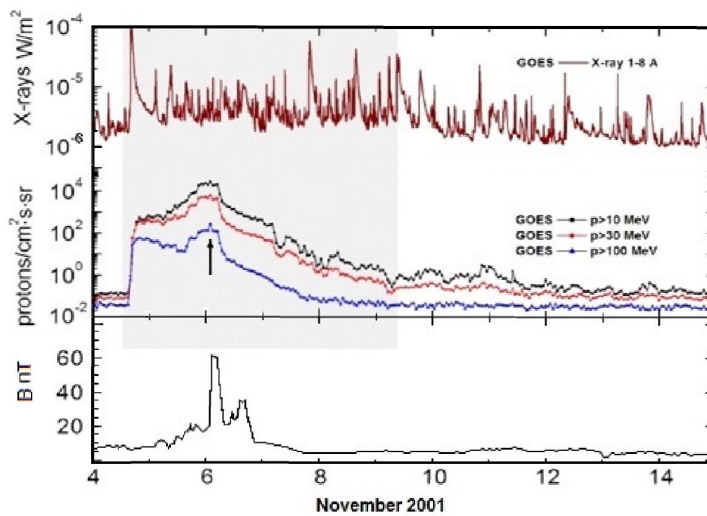


Рисунок 2 - Развитие вспышки солнечных космических лучей 04-11 ноября 2001 г. и прибытие ударного фронта коронального выброса 6 ноября по данным КА GOES и SOHO.

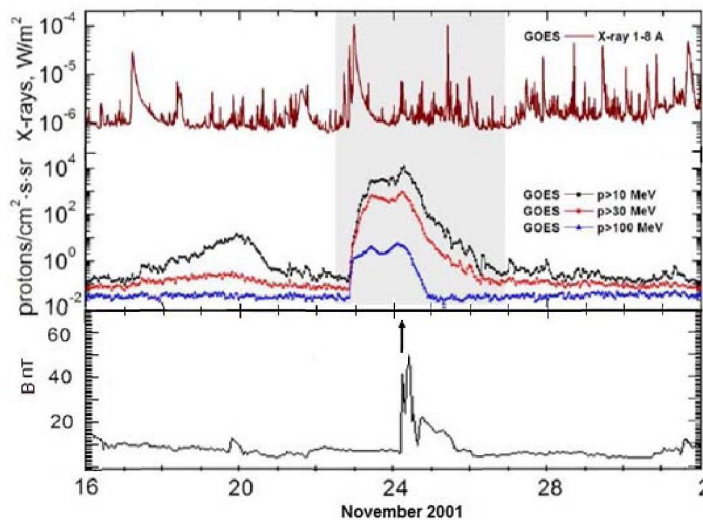


Рисунок 3 - Развитие протонной вспышки 22-27 ноября 2001 г. и прибытие ударного фронта коронального выброса 24 ноября по данным КА GOES и SOHO.

На рисунках 2 и 3 (верхняя часть скопирована с [5]) наглядно представлено влияние УВ КВМ при развитии потоков вспышечных ускоренных частиц. Вертикальной стрелкой отмечено время прибытия ударного фронта выброса. На каждом из рисунков приведены графики всплесков мягкого рентгеновского излучения в диапазоне 1–8 Å, интенсивность которого соответствует баллу вспышки (данные КА GOES с временным разрешением – 1 минута), потоки солнечных протонов с энергией $E_p > 10$, > 30 и > 100 MeV по данным КА GOES (среднечасовые значения), а также 5-ти минутные значения напряженности межпланетного магнитного поля (ММП) – сайт: CDAWeb Data Explorer. Приподнятые участки профиля интенсивности потоков протонов соответствуют местам ускорения частиц на ударном фронте.

Обсуждение результатов. Сопоставление величины усиления интенсивности вспышечных потоков протонов $E_p > 100$ MeV во время прохождения УВ КВМ с изменениями значений различных физических параметров, показало, что наибольшая корреляция наблюдается для значений напряженности межпланетного магнитного поля. Причем в эти интервалы времени напряженность магнитного поля принимает повышенные значения. Проведенное дополнительное исследование показало, что в течение 23-го цикла активности зарегистрировано семь случаев существования напряженности межпланетного магнитного поля, имеющего экстремальные значения $B > 50$ nT. Все они связаны с прибытием ударного фронта КВМ и расположенной сразу за ним области турбулентного сжатия плазмы.

В таблице 1 для принятых к рассмотрению протонных событий и связанных с ними выбросов, приведены следующие данные: время прихода фронта ударной волны КВМ, значение линейной скорости движения при его развитии вблизи Солнца - $V_{\text{лин}}$, средняя скорость движения от Солнца к Земле - $V_{\text{КВМ}}$, максимальные значения напряженности магнитного поля B_{max} и значения квазимаксимальной энергии протонов - E_{qm} на УВ КВМ [5].

Таблица 1 - Свойства КВМ и величины E_{qm} протонов, ускоренных на ударной волне выбросов

№ №	Прибытие Ударного Фронта КВМ	$V_{\text{лин}}$ км/с	$V_{\text{КВМ}}$ км/с	B_{max} nT	E_{qm} MeV
1	23:15.24.09.1998 г.	-	1048	37	75
2	04:20.08.11.1998 г.	1118	758	36	80
3	08:43.08.06.2000 г.	1119	1039	26	100
4	14:17.15.07.2000 г.	1674	1389	52	630
5	18:19.11.08.2000 г.	702	833	34	75
6	00:14.31.03.2001 г.	942	1097	65	115
7	15:18.11.04.2001 г.	2411	1226	35	260
8	04:28.28.04.2001 г.	1006	1055	25	80
9	02:33.28.10.2001 г.	1092	725	21	60
10	01:20.06.11.2001 г.	1810	1262	65	685
11	05:33.24.11.2001 г.	1437	1389	59	350
12	04:56.29.12.2001 г.	1446	587	25	195
13	10:17.23.05.2002 г.	1557	622	54	125
141 14	07:28.20.11.2003 г.	1223	877	57	140
15	16:48.21.01.2005 г.	882	1226	36	1520
16	02:19.15.05.2005 г.	1689	1244	55	85
					Ср. 286±96

Очень важным параметром при исследовании влияния ударного фронта КВМ на потоки энергичных протонов является их максимальная энергия в результате ускорения. Прямая оценка максимальной энергии практически невозможна и любое принятое значение будет не вполне надежным. Поэтому при составлении каталога для протонных событий 1996-2008 г.г. [5] (коллективный труд сотрудников 7-ми научных учреждений России) для оценки мощности вспышечных потоков, авторами была разработана специальная программа расчета квазимаксимальной энергии (E_{qm}) протонов, основанная на сопоставлении интегральных энергетических спектров протонов Галактических Космических Лучей и солнечного события. В случаях, когда наблюдалось несколько максимумов при развитии вспышечного потока, в каталоге приведено значение E_{qm} для каждого из максимумов данного события. При рассмотрении сложных вспышечных потоков с несколькими максимумами оказалось, что часто дополнительный максимум связан с прибытием мощной ударной волны КВМ. Это подтверждается характерными скачками значений параметров V_{sw} , B_{nT} , D_{st} на графиках, приведенных в каталоге. На высокую точность значений E_{qm} , представленных в каталоге (она оценивается как $\pm 10\%$), указывает почти точное совпадение $E_{\text{qm}}=685$ MeV и значения максимальной

энергии протонов $E_{\max} = 700 \text{ MeV}$ на УФ КВМ, установленного с помощью сопоставления данных нескольких космических аппаратов, для события 4-6 ноября 2001 г. [6]. Введенный параметр E_{qm} является научно обоснованным и надежным приближением к реальной максимальной энергии наблюдаемых потоков протонов.

Таким образом, используя результаты расчетов E_{qm} (табл.1), появилась возможность, определить влияние ударной волны КВМ на энергетические свойства ускоренных протонов. Для ударной волны события 20-22 января 2005 г. получено уникально высокое значение $E_{qm}=1520 \text{ MeV}$, которое соответствует релятивистской энергии протонов. Рассмотрим подробнее особенности развития вспышечного потока и ударной волны выброса в этом событии.

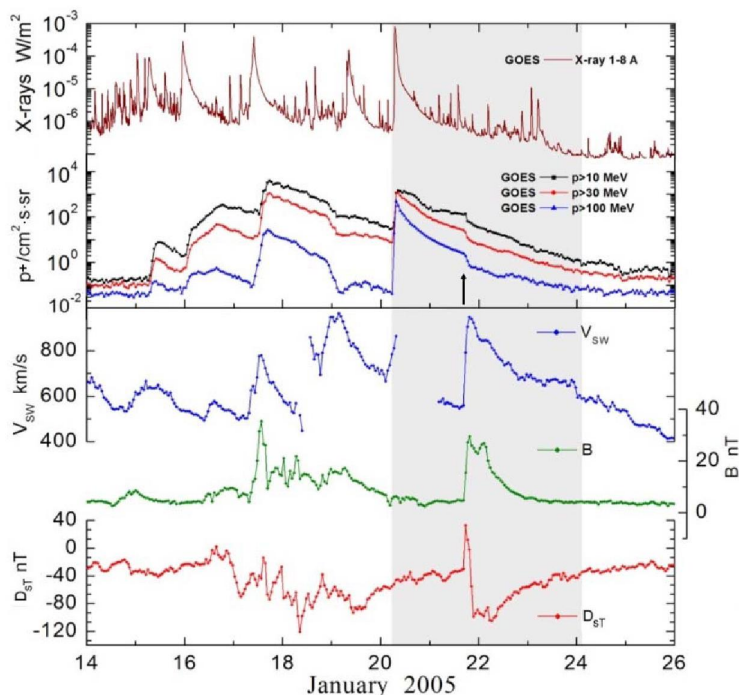


Рисунок 4 - Развитие вспышки солнечных космических лучей 20-23 января 2005 г. и изменения значений параметров плазмы с прибытием ударного фронта коронального выброса 21 января по данным КА GOES и SOHO.

На рис.4 показано развитие вспышки космических лучей 20-23 января 2005 г. и связанного с ней выброса КВМ (приход УФ к орбите Земли 21 января 16ч 48мин). Верхние графики аналогичны приведенным на рисунках 2 и 3. На нижних - показаны изменения параметров: скорости солнечного ветра – V_{sw} , напряженности магнитного поля – B и геомагнитного индекса - D_{st} [5]. В момент прихода УФ КВМ (отмечен вертикальной стрелкой) наблюдался резкий скачок значений всех приведенных параметров. Альевновское число Маха ударной волны для нашего случая показывает высокое значение $M_A \geq 8$. $M_A = (V_2 - V_1)/V_a$, где V_1 - скорость солнечного ветра (СВ) перед фронтом УВ, V_2 - скорость СВ после фронта УВ, V_a - альевновская скорость перед фронтом УВ. При расчете M_A использовались 5-ти минутные данные наблюдений, выставленные на сайте «OMNI Combined».

Что характерно, в период прохождения ударного фронта выброса и области турбулентного сжатия, по измерениям на КА ACE, наблюдалось резкое увеличение степени ионизации ионов железа $Q(\text{Fe})$: от зарядового состояния +11 до +14, что свидетельствует о росте энергии источников ионизации.

Существует еще один важный фактор, который несомненно влияет на энергию частиц, ускоренных на ударной волне, - это максимальная энергия протонов, достигаемая в результате развития импульсной фазы вспышечного процесса. Часто начальное взрывное развитие коронального выброса совпадает с этим периодом вспышечного ускорения частиц. Приведем некоторые данные, относящиеся к рассматриваемому событию 20-23 января 2005 г. Начало вспышки в На – 20 января 06ч 36мин, КВМ появился в поле зрения коронографа SOHO в 06ч 54мин с линейной скоростью $V_{\text{лин}}=882 \text{ км/с}$. Причем выброс двигался с ускорением, средняя скорость его движения до Земли составляла очень высокое значение - 1226 км/с . Максимум интенсивности потока вспышечных протонов $E_p > 10 \text{ MeV}$ наблюдался 20 января в 10ч. Т.е. по

времени ударная волна выброса есть результат совместного развития вспышки и коронального выброса массы. Учитывая, что квазимаксимальная энергия протонов в максимуме вспышечного потока составляет, согласно каталогу [5], релятивистское значение $E_{qm}=3840$ MeV, получаем еще одно подтверждение возможности такого уникального ускорения протонов ($E_{qm}=1520$ MeV) на УВ KBM.

Принимая во внимание перечисленные наблюдательные данные, можно предположить, что высокоскоростная намагниченная ударная волна KBM при совместном развитии со вспышкой является эффективным ускорителем протонов как в короне Солнца, так и в межпланетном пространстве вплоть до энергии $E_p=1.5$ GeV.

С помощью каталога [5] были установлены квазимаксимальные значения энергии протонов в потоках 16 вспышек космических лучей, возникших в течение 23-го цикла активности, а также значения E_{qm} для протонов с наиболее мощными потоками (по интенсивности $E_p>30$ MeV) от 16-ти длительных вспышечных процессов. Эти мощные события были взяты из списка “The Top 30 SEP Events of Solar Cycle 23” (сайт: http://www.srl.caltech.edu/sampex/Data_Center/DATA/EventSpectra/), составленного на основе данных наблюдений на КА GOES потоков протонов с энергиями >30 MeV (табл.2).

Таблица 2 - Значения E_{qm} для протонов вспышек космических лучей и мощных длительных вспышечных потоков

№	Начало развития вспышек космических лучей	E_{qm} MeV GLE	Начало развития мощных длительных вспышек	E_{qm} MeV Gradual
1	11:22.06.11.1997 г.	2900	09:38.20.04.1998 г.	600
2	13:31.02.05.1998 г.	800	13:08.30.09.1998 г.	600
3	07:58.06.05.1998 г.	575	05:00.14.11.1998 г.	580
4	21:48.24.08.1998 г.	720	22:40.08.11.2000 г.	650
5	10:03.14.07.2000 г.	2160	04:55.24.11.2000 г.	460
6	13:19.15.04.2001 г.	3480	21:32.02.04.2001 г.	575
7	02:11.18.04.2001 г.	2100	04:59.10.04.2001 г.	350
8	16:03.04.11.2001 г.	750	23:50.15.08.2001 г.	600
9	04:32.26.12.2001 г.	800	09:32.24.09.2001 г.	580
10	00:49.24.08.2002 г.	775	04:41.01.10.2001 г.	155
11	09:51.28.10.2003 г.	3340	22:00.22.11.2001 г.	390
12	20:37.29.10.2003 г.	810	00:43.21.04.2002 г.	575
13	17:03.02.11.2003 г.	1700	19:29.04.11.2003 г.	445
14	06:09.17.01.2005 г.	750	15:42.07.11.2004 г.	330
15	06:36.20.01.2005 г.	3840	17:17.07.09.2005 г.	800
16	02:14.13.12.2006 г.	3440	10:18.05.12.2006 г.	275
	Среднее	1809±305		498±41

На рисунке 5 приведено сравнение квазимаксимальных значений энергии протонов в потоках мощных длительных протонных событий, событий вспышек космических лучей и в потоках, ускоренных на ударной волне корональных выбросов. Значения параметра E_{qm} в полной мере характеризуют мощность солнечного события и его, следовательно, можно использовать при сравнительном анализе активных процессов.

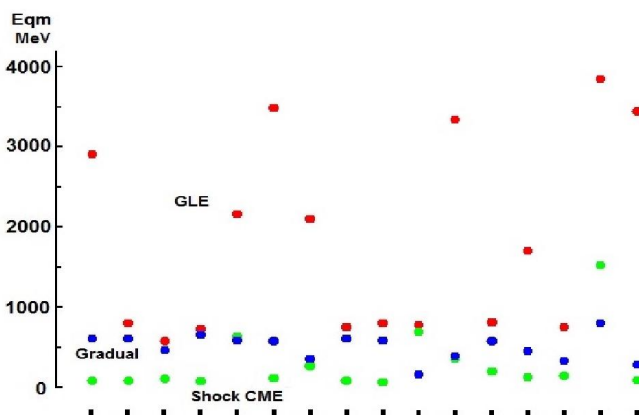


Рисунок 5 - Сопоставление значений E_{qm} протонов вспышек космических лучей (GLE), мощных длительных событий (Gradual) и на ударной волне корональных выбросов (Shock CME).

Довольно заметны изменения величины E_{qm} протонов при процессах ускорения, обладающих различными свойствами. Средние значения E_{qm} составляют: для событий вспышек космических лучей – $E_{qm}(cp.) = 1809 \pm 305$ MeV, мощных длительных событий - $E_{qm}(cp.) = 498 \pm 41$ MeV и для ударной волны КВМ - $E_{qm}(cp.) = 285 \pm 96$ MeV (см. таблицы 1 и 2).

Основные результаты и выводы. Получены новые количественные оценки эффективности ускорения протонов на ударной волне высокоскоростных корональных выбросов, связанных с развитием мощных вспышек.

Вблизи Земли с приходом высокоскоростных УФ КВМ, обладающих сильными магнитными полями, квазимаксимальная энергия протонов показывает значения от 60 до 1520 MeV.

На появление частиц с более высокой энергией на УФ КВМ и в зоне турбулентного сжатия указывает рост степени ионизации ионов железа: от зарядового состояния +11 до +14 для события 20-23 января 2005 г. с наивысшим значением E_{qm} .

Сопоставление квазимаксимальных значений энергии протонов в С [7]. Для ударной волны КВМ характерны в среднем более низкие значения E_{qm} , но в отдельных событиях возможно присутствие физических условий, при которых значения E_{qm} настолько увеличиваются, что соответствуют энергии подклассу вспышек космических лучей. Наблюдения указывают, что движущая с высокой скоростью сильно намагниченная ударная волна, при влиянии вспышечных потоков протонов релятивистских энергий, может быть источником протонов с энергией вплоть до $E_{qm} = 1.5$ GeV.

Источник финансирования исследований.

Работа выполнена согласно плану работ по программе № 0073/ПЦФ-15-МОН «Астрофизические исследования звездных и планетных систем».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kallenrode M-B. Current views on impulsive and gradual solar energetic particle events // *J. Phys. G: Nucl. Part Phys.* 2003. V. 29. P. 965-981.
- [2] Zhang J., Dere K.P., Howard R.A., Kundu M.R. and White S.M. On the temporal relationship between coronal mass ejections and flares // *Astrophys. J.*, 2001. V. 559. P. 452-462.
- [3] Reames D.V. The two sources of solar energetic particles // *Space Science Revs.* 2013. V. 175. Issue 1-4. P. 53-92.
- [4] Бережко Е.Г. Ускорение космических лучей ударными волнами в солнечном ветре // Тезисы докладов: «Всероссийская конф. по физике солн. -земн. связей» - Иркутск. 2001. С.44.
- [5] Логачёв Ю.И., Базилевская Г.А., Вашенюк Э.В., Дайбог Е.И., Ишков В.Н. Лазутин Л.Л., Мирошниченко Л.И., Назарова М.Н., Петренко И.Е., Ступишин А.Г., Сулова Г.М., Яковчук О.С. Каталог солнечных протонных событий 23-го цикла солнечной активности (1996 – 2008 гг.) под ред. Логачёва Ю.И. Москва. 2016. С.743.
- [6] Кузнецов С.Н., Богомолов А.В., Денисов Ю.И. и др. Солнечная вспышка 4 ноября 2001 г. и ее проявления в энергичных частицах по данным ИСЗ «КОРОНАС-Ф» // *Астрон. вестн.* 2003. Т.37. №2. С. 137-143.
- [7] Minasyants G.S., Minasyants T.M. and Tomozov V. M. Fe/O Ratio Variations during the Disturbed Stage in the Development of the Solar Cosmic Ray Fluxes: Manifestations of the First Ionization Potential Effect in the Solar Cosmic Ray Composition // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2016, Vol. 56, No. 2. P. 203–212.

REFERENCES

- [1] Kallenrode M-B. Current views on impulsive and gradual solar energetic particle events. *J. Phys. G: Nucl. Part Phys.* 2003, V. 29, P. 965-981 (in Eng.).
- [2] Zhang J., Dere K.P., Howard R.A., Kundu M.R. and White S.M. On the temporal relationship between coronal mass ejections and flares. *Astrophys. J.*, 2001, V. 559, P. 452-462 (in Eng.).
- [3] Reames D.V. The two sources of solar energetic particles. *Space Science Revs.* 2013, V. 175, Issue 1-4, P. 53-92 (in Eng.).
- [4] Berezhko Ye.G. Uskoreniye kosmicheskikh luchey udarnymi volnami v solnechnom vetre. *Tezisy dokladov: «Vserossiyskaya konf. po fizike soln. -zemn. svyazey»* Irkutsk. 2001, S.44 (in Russ.).
- [5] Logachov YU.I., Bazilevskaya G.A., Vashenyuk E.V., Daybog Ye.I., Ishkov V.N. Lazutin L.L., Miroshnichenko L.I., Nazarova M.N., Petrenko I.Ye., Stupishin A.G., Surova G.M., Yakovchuk O.S. Katalog solnechnykh protonnykh sobytiy 23-go tsikla solnechnoy aktivnosti (1996 – 2008 gg.) pod red. Logachova YU.I. Moskva. 2016, S.743 (in Russ.).
- [6] Kuznetsov S.N., Bogomolov A.V., Denisov YU.I. i dr. Solnechnaya vspyshka 4 noyabrya 2001 g. i yeye proyavleniya v energichnykh chastitsakh po dannym ISZ «KORONAS-F». *Astron. vestn.* 2003, T.37, №2, S. 137-143 (in Russ.).
- [7] Minasyants G.S., Minasyants T.M. and Tomozov V. M. Fe/O Ratio Variations during the Disturbed Stage in the Development of the Solar Cosmic Ray Fluxes: Manifestations of the First Ionization Potential Effect in the Solar Cosmic Ray Composition. *Geomagnetism and Aeronomy*, 2016, Vol. 56, No. 2, P. 203–212 (in Eng.).

Г.С. Минасянц, Т.М. Минасянц

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы қ., Қазақстан
E-mail: gennadii_minasya@mail.ru

ЖЕДЕЛДЕТІЛГЕН ПРОТОНДАР ҚУАТЫНА КОРОНАЛЬ ШЫҒАРУЛАРДЫҢ СОҚҚЫ ТОЛҚЫНЫНЫҢ ӘСЕРІ

Аннотация. Жұмыста күшті тұтанулармен олардың бірге даму процессінде және Күннен Жерге дейінгі планета аралық кеңістікте қозғалыс кезінде протондардың үдеуіне соққы толқындарының әсері қарастырылды. Зерттеуге әртүрлі ғарыш аппараттарының бақылау мәліметтері (GOES, SOHO, ACE, WIND), сонымен қатар Протондық Оқиғалар Каталогты материалдары 1996-2008 ж.ж. (PFA институттары) пайдаланылды.

Протондардың үдеу процесстерінің тиімділігіне магниттік өрістің жоғары мәні және корональ шығарулардың соққы толқындары қозғалыс жылдамдығы негізгі әсер көрсететіні белгіленді. Шығарулардың соққы толқынында үдетілген протондар энергиясының квазимаксималды мәні 60 тан 1520 MeV дейін интервалда жатыр. Бақылаулар жоғары жылдамдықта қозғалыстағы қатты магниттелген соққы толқыны релятивисттік энергияда протондардың тұтану ағымдарының әсері кезінде 1.5 GeV дейін энергиямен протондар көзі болу мүмкін екендігін көрсетеді. Протондар энергиясының квазимаксималды мәні салыстырған кезде ғарыш сәулелері 16 тұтанулар (1809 ± 305 MeV), күшті 16 ұзақ тұтану ағымдары (498 ± 41 MeV) және корональ шығарулардың 16 соққы толқыны үшін (286 ± 96 MeV) олардың орташа мәні анықталды. Ұзағырақ оқиғалардың жекелеген топтарында ғарыш сәулелері тұтануы бөлінуінің негіздемесі дәлелденеді.

Түйін сөздер: корональ шығарулар, күннің тұтануы, соққы толқыны.

Сведения об авторах:

Минасянц Геннадий Сергеевич - канд. физ. мат.-наук, доцент, Дом. Адрес: Алматы, пр. Достық, д. 111, кв. 10, Место работы – ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г.Фесенкова, Телефон: 264-70-19, e-mail: gennadii_minasya@mail.ru;

Минасянц Тамара Михайловна - канд. физ.-мат.-наук, Дом. Адрес: Алматы, пр. Достық, д. 111, кв. 10, Место работы – ДТОО Астрофизический Институт им. В.Г.Фесенкова, Телефон: 264-70-19, e-mail: gennadii_minasya@mail.ru;