

УДК 537.591.4

© 1992 г. Ю. Логачев, М. Зельдович, В. Столповский,  
К. Грингауз, М. Веригин, И. Клименко, А. Шомоди,  
А. Вагра, К. Кечкемети

## РЕКУРРЕНТНЫЕ ВОЗРАСТАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭНЕРГИЧНЫХ ЧАСТИЦ НА СПАДЕ 21-ГО ЦИКЛА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Рекуррентные возрастания интенсивности энергичных частиц, зарегистрированные на КА «Вега-1» и «Вега-2» в первой половине 1985 г., являлись частью длительной серии событий на фазе спада 21-го цикла солнечной активности. По данным IMP-8 о интенсивности протонов с энергиями 1—2 МэВ, было обнаружено, что эта серия состоит из 26 возрастаний. События характеризуются высокой стабильностью фазы максимума ( $19 \pm 0,5$  сут солнечного оборота по Бартельсу) и зависимостью максимальной интенсивности от скорости солнечного ветра. Поток протонов и ионов 0,04+1,0 МэВ достигает максимума на несколько часов раньше, чем поток частиц  $>1$  МэВ. Энергетический спектр протонов  $>1$  МэВ не меняется в течение события, в то время как для протонов  $<1$  МэВ спектр становится более жестким ( $\Delta y \approx 1$ ) после достижения максимума интенсивности. Проводится сравнение с событиями на ударной волне. Последние 10 возрастаний серии связаны с корональной дырой на Солнце.

Yu. I. Logachev, M. A. Zeldovich, V. G. Stolpovskii, K. I. Gringauz, M. I. Verigin, I. N. Klimenko, A. J. Somogyi, A. Varga, K. Kecskemety. Recurrent enhancements of energetic particle intensity during the decreasing phase of 21th solar activity cycle. Recurrent enhancements of energetic particle fluxes recorded on board space probes VEGA-1 and -2 during the first half of 1985 formed a long-lasting series of events in the decreasing phase of 21th solar activity cycle. On the basis of intensity data of protons with energies 1—2 MeV measured by IMP-7 and -8 spacecraft it is found that the series spans 26 solar rotations. The characteristic features of these events are: a relatively high stability of the phase of maximum ( $19 \pm 0,5$  day of Bartels rotation period) and a dependence of the amplitude of particle intensity increase on solar wind velocity. During recurrent events the flux of 0,04+1,0 MeV protons and ions reaches a maximum several hours earlier than  $>1$  MeV particles. Throughout the event the energy spectrum  $>1$  MeV changes only slightly while below 1 MeV it becomes harder ( $\Delta y \approx 1$ ) after maximum. The change of intensity and energy spectrum is compared with ESP events. The last ten enhancements of the series was associated with a coronal hole on Sun.

Рекуррентные возрастания (РВ) потоков протонов с энергиями  $\sim 10^2 + 10^4$  кэВ наблюдались в межпланетном пространстве на расстояниях от 0,3 до 20 а. е. в течение трех циклов (19-й, 20-й, 21-й) солнечной активности [1—5]. Эти события, регистрирующиеся с периодичностью, равной солнечному обороту, непосредственно не связаны со вспышками солнечных космических лучей (СКЛ). Своим происхождением наиболее мощные РВ в большинстве случаев обязаны коротизирующим областям взаимодействия разноскоростных потоков солнечного ветра. Частота регистрации РВ зависит от фазы цикла солнечной активности. Чаще всего РВ наблюдаются на фазе спада. На спаде 20-го цикла солнечной активности спутник IMP-7 зарегистрировал длительную рекуррентную серию из 14 возрастаний РВ [3]. На ИСЗ «Прогноз-3» наблюдалось 5 возрастаний из этой серии [4]. Изучение различных серий РВ на расстояниях от 1 до 6,3 а. е. показало, что 92% всех событий на ведущем крае области взаимодействия и 72% на замыкающем сопровождались прямыми и обратными ударными волнами соответственно [5]. В этих случаях механизмы ускорения частиц в межпланетном пространстве играли определяющую роль в формировании энергетических спектров и состава РВ.

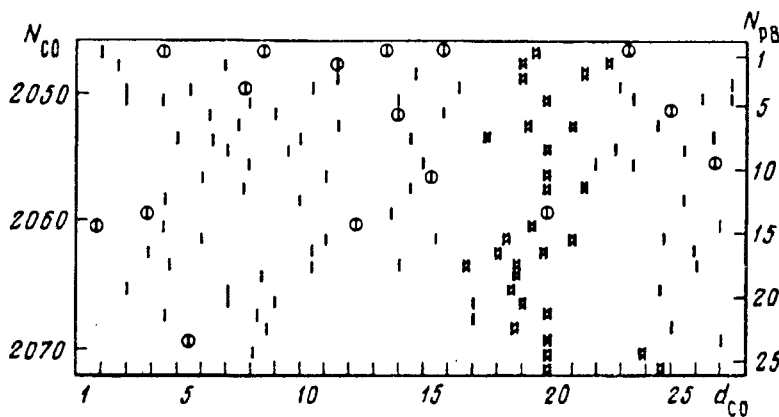


Рис. 1. Возрастания интенсивности протонов  $0,97+1,85$  МэВ по данным IMP-8 [7]

$N_{co}$  — номер солнечного оборота по Бартельсу,  $N_{pb}$  — номер рекуррентного возрастания,  $d_{co}$  — сутки в солнечном обороте. Кружками показаны вспышки солнечных космических лучей (СКЛ) по [8]

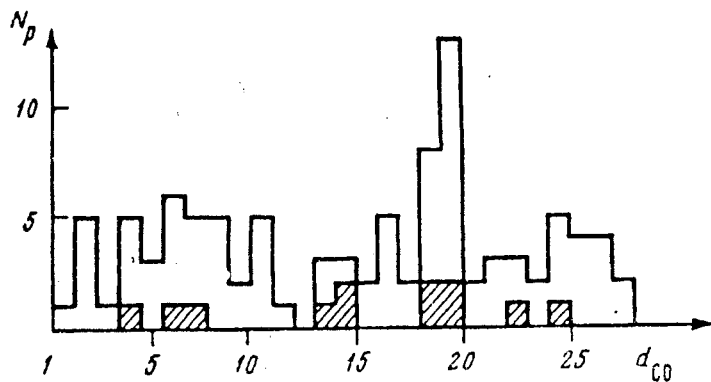


Рис. 2. Распределение числа возрастаний  $N_p$  протонов  $0,97+1,85$  МэВ по суткам солнечного оборота  $d_{co}$  при суммировании по оборотам от  $N_{co} = 2047$  по  $N_{co} = 2072$

Заштрихованные прямоугольники — возрастания, в которых наблюдались протоны  $> 13$  МэВ [7]

В то же время наблюдались также РВ, не связанные с высокоскоростными потоками солнечного ветра [4].

В настоящей работе исследуется обнаруженная нами на спаде 21-го цикла длительная серия РВ из 26 событий, ее связь с высокоскоростными потоками солнечного ветра и активными образованиями на Солнце.

### 1. Данные наблюдений

По данным КА «Вега-1» и «Вега-2» в конце 1984 г, и начале 1985 г. была выделена рекуррентная серия из четырех возрастаний протонов и ионов [6]. Наблюдения проводились с помощью телескопа ТЮНДЕ-М, интенсивность протонов и ионов измерялась в диапазонах энергий  $60+120$ ,  $120+240$ ,  $240+630$  кэВ, протонов —  $3,2+4,5$  и  $4,5+13$  МэВ,  $\alpha$ -частиц — в диапазоне энергий  $3+13$  МэВ/нукл. Как оказалось, эта серия из четырех возрастаний является заключительной частью длительной (26 событий) серии РВ на фазе спада 21-го цикла солнечной активности. Полностью длительная серия была выделена нами по данным IMP-8 [7] по потокам протонов с энергиями  $0,97+1,85$  МэВ в 1983—1985 гг.

Для выяснения вопроса, относится ли данное возрастание интенсивности к серии РВ, рассматривались все возрастания в интервале времени 1983÷1985 гг. При этом отдельным возрастанием, которое включалось в дальнейший анализ,

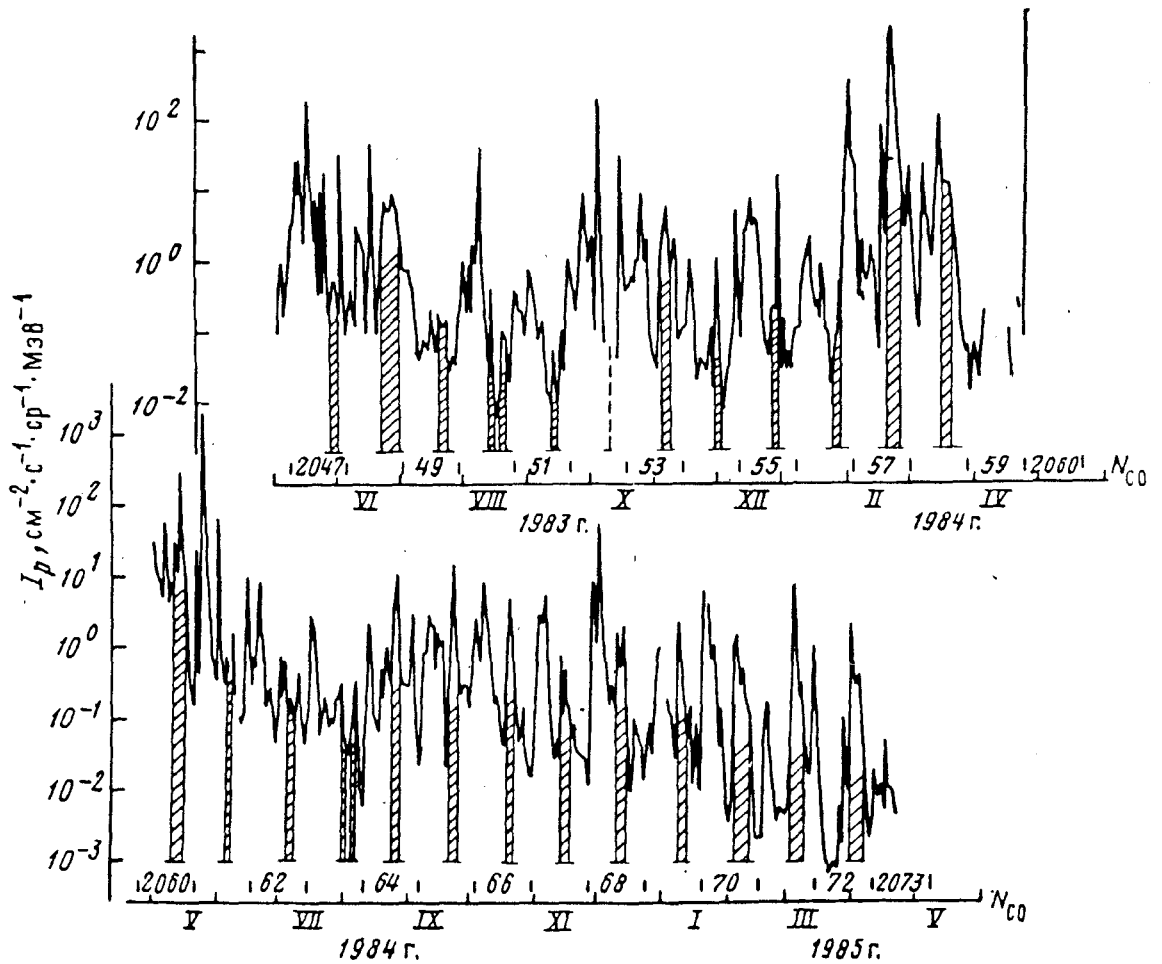


Рис. 3. Временной ход интенсивности  $I_p$  протонов  $0,97+1,85$  МэВ в 1983—1985 гг. На оси абсцисс указаны номера солнечных оборотов  $N_{CO}$ . Штриховкой отмечены возрастания интенсивности, принадлежащие к длительной рекуррентной серии

считалось возрастание интенсивности протонов, удовлетворяющее следующим критериям: 1) интенсивность в максимуме возрастания  $I_{max} \geq 10^{-1}$  частиц/  $(\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ср} \cdot \text{МэВ})^{-1}$ ; 2) разница между временами максимумов ( $\Delta t$ ) двух следующих друг за другом возрастаний больше 3 сут ( $\Delta t > 3$  сут); 3) при  $1,5 \leq \Delta t \leq 3$  сут возрастания считались отдельными событиями, если интенсивность в максимумах возрастаний на порядок величины превышала минимальное значение интенсивности протонов в интервале времени между ними; 4) при  $\Delta t < 1,5$  сут возрастания не разделялись на отдельные и в последующую обработку из ряда близких возрастаний входило возрастание с наибольшей интенсивностью.

Результаты отбора событий по перечисленным критериям представлены на рис. 1. Времена максимумов возрастаний протонов отмечены на рис. 1 вертикальными отрезками. На рисунке собраны данные для 26 солнечных оборотов (СО) от  $N_{CO} = 2047$  по  $N_{CO} = 2072$  по нумерации Бартельса. Двойными отрезками показаны возрастания, которые мы относим к длительной рекуррентной серии. Эта серия была выделена с помощью метода наложенных эпох: для рассматриваемых здесь 26 СО отдельно для каждого номера суток ( $d_{CO}$ ) в солнечном обороте было подсчитано число возрастаний на 26 оборотах, максимумы интенсивности которых наблюдались в течение суток с этим номером. При этом исключались возрастания интенсивности протонов, обусловленные вспышками СКЛ по идентификации в каталоге солнечных протонных событий 1980+1986 гг. [8].

Результаты суммирования приведены на рис. 2, где виден максимум числа событий, образованный серией РВ, соответствующий номерам суток 18 и 19 СО.

При включении в суммирование возрастных на оборотах  $N_{\text{CO}} < 2047$  и(или) с  $N_{\text{CO}} > 2072$  статическая обеспеченность максимума на 18, 19 сут значительно ухудшилась.

Временной ход интенсивности протонов 0,97+1,85 МэВ с мая 1983 г. по апрель 1985 г. представлен на рис. 3. Здесь используются среднесуточные значения интенсивности протонов. Штриховкой обозначены возрастания, принадлежащие длительной серии РВ.

## 2. Связь РВ с высокоскоростными потоками солнечного ветра

Как известно, достаточно часто рекуррентные серии сопровождаются долгоживущими высокоскоростными потоками солнечного ветра и связанными с ними коротящими областями взаимодействия. Рассматриваемую здесь длительную серию можно разделить на две части в зависимости от связанной с РВ величины скорости солнечного ветра. Первая часть включает в себя обороты с 1-го по 16-й, и вторая — с 17-го по 26-й. В первой части серии средняя за 16 оборотов скорость солнечного ветра в максимуме высокоскоростного потока составила 480 км/с, во второй части серии средняя скорость за 10 оборотов — 720 км/с [9]. Таким образом, одновременно с РВ, относящимися ко второй части серии, в межпланетном пространстве существовал долгоживущий высокоскоростной поток солнечного ветра, а в случае РВ из первой части серии такого потока не было.

В первой части серии РВ в 9 событиях из 16 максимум интенсивности протонов 0,97+1,85 МэВ находился на спаде скорости солнечного ветра на удалении от максимума скорости на 2+3 сут. В 5 событиях из первой части не было данных по солнечному ветру и в 2 событиях максимум частиц наблюдался вблизи максимума скорости.

Во второй части серии максимумы интенсивности частиц в 9 случаях из 10 регистрировались либо во время роста скорости солнечного ветра, либо одновременно с максимальной скоростью. В одном случае не было данных по скорости солнечного ветра.

Средняя величина интенсивности протонов 0,97+1,85 МэВ в максимуме возрастания в первой части серии (за исключением событий РВ № 2, 11 и 12, в которых, возможно, была значительная добавка частиц от вспышек СКЛ [8]) составила  $\sim 1,5 \cdot 10^{-1}$  частиц/(см<sup>2</sup>·с·ср·МэВ) и во второй части серии  $\sim 2 \cdot 10^0$  частиц/(см<sup>2</sup>·с·ср·МэВ). Таким образом, РВ, связанные с высокоскоростными потоками солнечного ветра, имеют интенсивность протонов примерно на порядок выше.

Данные КА «Вега-1» и «Вега-2» показывают, что во второй части серии формирование РВ связано в большой степени с эффективным ускорением частиц в коротящей области взаимодействия и(или) на ограничивающих ее ударных волнах. Действительно, вклад частиц, ускоренных во вспышках, в РВ второй части серий (17-й — 26-й обороты) был ничтожным. Изучаемая серия наблюдалась на спаде солнечной активности, число оптических вспышек, происшедших в течение 5 сут до начала роста интенсивности РВ, за 17-й — 26-й обороты в среднем составило 7,1 субвспышки и 1,1 вспышки балла  $\geq 1N$ . Например, в январе 1985 г. (23-й оборот, 1-е возрастание на КА «Вега-1» и «Вега-2») в течение 5 сут до начала возрастания не было ни одной субвспышки, в марте (3-е возрастание на КА) — 1 субвспышка и марте-апреле (4-е возрастание на КА) — 5 субвспышек, причем ближайшая из них во всех случаях произошла раньше, чем за сутки до начала роста интенсивности частиц.

## 3. Азимутальное распределение частиц РВ

Благодаря одновременным измерениям на КА «Вега-1», «Вега-2» и IMP-8 интенсивностей частиц и скорости солнечного ветра оказалось возможным определить азимутальное распределение потоков и энергетических спектров частиц РВ в высокоскоростном потоке солнечного ветра, связанном с РВ.

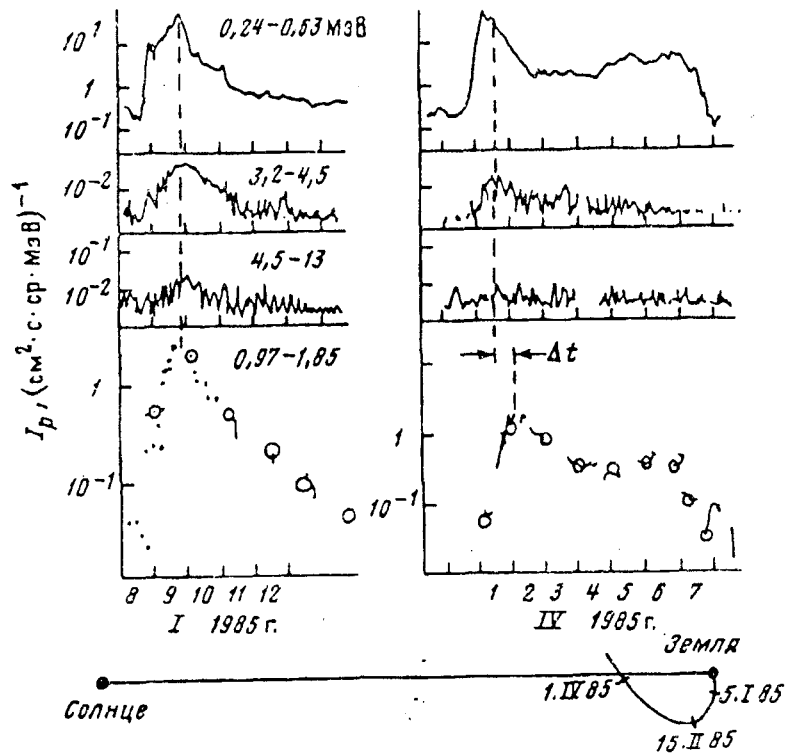


Рис. 4. Временной ход интенсивности  $I_p$  протонов различных энергий в РВ на солнечных оборотах  $N_{CO} = 2069$  (слева) и  $N_{CO} = 2072$  (справа) Интервалы энергий протонов указаны на рисунке. Данные, показанные на трех верхних панелях, получены на КА «Вега», на нижней — на ИСЗ IMP-8. На врезке внизу приведена траектория КА «Вега» в координатах с фиксированной осью Солнце — Земля

В течение СО 2069+2072 данные КА «Вега-1, -2», сравнивались с данными IMP-8. На рис. 4 представлен временной ход интенсивности протонов для событий на СО 2069 и 2072. Видно, что временные профили возрастаний, относящихся к одному событию и зарегистрированных в разных точках пространства, подобны. В каждом из РВ разница во временах максимумов интенсивности частиц примерно одинаковой энергии, а также других особенностей профилей, в двух разных точках пространства определяется коротацией и вмерозенностью силовых магнитных линий в солнечном ветре. Например, в событии на СО 2072 временной сдвиг профилей между КА «Вега-1» и IMP-8 составил примерно 0,45 сут. Наблюдаемый сдвиг соответствует расчетному. При скорости солнечного ветра  $V = 750$  км/с («Вега-1»), радиальном и азимутальном расстояниях между аппаратами  $\Delta r = 22 \cdot 10^6$  км,  $\Delta \varphi = 1,2^\circ$  получаем  $\Delta t = \Delta r/V + \Delta \varphi/\Omega = 0,43$  сут.

В работе [10] указывалось, что в рассматриваемый период межпланетное магнитное поле имело двухсекторную структуру. Начало секторов с положительной полярностью совпадало с началом высокоскоростного потока солнечного ветра и рекуррентными возмущениями межпланетного магнитного поля, во время которых величина поля была в 3+4 раза выше, чем в невозмущенное время.

На рис. 5 представлены временные профили интенсивностей частиц разных энергий в течение рекуррентного события на СО 2072, а также скорости и плотности солнечного ветра и напряженности магнитного поля. Из рисунка можно сделать следующие выводы: а) интенсивность частиц начинает расти вблизи максимумов плотности солнечного ветра и величины магнитного поля; б) максимум потока энергичных частиц расположен в ведущей части высокоскоростного потока; в) чем выше энергия частиц, тем позже они достигают максимума интенсивности; г) с увеличением энергии фаза спада на временном

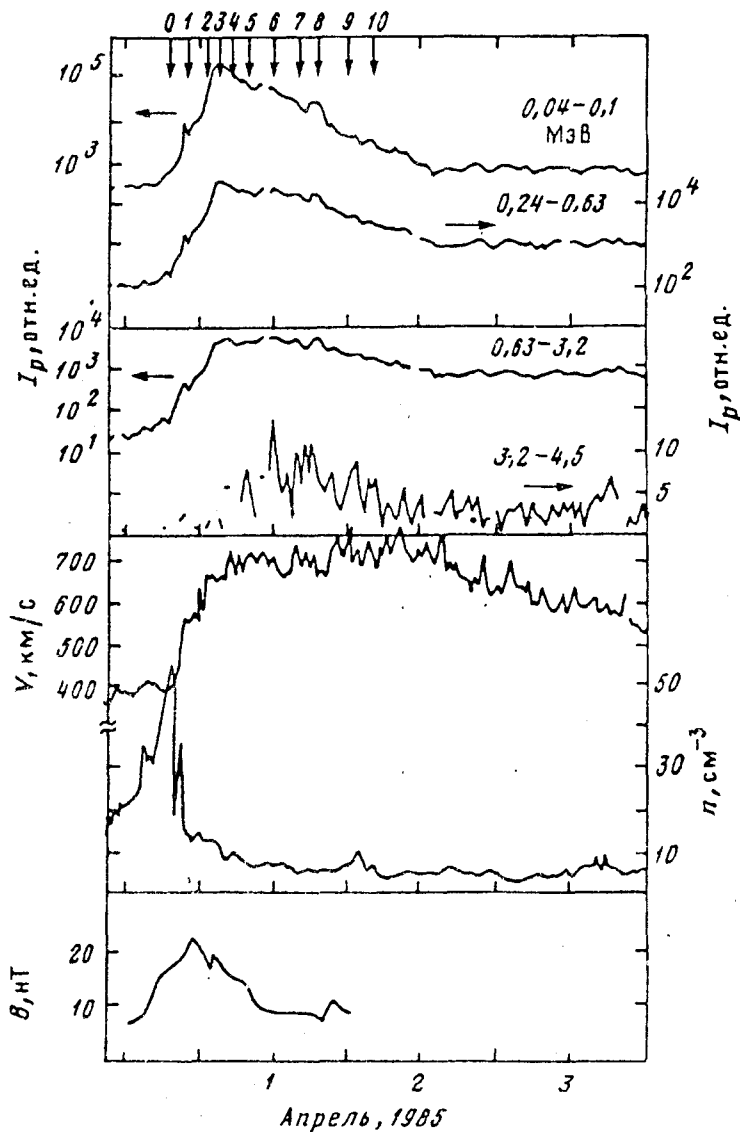


Рис. 5. Временные зависимости интенсивности  $I_p$  протонов различных энергий, скорости  $V$  и плотности  $n$  солнечного ветра, а также напряженности межпланетного магнитного поля  $B$  в РВ на солнечном обороте  $N_{\text{со}} = 2072$  по данным КА «Вега-2». Энергии протонов указаны на рисунке. Горизонтальные стрелки указывают на соответствующие шкалы интенсивности

профиле сдвигается к более поздним временам. Отметим, что при энергиях ниже 10 кэВ потоки частиц достигают максимума интенсивности вблизи момента максимума температуры солнечного ветра [11].

Стрелками, пронумерованными от 0 до 10, на рис. 5 обозначены моменты времени, для них построены дифференциальные энергетические спектры. Как видно из рис. 6, степенной закон изменения интенсивности с энергией  $dI/dE \sim E^{-\gamma}$  служит хорошей аппроксимацией только для ранней стадии событий. При сдвиге по азимуту наклон спектра в области энергий протонов  $0,04+1,0$  МэВ уменьшается, в то время как для энергий выше 1 МэВ изменение наклона крайне мало.

Для остальных РВ, зарегистрированных на КА «Вега-1», спектры ведут себя подобным образом (таблица). Вблизи максимума интенсивности и за ним энергетические спектры могут быть описаны с помощью двух степенных функций с показателями  $\gamma_1$  для протонов  $0,04+1$  МэВ и  $\gamma_2$  для протонов  $>1$  МэВ, при этом  $\Delta\gamma_1$  отражает изменение  $\gamma_1$  в течение событий.

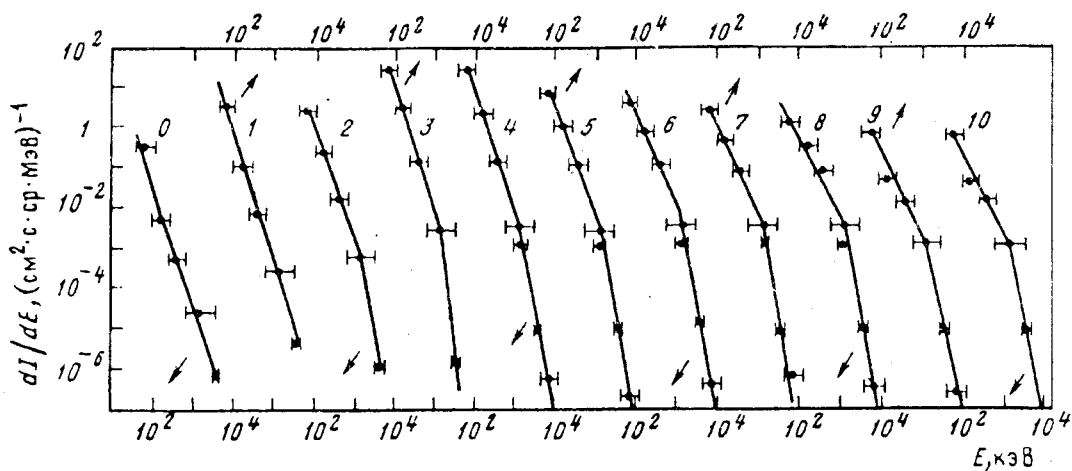


Рис. 6. Дифференциальные энергетические спектры  $dI/dE$  протонов в различные моменты времени в РВ на обороте  $N_{CO} = 2072$ . Цифры 0+10 у спектров относятся к моментам времени, показанным стрелками на рис. 5. Стрелки у спектров указывают на соответствующие энергетические шкалы

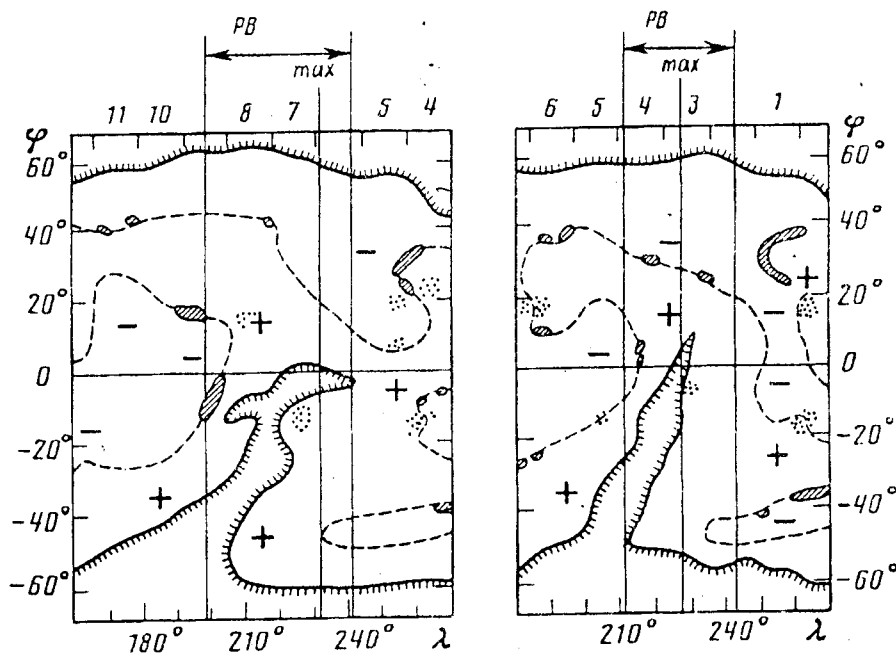


Рис. 7. Области синоптических карт Солнца на солнечных оборотах  $N_{CO} = 1757$  (слева) и  $N_{CO} = 1758$  (справа) по Кэррингтону [7].  $\varphi$  — широта,  $\lambda$  — долгота. Штриховые кривые — нейтральные линии, сплошные кривые со штриховкой — границы корональных дыр. Прямые линии ограничивают область долгот, на которую проектируется РВ. Прямая «max» — проекция максимума РВ. Цифры сверху — календарные дни января (слева) и февраля (справа) 1985 г.

#### 4. Связь РВ с активными образованиями на Солнце

Выделенные нами ранее две части серии РВ различались также по тому, какие активные образования на Солнце (по данным синоптических карт Солнца [7]) были расположены на долготах вблизи проекций РВ, построенных с помощью одновременно измеренной скорости солнечного ветра. На рис. 7 дана часть синоптической карты для кэррингтоновских долгот  $160 \pm 270^\circ$  СО 1757, 1758 (по Кэррингтону). Долготы, на которые проектируются РВ, обозначены вертикальными линиями на половине максимальной величины интенсивности РВ и в

Событие (1985 г.)	0,6+1,0 МэВ	>1,0 МэВ	
	$\gamma_1$	$\Delta\gamma_1$	$\gamma_2$
7 ÷ 10.I	2,7 ÷ 1,4	1,3	4,0 ÷ 4,3
4 ÷ 6.II	2,0 ÷ 1,2	0,8	4,0 ÷ 4,3
4 ÷ 5.III	1,7 ÷ 0,3	1,4	4,3 ÷ 4,4
31.III ÷ 4.IV	3,0 ÷ 1,8	1,2	4,8 ÷ 5,0

максимуме РВ. Видно, что возрастание проектируется на корональную дыру протяженностью от южного полюса до экватора.

На рис. 8 для солнечных оборотов с номерами от  $N_{CO} = 1735$  по  $N_{CO} = 1762$  по Кэррингтону приведены долготы проекций максимумов интенсивности всех 26 рекуррентных событий, а также других возрастных протонов  $0,97 \pm 1,85$  МэВ совместно с проекциями корональных дыр. Для каждого СО корональная дыра характеризуется двумя размерами по гелиодолготе: вблизи экватора ( $10^\circ N$  —  $10^\circ S$ ) и на широте  $55^\circ N$  или  $55^\circ S$ . Это показано различной наклонной штриховкой. Из рис. 8 видно, что в рассматриваемый период длительно существовали две корональные дыры: одна, начинавшаяся на южном полюсе, другая — на северном. Другие, более мелкие дыры, для упрощения рисунка не приводятся. Для некоторых событий рассматриваемой серии ( $N_{PB} = 1+7, 10+12, 16+24$ ) РВ проектировались на гелиодолготы, вблизи которых находились активные области. В случае событий с  $N_{PB} = 10+13$  вблизи проекций РВ были отмечены небольшие корональные дыры, не достигавшие полюсов. Во второй части серии ( $N_{PB} = 17+26$ ), в которой события отличались большей интенсивностью протонов, РВ проектировались на долготы, на которых располагалась корональная дыра протяженностью от южного полюса до экватора. На этих оборотах РВ сопровождалась высокоскоростным солнечным ветром со скоростью до 750 км/с. Таким образом, наличие или отсутствие корональной дыры в области проекции РВ и, соответственно, наличие или отсутствие высокоскоростного потока солнечного ветра, связанного с дырой, существенно сказывается на интенсивности РВ. При этом нельзя сделать определенного вывода по вопросу, служит ли корональная дыра источником частиц РВ, так как в течение первых 16 оборотов и последнего 26-го оборота рассматриваемой серии РВ регистрировались, в то время как дыра не существовала.

## 5. Обсуждение результатов

I. Временное поведение и энергетические спектры протонов РВ, сопровождающихся потоками высокоскоростного солнечного ветра и испытывающих значительное ускорение в коротящих областях взаимодействия в межпланетном пространстве, подобны временному поведению и спектрам протонов в областях межпланетного пространства перед и после ударной волны [12].

Действительно, в области перед ударной волной спектры частиц степенные и увеличение энергии частиц происходит при последовательных отражениях от движущихся неоднородностей магнитного поля (механизм Ферми первого рода). Спектры в ранней фазе событий РВ (0 и 1 на рис. 6), по-видимому, можно объяснить в рамках этого процесса. Область за ведущим краем высокоскоростного потока аналогична области после ударной волны для событий, связанных с ударной волной. В этой области коэффициент диффузии протонов в  $(V_2/V_1)^2$  раз меньше, чем в области перед ударной волной, и, следовательно, частицы эффективно ускоряются ( $V_1$  и  $V_2$  — скорость плазмы в областях до ударной волны и после нее). По модели ускорения [13], учитывающей диффузию, конвекцию и адиабатическое охлаждение, увеличение потока частиц пропорционально уменьшению коэффициента диффузии. При этих условиях эффективно турбулентное ускорение частиц на альвеновских и магнитозвуковых волнах (ускорение Ферми



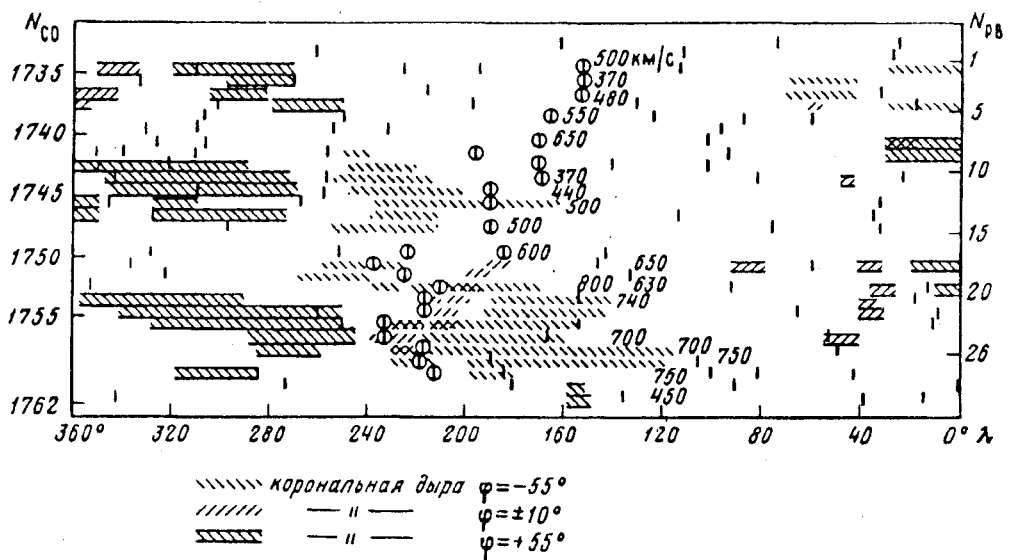


Рис. 8. Кэррингтоновские долготы корональных дыр (наклонная штриховка) и проекции максимумов возрастных интенсивности протонов малых энергий (вертикальные штрихи) на различных оборотах Солнца. Проекция максимумов РВ обведены кружками.  $N_{CO}$  — номер оборота по Кэррингтону,  $N_{PB}$  — номера РВ в рассматриваемой серии. Цифры на рисунке дают максимальную скорость солнечного ветра (км/с) во время РВ по данным [9]. Под рисунком показан вид штриховки в зависимости от гелишироты корональной дыры

второго рода). Из рис. 6 и таблицы видно, что энергетический спектр протонов в области энергий, меньших 2—3 МэВ, становится более жестким за ведущим краем высокоскоростного потока и, возможно, спектр во всей области энергий приближается к экспоненциальному, который характерен для турбулентного ускорения [14].

II. Несмотря на отмеченную ранее значительную роль в образовании РВ механизмов ускорения частиц в межпланетном пространстве, существование серии РВ такой длительности трудно объяснить исключительно в рамках этих механизмов. Как было показано, рекуррентным возрастаниям первой части серии не соответствует корональная дыра и нет связанного с ней долгоживущего высокоскоростного потока солнечного ветра в отличие от второй части серии.

В [15] было получено распределение числа высокоскоростных потоков по дням СО (по нумерации Бартельса) за 21 цикл солнечной активности (1976—1984 гг.). Были построены распределения отдельно для коротирующих высокоскоростных потоков солнечного ветра и высокоскоростных потоков, генерированных вспышками, в зависимости от полярности межпланетного магнитного поля. Максимум числа коротирующих потоков ветра при положительной полярности магнитного поля (всего 505 событий) наблюдался на 19-й день СО. Максимумы интенсивности возрастаний, относящихся к изучаемой здесь длительной серии РВ, были зарегистрированы также на 18-й, 19-й дни СО. В предыдущем (20-м цикле) солнечной активности максимум числа коротирующих потоков ветра при положительной полярности магнитного поля был обнаружен на 4-й день СО [15]. Длительная серия РВ из 14 оборотов на спаде 20-го цикла в 1973—1974 гг. [3, 4] также наблюдалась на 4-й, 5-й дни СО. Максимумы чисел коротирующих высокоскоростных потоков при отрицательной полярности межпланетного магнитного поля наблюдались на 17-й день солнечного оборота в 20-м цикле и на 5-й день в 21-м цикле [15]. Длительные серии РВ с ожидаемыми максимумами возрастаний на 17-й и 5-й дни СО в 20-м и 21-м циклах соответственно обнаружены не были. Таким образом, в течение двух последних циклов активности длительные рекуррентные серии возрастаний интенсивности заряженных частиц наблюдались на спаде активности на днях солнечного оборота, при которых

наблюдались максимумы чисел высокоскоростных потоков в периоды положительной полярности межпланетного магнитного поля. Возможно, обнаруженная нами длительная серия РВ в 21-м цикле и серия РВ 20-го цикла являются следствием некоторых фундаментальных активных процессов на Солнце, приводящих наряду с образованием корональных дыр и высокоскоростных потоков солнечного ветра также к появлению рекуррентных возрастаний интенсивности энергичных частиц.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Barnes C. W., Simpson J. A. Evidence for interplanetary acceleration of energetic nucleons//Astrophys. J. 1976. V. 203. L. 149.
2. Gold R. E., Roelof E. C. Energetic particle recurrence and escape during solar cycle 20//Proc. 16-th Intern. Cosmic Ray Conf. Kyoto, 1979. SP-13. P. 46.
3. Christon S. P. On the origin of the MeV energy nucleon flux associated with CIR's//J. Geophys. Res. 1981. V. 86. № A11. P. 8852.
4. Зельдович М. А., Логачев Ю. И. Рекуррентные возрастания интенсивности частиц малых энергий по измерениям на ИСЗ «Прогноз-3»//Космич. исслед. 1981. Т. 19. № 1. С. 53.
5. Tsurutane B. T., Smith E. J., Pyle K. R., Simpson J. A. Energetic protons accelerated at corotating shocks: Pioneer 10 and 11 observations from 1 to 6 AU//J. Geophys. Res. 1982. V. 87. № A9. P. 7389.
6. Logachev Yu. I., Stolpovskii V. G., Zeldovich M. A. et al. Recurrent enhancements of energetic particle intensity during the decreasing phase of 21-th solar activity cycle//Proc. 21-th Intern. Cosmic Ray Conf. Adelaide, 1990. V. 5. P. 320.
7. Solar Geophysical Data, Boulder, 1983—1985.
8. Базилевская Г. А., Вашенюк Э. В., Ишков В. Н. и др. Солнечные протонные события. Каталог 1980—1986 гг. МЦДБ. М., 1990.
9. King J. H. Interplanetary magnetic field data book. NSSDC/WDC-A-R, 1987.
10. Riedler W., Schwingensvuh C., Eroshenko E. et al. The Vega magnetic field experiment//Field-, particle- and wave-experiments on cometary missions. Proc. Int. Workshop, Graz, Austria, 21—23 October 1985. IWF-Preprint 8501. P. 111.
11. Gringauz K., Klimenko I., Remisov A. et al. The Vega Plasmag-I experiment description and first experimental results//Field-, particle- and wave-experiments on cometary missions. Proc. Int. Workshop, Graz, Austria, 21—23 October 1985. IWF-Preprint 8501. P. 157.
12. Richter A. K., Verigin M. I., Kurt V. G. et al. The January 3, 1978 interplanetary shock event as observed by energetic particle, plasma and magnetic field devices on board of Helios 2 and Prognoz 6//J. Geophys. 1981. V. 50. P. 101.
13. Scholer M., Morfill G. E. Modulation of energetic solar particle fluxes by interplanetary shock waves//Proc. COSPAR Symposium. 1977. AFGL-TR-77-0309.
14. Toptygin I. N. Acceleration of particles by shocks in a cosmic plasma//Space Sci. Rev. 1980. V. 26. P. 157.
15. Rangazajan G. K., Mavromichalaki H. Preferred Bartels days of high speed solar wind streams: an update//Solar Phys. 1989. V. 122. P. 187.

Поступила в редакцию  
18.III.1991