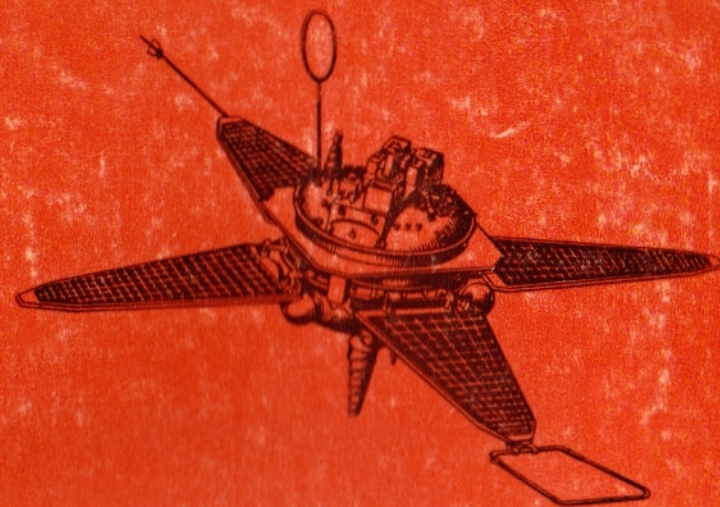


1 р. 70 к.



**ПРОБЛЕМЫ  
СОЛНЕЧНОЙ  
АКТИВНОСТИ  
И КОСМИЧЕСКАЯ  
СИСТЕМА  
«ПРОГНОЗ»**



ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА •



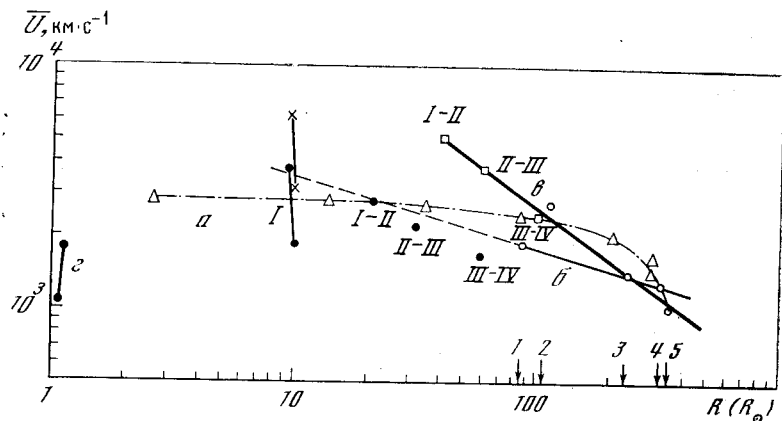


Рис. 2. Зависимость средней скорости ударной волны от гелиоцентрического расстояния

Стрелками отмечены середины интервалов: 1 — Солнце — «Пионер-9»; 2 — Солнце — Земля; 3 — Солнце — «Пионер-10»; 4 — «Пионер-9» — «Пионер-10». Значения  $\bar{U}$ : по радиоданным «Прогноза» (крестики, темные кружки), «Прогноза-2» (звездочки); вычисленные (треугольники); по плазменным измерениям (светлые кружки)

паратах «Пионер» (штриховая часть линии б). Из представленной на рис. 2 зависимости  $\bar{U} = f(R)$  (сплошная часть линии б) по плазменным данным следует, что в интервале 0,8—2,2 а. е. ударная волна от вспышки 4.VIII движется как поршневая волна с небольшим замедлением [7]. Принятая величина начальной скорости  $U_0 = 3000$  км/с хорошо согласуется со значениями средней скорости ударной волны на аппаратах «Пионер», подтверждающая сделанную оценку величины замедления (уменьшение  $\bar{U}$  — прямая а для  $R \geq 100 R_\odot$ ). Это значение не противоречит и величине средней скорости по данным станций «Прогноз», особенно для модели 4N (сплошная линия в).

На рис. 2 для уровней 1,1—1,2  $R_\odot$  проведены значения скорости волны (прямая z) 1100—1700 км/с, полученные по наблюдениям в метровом и декаметровом диапазонах [6]. Сопоставление наблюдательных данных в декаметровом и километровом диапазонах дает оценку начальной скорости волны  $U_0 = 3000$  км/с. По этой скорости в соответствии с [8] вычислено замедление волны  $d \sim U_0^2$  и построена зависимость вычисленной по  $d$  средней скорости волны от расстояния (штрихпунктирная линия а), которая неплохо согласуется с радио- и плазменными данными, особенно для расстояний, больших  $100 R_\odot$ . Для меньших расстояний эта формула дает движение с почти постоянной скоростью, что противоречит радиоданным, согласно которым наблюдается ускорение волны от 1000 до 3000 км/с по оценке для модели N и до 5000 км/с по оценке для модели 4N при движении волны в короне от уровней 1,1—1,2 до  $10 R_\odot$ .

Модель N дает более спокойную по сравнению с моделью 4N картину движения ударной волны: 1) ускорение от 1000 до 3000 км/с на уровнях от 1 до  $10 R_\odot$ ; 2) постепенное замедление до 2000 км/с к высотам в короне  $\sim 80 R_\odot$ .

Картина движения ударной волны для модели 4N: 1) ускорение волны до 5000 км/с на уровнях от 1 до  $10 R_\odot$ ; 2) движение с постоянной скоростью  $\sim 5000$  км/с до  $50 R_\odot$ ; 3) замедление волны до 3000 км/с к уровню  $100 R_\odot$ , что достаточно хорошо согласуется с плазменными данными.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fainberg J., Stone R. G. Space Sci. Rev., 1974, 16, 1—2, 145.
2. Malitson H. H., Fainberg J., Stone R. G. — Astrophys. J., 1973, 183, 435.
3. Смыш В. И. — Астрон. ж., 1967, 44, № 94.
4. Malitson H. J., Fainberg J., Stone R. G. — Astrophys. Letters, 1973, 14, 2.
5. Григорьева В. П., Застенкер Г. Н., Темный В. В. — Препринт. М. ИКИ АН СССР, 1975, Д—189.
6. Collected Data Reports on August 1972 Solar-Terrestrial Events. H. E. Coffey (Eds.). Rept UAG-28, 1973, NOAA.
7. Вайсберг О. Л., Застенкер Г. Н., Камбу Ф. и др. — Космические исследования, 1975, 13, вып. 6.
8. Любимов Г. П. Астроном. циркуляр, 1968, 4, № 488.

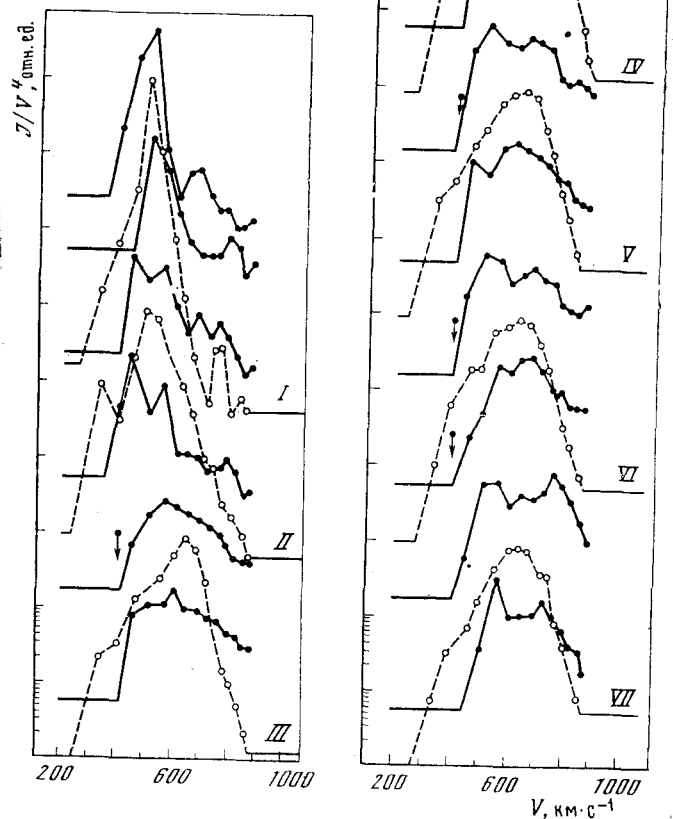
#### ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОТОННОЙ И $\alpha$ -КОМПОНЕНТ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПОСЛЕ ПРОХОЖДЕНИЯ МЕЖПЛАНЕТНЫХ УДАРНЫХ ВОЛН ПО ИЗМЕРЕНИЯМ НА СТАНЦИИ «ПРОГНОЗ»

А. А. Зерцалов, О. Л. Вайсберг, Г. Н. Застенкер, В. В. Темный, М. З. Хохлов

При постановке экспериментов на станциях «Прогноз» значительное внимание уделялось исследованиям солнечного ветра. Так, на станции «Прогноз» с помощью энергомасс-анализатора РИП-803 был проведен один из первых экспериментов по разделному измерению протонной и  $\alpha$ -компонент солнечного ветра [1]. Селективные измерения протонной и  $\alpha$ -компонент позволили исследовать их характеристики после прохождения ударных волн в условиях повышенной активности в межпланетной среде, т. е. в тех случаях, когда получение результатов с использованием неселектирующих приборов, как правило, невозможно [1].

**Рис. 1.** Последовательности функций распределения по скоростям  $\alpha$ -частиц (штриховые линии) и протонов (сплошные линии), полученные по измерениям 30 мая 1972 г.

Масштаб по оси ординат логарифмический для каждой функции



Для анализа характеристик компонент были выбраны измерения солнечного ветра, выполненные после прохождения ударных волн 15 и 30 мая 1972 г., поскольку в этих событиях были зарегистрированы значительные и длительные изменения спектров обеих компонент, позволившие провести детальный анализ различий их параметров и функций распределения (см. работу [2]).

На рис. 1 приведены последовательные функции распределения по скоростям  $\alpha$ -частиц и протонов, полученные по измеренным прибором спектрам во время событий 30 мая. Спектры прото-

нов измерялись примерно через 22 мин, спектры  $\alpha$ -частиц — примерно через 44 мин. Таким образом, спектр протонов измерялся каждый раз как до, так и после измерения спектра  $\alpha$ -частиц. Римскими цифрами на рис. 1 обозначены последовательные функции распределения  $\alpha$ -частиц. Функция распределения  $\alpha$ -частиц, обозначенная цифрой I, и относящиеся к ней функции распределения протонов получены в невозмущенном солнечном ветре, остальные — после прохождения ударной волны. Точки со стрелками представляют верхнюю границу для левого края данной функции распределения. Отсчеты на соответствующей энергетической ступени спектра весьма малы и фактически находятся на уровне фона, однако из-за большой относительной величины  $J/V^4$  эти малые показания могут существенно менять левый край функции распределения.

Параметры компонент определялись путем аппроксимации их функций распределения конвектированным максвелловским распределением. На рис. 2 приведены скорости и температуры компонент для событий 15—16 мая. На этом же рисунке приведены значения параметров для протонов (1) и для  $\alpha$ -частиц (2). При этом высота символа соответствует погрешности нахождения величины параметра, а ширина — времени сканирования спектрального интервала. Поскольку функции распределения протонов сильно отличались от максвелловских, определение температуры было выполнено как по всему распределению, так и по его краям. Температуры, определенные по левому краю распределения, показаны для протонов (3) и для  $\alpha$ -частиц (4), а по правому краю — для протонов (5) и  $\alpha$ -частиц (6). Символ (7) обозначает, что температуры протонов, определенные по всему распределению и по одному из краев распределения, примерно равны.

Рассмотрение результатов отдельных измерений протонной и  $\alpha$ -компонент солнечного ветра, выполненных после прохождения ударных волн 15 и 30 мая 1972 г., позволило сделать следующие выводы.

1. Функции распределения  $\alpha$ -частиц более стабильны, ближе к максвелловским, чем это имеет место для протонов; для функций распределения протонов характерен сильно выраженный надтепловой хвост.

2. Изменения параметров протонной и  $\alpha$ -компонент солнечного ветра после прохождения фронта ударной волны могут быть различными. Характерным является более сильное увеличение температуры протонов, так что в течение некоторого времени температуры компонент могут быть близки, затем наблюдается восстановление типичного для солнечного ветра отношения  $T_\alpha/T_p$  за счет более резкого снижения температуры протонов. Скорости компонент в некоторых случаях могут существенно различаться; 15 мая около 24.00 UT скорость протонной компоненты более чем на 100 км/с превышала скорость  $\alpha$ -компоненты в течение примерно 1 часа.

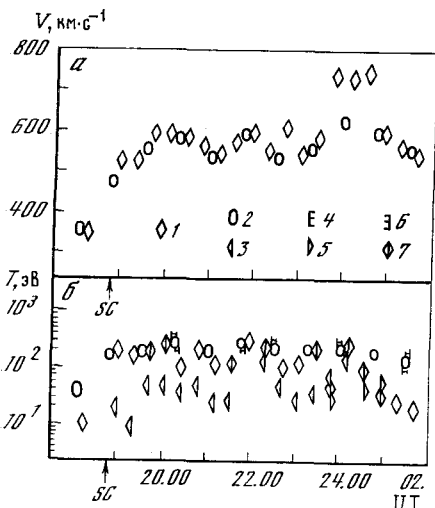
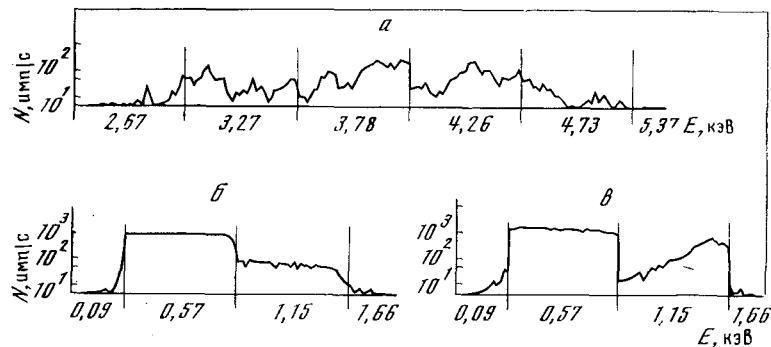


Рис. 2. Скорости (а) и температуры (б) протонной и  $\alpha$ -компонент солнечного ветра после прохождения ударной волны 15 мая 1972 г.

Рис. 3. Типы энергетических распределений  $\alpha$ -частиц, зарегистрированные в солнечном ветре

Энергетические ступени по оси абсцисс разделены вертикальными линиями. Времена регистрации распределений: а — тип А 10.05—10.09 UT 12 августа; б — тип В 21.15—21.17 UT 5 июля; в — тип С 16.53—16.55 UT 5 июля

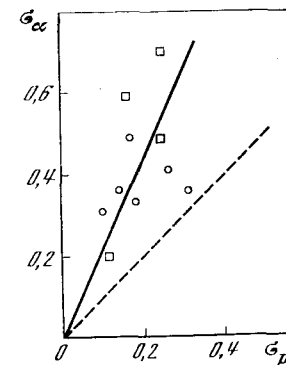


3. Для событий 30 мая наблюдалась двухпотоковая структура протонной компоненты, в то время как спектры  $\alpha$ -компоненты имели один максимум. Оценки показывают, что в этих событиях для протонной компоненты возможно развитие двухпучковой неустойчивости, которая может вызывать значительные флуктуации и более сильный нагрев протонной компоненты.

Измерения, выполненные с помощью энергомасс-анализатора РИП-803, позволили выявить еще одну особенность поведения межпланетной плазмы в активные периоды. Для этого были использованы данные измерений с повышенной частотой опроса, которые были проведены несколько раз в течение времени работы станции одновременно с обычным режимом измерений [3]. Их особенность состояла в следующем: показания прибора измерялись с частотой 0,78 Гц, в то время как смена энергетических интервалов производилась один раз в 41 с. Это дало возможность

Рис. 4. Среднеквадратичные отклонения логарифма скорости счета для протонов и  $\alpha$ -частиц

Данные, полученные 5 июня, — кружки, 12 августа — квадраты. Сплошная линия проведена через все экспериментальные точки по методу наименьших квадратов, штриховая — под углом  $45^\circ$  для сравнения



достаточно подробно проследивать изменения сигнала внутри каждого энергетического интервала.

Рассмотрение измерений в трех сеансах с повышенной частотой опроса (5 июня, 5—6 июля и 12 августа 1972 г.) показало, что спектры  $\alpha$ -частиц в этих сеансах можно условно отнести к трем типам, примеры которых даны на рис. 3: тип А — сильные и нерегулярные вариации сигнала внутри энергетического интервала; тип В — малые изменения сигнала внутри энергетического интервала; тип С — монотонные и значительные изменения сигнала внутри одного или нескольких энергетических интервалов.

Анализ совокупности всех данных показал, что сильные и нерегулярные вариации сигнала в спектрах типа А не могут быть объяснены изменениями ориентации прибора. Данные измерений свидетельствуют, что вариации спектральной плотности распределения протонов в рассмотренных случаях можно объяснить изменениями концентрации; вариации спектральной плотности распределения  $\alpha$ -частиц связаны, по-видимому, либо с еще более значительными изменениями концентрации, либо со сложными вариациями функции распределения  $\alpha$ -частиц. Для спектров типа А  $\alpha$ -частиц и соответствующих им спектров протонов была проведена статистическая обработка измеренных сигналов, в результате которой было получено, что среднеквадратичные отклонения плотности потока для  $\alpha$ -частиц всегда больше, чем для протонов, и составляют в среднем  $\bar{\sigma}_\alpha = 180\%$  и  $\bar{\sigma}_p = 60\%$ . Зависимость  $\sigma_\alpha$  от  $\sigma_p$  приведена на рис. 4.

Быстрое увеличение содержания  $\alpha$ -частиц в солнечном ветре через 5—12 час после прохождения межпланетных ударных волн, обсуждаемое, например, в [4, 5], характерно согласно [6] для первой стадии возмущений межпланетной среды, ассоциируемых с солнечными вспышками. Рассмотрение измерений с повышенной частотой опроса, проведенных с помощью энергомасс-анализатора РИП-803, показало, что быстрые и нерегулярные вариации потока  $\alpha$ -частиц также связаны с повышенной активностью в межпланетной среде, однако наблюдаются, как правило, через 1,5—2 сут

и более после прохождения ударных волн. Это позволяет предполагать, что описанные вариации характерны для второй стадии возмущений межпланетной среды, ассоциируемых со вспышками.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вайсберг О. Л., Камбу Ф., Богданов А. В. и др. — Космические исследования, 1976, 14, вып. 4, 569.
2. Зерцалов А. А., Вайсберг О. Л., Темный В. В. — Космические исследования, 1976, 14, вып. 2, 257.
3. Зерцалов А. А., Вайсберг О. Л., Застенкер Г. Н., Холлов М. Э. — Космические исследования, 1974, 12, вып. 5, 716.
4. Ogilvie K. W., Burlaga L. F., Wilkerson T. D. — J. Geophys. Res., 1968, 73, 6809.
5. Robbins D. E., Hundhausen A. J., Vame S. J. — J. Geophys. Res., 1970, 75, 1178.
6. Hundhausen A. J., Vame S. J., Montgomery M. D. — J. Geophys. Res., 1970, 75, 4631.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ПРИ ПОМОЩИ ЛОВУШЕК НА СТАНЦИЯХ «ПРОГНОЗ» и «ПРОГНОЗ-2»

В. В. Безруких, Г. И. Волков, К. И. Грингауз, В. С. Мокров

В настоящей статье рассматривается аппаратура и методика обработки экспериментальных данных, относящихся к определению концентрации и температуры холодных ионов плазмосферы, и приводятся некоторые результаты, полученные на станциях «Прогноз» и «Прогноз-2».

На обеих станциях был установлен комплект широкоугольных детекторов для исследования малоэнергичной плазмы в магнитосфере и в межпланетном пространстве в диапазоне энергий от 1 эВ до 4,2 кэВ [1].

### 1. Аппаратура

Станции серии «Прогноз» в полете были ориентированы на Солнце с точностью  $10^\circ$ . На освещенной стороне станций «Прогноз» и «Прогноз-2» были установлены по 3 ловушки: модуляционная  $L_1$  и две интегральные (плоская  $L_2$  и полусферическая  $L_3$ ). На противоположной от Солнца стороне каждой станции было установлено по одной полусферической ловушке  $L_4$ . Оси симметрии ловушек были параллельны продольной оси станций (рис. 1).

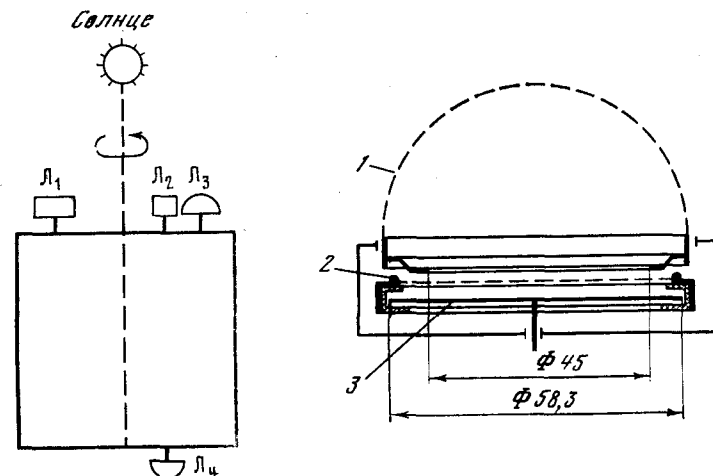


Рис. 1. Расположение ловушек на станциях «Прогноз», «Прогноз-2» для регистрации ионов с  $e\Phi_{сп} < E \leq 4200$  эВ ( $L_1$ ); с  $E_i \geq 40$  эВ ( $L_2$ ) и с  $E_i > e\Phi_{сп}$  ( $L_3, L_4$ )

Рис. 2. Схема полусферической ловушки

1 — сетка  $C_1$  (потенциал 0 В); 2 — сетка  $C_2$  (потенциал — 70 В); 3 — коллектор (потенциал — 20 В)

Коллекторный ток ловушки  $L_2$  мог создаваться ионами с энергиями  $E_i > 40$  эВ и электронами с  $E_e > 70$  эВ, а ток ловушки  $L_3$  — ионами с  $E_i \geq e\phi$  ( $\phi$  — потенциал станции относительно плазмы) и электронами с  $E_e > 70$  эВ. Кроме того, вклад в токи интегральных ловушек, освещенных Солнцем, давала фотоэмиссия с деталей конструкции ловушки, расположенных внутри нее. Фотоэлектрическая составляющая тока ловушки менялась незначительно вследствие малых вариаций ориентации ловушки относительно направления на Солнце и может быть определена при сопоставлении показаний ловушек  $L_1$  и  $L_3$ , полученных во время полета станции в невозмущенном межпланетном пространстве.

Вариации тока, зарегистрированные ловушкой  $L_3$ , и отсутствие соизмеримых с ними по величине вариаций тока ловушки  $L_2$  интерпретировались как вариации потока тепловых ионов.

Для определения ионной концентрации использовались свободные от фототока показания затененной ловушки  $L_4$ , у которой угол атаки (угол между осью симметрии ловушки и направлением полета станции) был к тому же более благоприятным в течение большей части периода активного существования обеих станций, чем у освещенной ловушки.

Схема полусферической ловушки изображена на рис. 2. Наружная сетка ловушки  $C_1$  изготовлена из никелевого полотна