

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



ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА •

М.И. Веригин

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ В МЕЖПЛАНЕТНОЙ СРЕДЕ ПРИ ПОМОЩИ ШИРОКОУГОЛЬНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА СТАНЦИИ "ПРОГНОЗ-6"

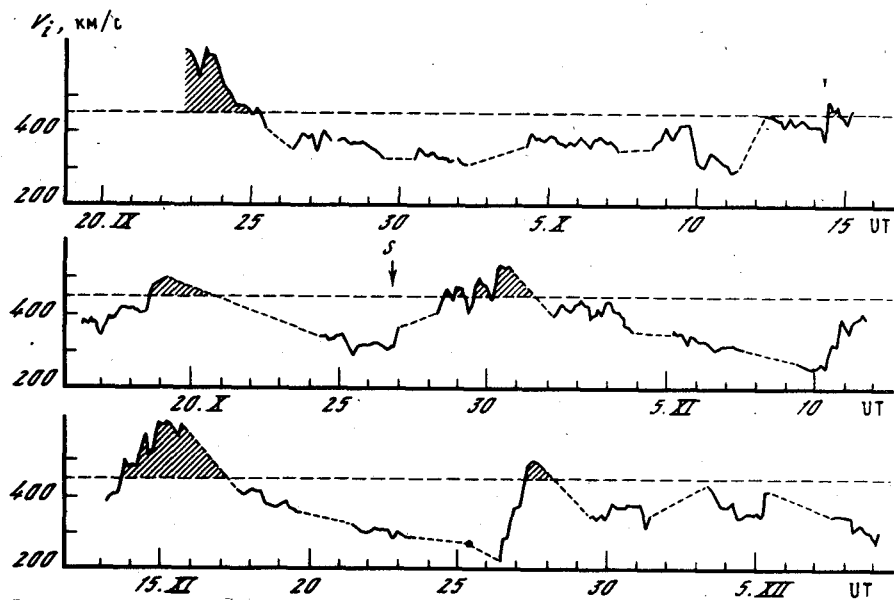
Автоматическая станция "Прогноз-6", выведенная на орбиту 22. IX 1977 г., стабилизировалась вращением с угловой скоростью $\approx 3^\circ/\text{с}$ относительно оси, совпадающей с точностью до 10° с направлением на Солнце.

При интерпретации измерений ионной и электронной компонент солнечного ветра, выполненных на "Прогнозе-6" при помощи широкоугольных плазменных датчиков, основное внимание уделялось исследованию межпланетных ударных волн. Анализ связанных с ними явлений проводился с привлечением результатов одновременных измерений магнитного поля, энергичных частиц и данных других спутников. Настоящая статья является сжатым изложением результатов работ, выполненных совместно сотрудниками ИКИ АН СССР, НИИЯФ МГУ, ИЗМРАН СССР, Центрального института физических исследований Венгерской АН и Института астрономии общества Макса Планка (ФРГ). После краткого описания аппаратуры ниже будут приведены некоторые результаты измерений в межпланетной среде, выполненных при помощи станции "Прогноз-6".

Измерение дифференциальных энергетических спектров ионной компоненты плазмы на этой станции осуществлялось модуляционным методом в 16 энергетических интервалах в диапазоне энергий $0 \div 4400 \text{ эВ}$. Диаграмма направленности широкоугольного ионного датчика ($\pm 45^\circ$) была ориентирована в солнечном направлении параллельно оси вращения станции. Измерения электронной компоненты плазмы проводились также при помощи широкоугольного датчика, на анализирующие сетки которого подавались 16 значений тормозящего напряжения в диапазоне $0 \div 300 \text{ В}$. Диаграмма направленности этого прибора ($\pm 40^\circ$) была ориентирована в антисолнечном направлении. Измерение токов ионного I_i и электронного I_e датчиков проводилось один раз в 10,24 с. Таким образом, для измерения энергетических спектров ионов и электронов требовалось ≈ 2 мин 44 с. Используемая аппаратура незначительно отличается (датчики идентичны) от приборов, ранее работавших в плазменных экспериментах в окрестности Марса ("Марс-2, -3, -5"), Венеры ("Венера-9, -10") и Земли ("Прогноз-4, -5"), и более подробно описана в [1, 2].

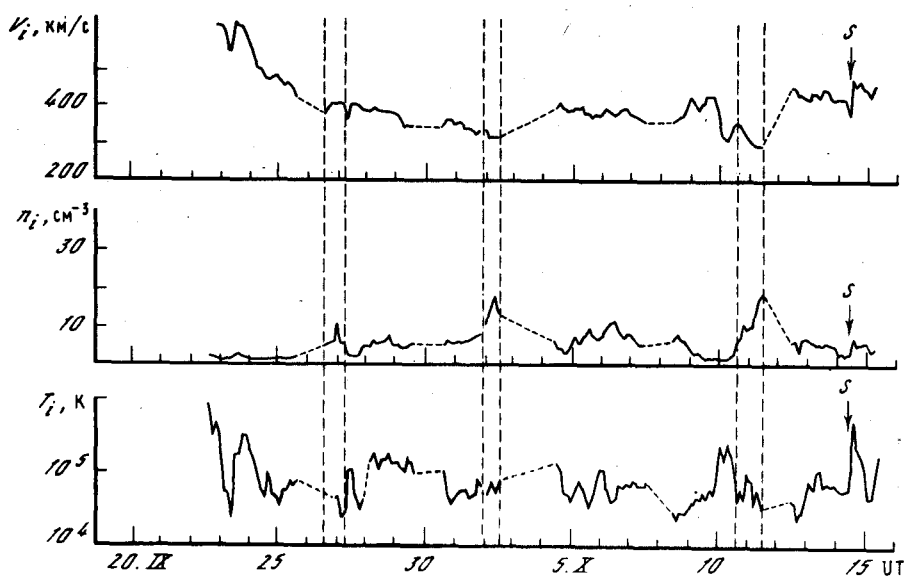
По энергетическим спектрам ионов, измеренным в интервале времени, когда станция была в солнечном ветре, определялись концентрация n_i , переносная скорость V_i и температура T_i протонов при сравнении каждого измеренного спектра с "библиотечными", рассчитанными при известных значениях этих параметров с учетом угловых и энергетических характеристик датчика. С рассчитанными спектрами сравнивались измерения I_i только в трех энергетических интервалах в окрестности имеющего наибольшее значение I_i . На рис. 1 приведены значения переносной скорости протонов солнечного ветра V_i , усредненные по трехчасовым интервалам за время трех последовательных оборотов Солнца (позже "Прогноз-6" из-за эволюции орбиты входил в солнечный ветер только на короткие отрезки времени). На рис. 2 для одного из оборотов Солнца приведены также значения концентрации n_i и температуры T_i протонов.

Плазменные измерения в солнечном ветре на "Прогнозе-6", по кото-



Р и с. 1. Усредненная по трехчасовым интервалам времени скорость солнечного ветра V_i на протяжении трех последовательных оборотов Солнца (сентябрь – декабрь 1977 г.)

Высокоскоростные потоки выделены штриховкой, штриховая линия – интерполяция



Р и с. 2. Переменная скорость V_i , концентрация n_i и температура T_i протонов солнечного ветра, усредненные по трехчасовым интервалам

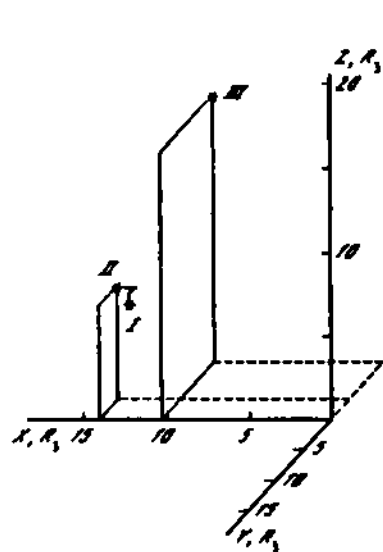
Вертикальные линии – увеличение n_i без увеличения V_i и T_i

рым были определены приведенные на рис. 1, 2 параметры, начались в конце сентября 1977 г., когда после почти годового перерыва резко возросла солнечная активность. Как известно (см., например, [3]), на спадающей части предыдущего 20-го цикла солнечной активности в 1974–1976 гг. структуру солнечного ветра определяли два мощных высокоскоростных потока, которые в основном сохранялись на протяжении многих оборотов Солнца. Источником этих потоков являлись простиравшиеся в отдельных местах до солнечного экватора полярные корональные дыры. В конце 1976 г. структура солнечного ветра изменилась: вместо стабильных и широких высокоскоростных потоков стало регистрироваться много мелких и нерегулярных потоков, существенно изменяющихся за 1–2 оборота Солнца. Как можно видеть из рис. 1, рост солнечной активности начался после сентября 1977 г., а структура солнечного ветра осталась в значительной степени нерегулярной. Штриховкой на этом рисунке отмечены интервалы времени, соответствующие высокоскоростным потокам в солнечном ветре ($V_i \geq 450$ км/с). Хотя выделенные потоки и имеют тенденцию к повторению с периодом 27 дней, однако за это время они претерпевают крупные изменения. Высокоскоростные потоки, наблюдавшиеся в начале каждого из трех 27-дневных интервалов (см. рис. 2), по-видимому, связаны с корональной дырой, находящейся в окрестности солнечного экватора, прохождение которой через центральный меридиан регистрировалось по наземным данным [4] несколькими днями раньше.

Интервал времени, приведенный на рис. 2, интересен тем, что в нем трижды наблюдались случаи увеличения концентрации солнечного ветра без увеличения скорости и температуры ионов (Noncompressive Density Enhancements – NCDE). Подобные события были впервые обнаружены в данных измерений солнечного ветра на спутниках "Vela" на спаде цикла солнечной активности (1971–1974 гг.) [5, 6]. На станции "Прогноз-6" NCDE зарегистрированы на возрастающей части цикла солнечной активности. Природа таких событий пока не имеет надежного физического объяснения; предполагается, что они связаны с эруптивными протуберанцами или небольшими солнечными вспышками, но роль NCDE в энергетике солнечного ветра представляется достаточно важной.

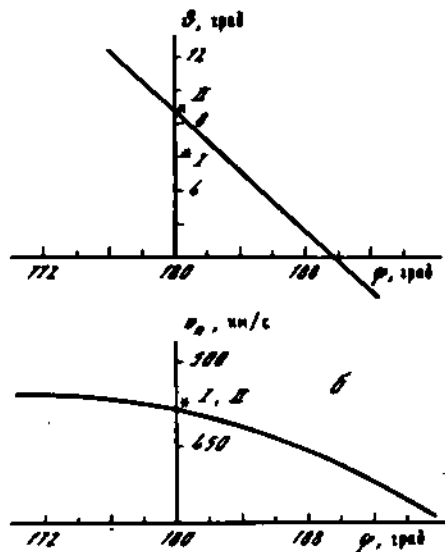
В период работы станции "Прогноз-6" в солнечном ветре установленными на нем приборами было зарегистрировано несколько межпланетных ударных волн, отмеченных буквой S на рис. 1, 2. Рассмотрим событие 26. X в 23.28.40 UT, вызвавшее на Земле магнитную бурю с внезапным началом (SC) [4], более подробно [7]. Это событие представляет интерес, так как является одним из немногих случаев, когда одна и та же межпланетная ударная волна была отмечена тремя спутниками, размещенными в пространстве на расстояниях друг от друга, существенно меньших радиуса кривизны фронта. На 70 ± 3 с раньше "Прогноза-6" фронт ударной волны был отмечен в данных спутника ISEE-2 и спустя 0,65 с после этого – на спутнике ISEE-1 [8]. Взаимное положение станции и двух спутников показано на рис. 3 в солнечно-эклиптических координатах.

Используя только времена прохождения фронта межпланетной ударной волны от спутника ISEE-2 до спутника ISEE-1 (τ) и станции "Прогноз-6" (T) и векторы r и R положений этих аппаратов относительно ISEE-2, можно записать условие, которому должен удовлетворять вектор нормали к фронту: $r \cdot n/\tau = R \cdot n/T (= v_n)$. В этом условии v_n – скорость фронта ударной волны по его нормали. На рис. 4 показана связь между широтным ϑ и азимутальным φ углами, определяющими вектор нормали в солнечно-эклиптической системе координат, и между v_n и φ , накладываемая приведенным выше соотношением. Звездочками на рис. 4а показаны резуль-



Р и с. 3. Взаимное положение станции "Прогноз-6" (III) и спутников ISEE-1, 2 (I, II; расстояние между ними увеличено на рис. в 20 раз) 26.X 1977 г. на момент прихода межпланетной ударной волны

Р и с. 4. Зависимость между широтным θ и азимутальным углами вектора нормали к фронту межпланетной ударной волны 26.X 1977 г. (a) и между скоростью фронта по его нормали v_n и φ (б), определенные по времени его регистрации на станции "Прогноз-6" и ИСЗ ISEE-1, 2



таты определения θ и φ с использованием теоремы компланарности по данным спутников ISEE-1, 2 I, II [8]. В пределах ошибок измерений оба способа определения привели к близким результатам. Полученная в [8] величина (показана звездочкой на рис. 4,б) также согласуется с ограничениями, накладываемыми на нее из чисто геометрических соображений.

Определение нормали к фронту ударной волны по данным одного-двух спутников всегда опирается на необходимость использования в расчетах тех или иных физических представлений. Например, теорема компланарности является следствием использования магнитогидродинамической модели плазмы с идеальной проводимостью и изотропным давлением. Выбор конкретного способа оценки n определяется имеющимся в распоряжении экспериментатора набором данных. Сопоставление в различных условиях таких методов с методами, не использующими физических соображений (см. выше), в принципе могло бы выявить границы применимости использованных при оценке n моделей плазмы. Однако реально такое сопоставление может дать надежные результаты только в тех случаях, когда состояние межпланетной среды и магнитного поля спокойно до и после прохождения фронта ударной волны. Последнее выполняется лишь в достаточно слабых ударных волнах с малым числом Маха. Для рассматриваемой выше межпланетной ударной волны число Маха невелико; используя результаты плазменных и магнитных измерений на "Прогнозе-6", альвеновское, звуковое и магнитозвуковое числа Маха, можно оценить соответственно как $\approx 2,2$, ≈ 3 и $\approx 1,8$.

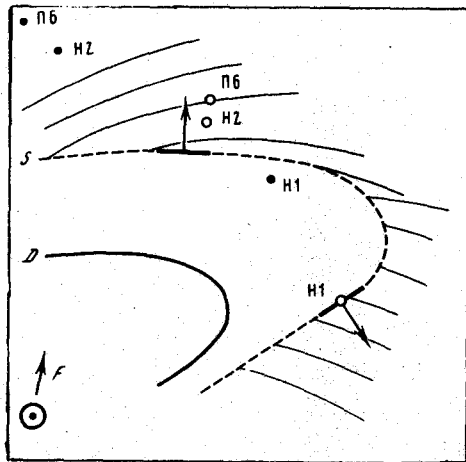
Если расположенные близко друг от друга спутники могут дать надежную информацию о локальных свойствах межпланетной ударной волны

(ее скорости, направлении движения и т. д.), то космические аппараты, находящиеся на больших расстояниях друг от друга, позволяют понять и описать в целом явления, происходящие при распространении ударной волны от вспышки на Солнце. Ниже будет приведен пример такого описания [10] для ударной волны, распространяющейся в межпланетном пространстве послесолнечной вспышки балла 2N, происшедшей в области с координатами 21°S , 06°E в 21.45 UT 1. I 1978 г.

На рис. 5 показано положение в межпланетном пространстве станции "Прогноз-6" и космических аппаратов "Helios-1, -2" на момент солнечной вспышки F. Межпланетная ударная волна распространялась в спокойном, но неоднородном в азимутальном направлении солнечном ветре. Плазменные измерения, проводившиеся на всех трех космических аппаратах, позволили восстановить крупномасштабную структуру солнечного ветра. На рис. 6 представлены часовые средние значения скорости солнечного ветра по данным космических аппаратов "Helios-1, -2" и IMP-J. Использование результатов плазменных измерений, выполненных на IMP-J [11] и "Прогнозе-6", находящихся на одной и той же гелиографической долготе, позволяет получить более полное покрытие исследуемого интервала времени. Приведенные на рис. 6 данные "Прогноза-6", в это время в основном находившегося в переходной области, нормированы по данным измерений IMP-J в солнечном ветре.

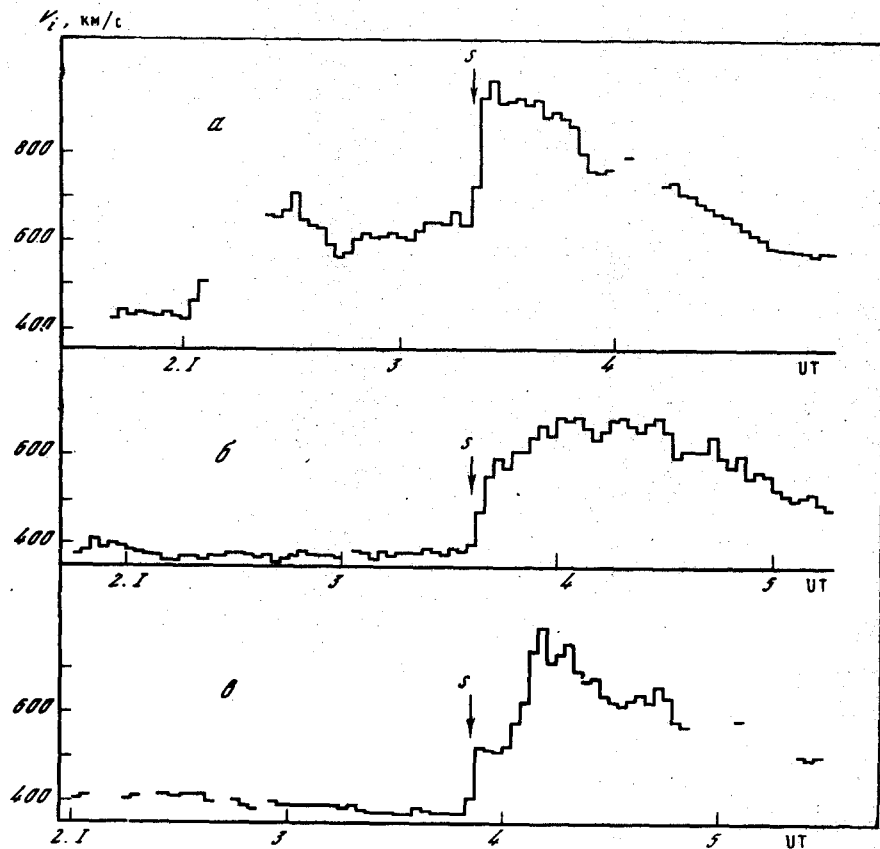
Как можно видеть из рис. 6, фронт ударной волны первым достиг космического аппарата "Helios-1" (8.39 UT), после этого в 14.49 UT был зарегистрирован на "Helios-2" и в 20.49 UT на "Прогнозе-6". Перед приходом вспышечной ударной волны "Helios-2" и "Прогноз-6" (если бы он был в апогее) несколько суток находились в спокойном солнечном ветре ($V_f \approx \approx 400$ км/с). В отличие от них перед приходом межпланетной ударной волны "Helios-1" находился в высокоскоростном потоке ($V_f \approx 600$ км/с, рис. 6). Распределение крупномасштабного межпланетного магнитного поля, согласующееся с описанным выше распределением скоростей солнечного ветра и восстановленное по этим скоростям (спирали Паркера) на момент прихода ударной волны на "Helios-1", приведено на рис. 5. Примерная форма ударной волны от вспышки 1. I 1978 г. на этом рисунке показана в соответствии с результатами определения нормали к фронту n (стрелки) по данным измерений на космических аппаратах "Helios-1, -2". Нормали к фронту ударной волны определялись предложенным в работе [12] методом с использованием усредненных по ≈ 5 -минутным интервалам до и после прохождения фронта значениям концентрации, вектора переносной скорости плазмы и вектора магнитного поля. Вытянутость поверхности фронта ударной волны в восточном направлении (рис. 5), по-видимому, можно объяснить тем, что возмущение от вспышки 1. I 1978 г. распространялось частично в спокойном солнечном ветре, а частично (и более быстро) в высокоскоростном потоке.

После прохождения фронта межпланетной ударной волны через космические аппараты (и связанного с этим роста потока кинетической энергии $f_k \approx n m_p V^2 / 2$) продолжала расти в месте нахождения "Helios-1", но стала уменьшаться в месте нахождения "Прогноза-6" и "Helios-2". Согласно феноменологической классификации ударных волн, опирающейся на их динамические свойства в первые 6–12 ч после прохождения фронта [13], можно сделать вывод, что в месте нахождения "Helios-1" наблюдалось A-событие, а в месте нахождения "Прогноза-6" и "Helios-2" — F-событие. Согласно [13] эмпирическому A-событию соответствует поршневая, а F-событию — взрывная ударная волна. Таким образом, согласно критерию [13] можно сделать вывод, что одна и та же межпланетная ударная волна



Р и с. 5. Схема событий, происшедших в межпланетной среде после вспышки F на Солнце 1.1 1978 г. Показаны положения станции "Прогноз-6" (П6) и космических аппаратов "Helios-1, -2" (Н1 и Н2) на момент вспышки (темные кружки) и на момент прихода межпланетной ударной волны на "Helios-1" (светлые кружки)

Р и с. 6. Часовые средние значения скорости солнечного ветра по данным плазменных измерений на космических аппаратах "Helios-1" (а), "Helios-2" (б), "Прогноз-6" и IMP-J (в) в окрестности фронта межпланетной ударной волны после вспышки 1.1 1978 г.



наблюдалась как "поршневая" на "Helios-1" и как "взрывная" — на "Helios-2" и "Прогнозе-6". С этим согласуется и сравнение локальных скоростей обсуждаемой межпланетной ударной волны, наблюдавшихся в местах нахождения космических аппаратов, со средними скоростями, полученными по запаздыванию прихода ударной волны от вспышки на каждый из аппаратов. Ранее о различном в разных направлениях характере ударной волны, генерированной одной и той же вспышкой, по данным комплексных измерений на нескольких космических аппаратах сообщалось, например, в [14]. Важной особенностью обсуждавшихся выше наблюдений является то, что в момент прихода ударной волны все три космических аппарата находились на одинаковых гелиоцентрических расстояниях.

Крупномасштабная структура солнечного ветра (см. рис. 5), восстановленная по данным плазменных измерений, позволяет объяснить некоторые вариации энергичных (1–10 МэВ) протонов, наблюдавшиеся на "Прогнозе-6" и "Helios-1, -2". Непосредственно после вспышки F "Helios-1" отметил быстрое нарастание потока энергичных ионов. Нарастание потока протонов в месте нахождения космического аппарата "Helios-2" и станции "Прогноз-6" было более медленным. Быстрый рост потока энергичных протонов, отмеченный на "Helios-1", объясняется тем, что во время вспышки этот космический аппарат находился на силовых линиях межпланетного магнитного поля, соединяющих его с областью, где произошла вспышка. Это позволило двигающимся вдоль силовых линий энергичным протонам попасть на "Helios-1" намного быстрее, чем на "Прогноз-6" и "Helios-2", так как для последнего протонам было необходимо еще и продиффундировать поперек магнитного поля.

Другая наблюдавшаяся особенность — резкий спад потока энергичных протонов через ~ 4 ч на "Helios-1" или через 14–18 ч на "Прогнозе-6" и "Helios-2" после фронта ударной волны S — может быть связана с взаимодействием таких протонов с плазмой вспышечного происхождения, граница которой обозначена буквой D на рис. 5.

Распространяясь в межпланетном пространстве, генерированные во время вспышки энергичные протоны могут увеличивать свою энергию. Процессы ускорения быстрых заряженных частиц при их взаимодействии с фронтом ударной волны рассматривались на протяжении длительного времени начиная с [15]. Исчерпывающий обзор исследований, затрагивающих эти вопросы, выполнен в работе [16]. Ускорение энергичных частиц согласно [16] происходит вследствие их дрейфа в неоднородном магнитном поле в окрестности фронта ударной волны, приводящего в присутствии электрического поля — $(1/c)V_i \times B$ к увеличению энергии заряженных частиц в несколько раз при благоприятных условиях. Подробные численные расчеты, выполненные в работе [17], показали, что наиболее эффективно ускоряются протоны с начальными скоростями V_p , лежащими в интервале $10 \leq V_p/V_s \leq 100$, где V_s — скорость фронта ударной волны относительно плазмы перед ним. Для перпендикулярных ударных волн ($0^\circ \leq \beta \leq 5^\circ$, где β — угол между магнитным полем до фронта и плоскостью фронта ударной волны) все попадающие на фронт частицы, ускоряясь, проходят через него; в случае $5^\circ \leq \beta \leq 10^\circ$ появляются и ускоренные отраженные частицы, и, наконец, в наклонных ударных волнах ($\beta \geq 10^\circ$) увеличение энергии частиц мало, и не следует ожидать каких-либо эффектов ускорения или модуляции потока энергичных протонов [17]. Характерное время τ_a , в течение которого протон при благоприятных условиях ускоряется межпланетной ударной волной, составляет $(20 \div 50) \omega_c^{-1}$ [18], где ω_c — его циклотронная частота, а время τ_0 , в течение которого на спутнике можно наблюдать протоны, взаимодействующие

с фронтом ударной волны, составляет $\tau_0 \approx 2(r_1 + r_2)/V_a$, где r_1 и r_2 — циклотронный радиус протонов до и после фронта ударной волны, а V_a — скорость фронта относительно космического аппарата. Для протонов с энергией 1,5 МэВ в межпланетном пространстве τ_a и τ_0 порядка 1 мин, и, следовательно, чтобы изучить процессы ускорения таких протонов на межпланетных ударных волнах, необходимо проводить измерения с лучшим разрешением по времени.

На рис. 7 показаны результаты измерений спектров ионной компоненты плазмы I_i потоков энергичных протонов j_p , абсолютной величины B , широтного ϑ и азимутального φ углов магнитного поля, проведенных в окрестности фронта межпланетной ударной волны 3. I 1978 г. В каждом из ионных энергетических спектров энергия регистрируемых частиц увеличивается слева направо от 0 до 4400 эВ. Пересечение межпланетной ударной волны (выделенная вертикальными штриховыми линиями область на рис. 7) легко идентифицируется по характерному изменению энергетических спектров ионов, соответствующему увеличению V_i , T_i и n_i и по увеличению B .

Как можно видеть из приведенных на рис. 7 данных, в окрестности фронта ударной волны наблюдается длившееся ≈ 4 мин значительное возрастание потока протонов с энергией 1,4–5,8 МэВ (так называемое shock-spike), являющееся следствием происходящих в окрестности процессов ускорения энергичных протонов. (Модуляция j_p с периодом ≈ 2 мин связана с вращением спутника.) С другой стороны, при переходе через S направление магнитного поля изменилось на угол $\psi > 10^\circ$ (см. поведение угла ϑ в окрестности S на рис. 7). Для ударной волны, когда векторы магнитного поля до фронта B_1 , после фронта B_2 и нормали к фронту n компланарны, можно показать, что для неслишком больших ψ угол β приблизительно равен $\psi \cdot f/(f-1) > 15^\circ$, где $f = B_2/B_1 \approx 2,5$. В наклонных ударных волнах с такими значениями β согласно [17, 18] эффекты ускорения энергичных заряженных частиц должны отсутствовать. Для устранения расхождения необходимы или модификация рассматривавшихся, или привлечение других механизмов ускорения на ударных волнах.

В заключение сформулируем собранные в настоящей статье некоторые результаты исследований, выполненных в межпланетном пространстве на станции "Прогноз-6":

1) на возрастающей фазе цикла солнечной активности после ее возобновления в сентябре 1977 г. структура солнечного ветра была нерегулярной, высокоскоростные потоки значительно изменялись за время одного оборота Солнца;

2) в это же время в межпланетном пространстве наблюдались случаи увеличения концентрации солнечного ветра, не сопровождающиеся увеличением его температуры и плотности (NCDE);

3) проведено сопоставление нормалей к фронту межпланетной ударной волны, определенной с использованием теоремы компланарности и методом, использующим только времена регистрации фронта на аппаратах "Прогноз-6" и ISEE-1, -2, показавшее их согласие в пределах погрешностей исходных данных;

4) на основании измерений плазмы, магнитного поля и энергичных частиц, проведенных на станции "Прогноз-6" и на космических аппаратах "Helios -1, -2", рассмотрены особенности событий, происходивших в межпланетной среде после вспышки на Солнце 1. I 1978 г. в 21.45 UT;

5) показана возможность ускорения протонов до энергии в несколько мегаэлектронвольт в наклонных ударных волнах. Теоретическое описание этого явления в настоящее время отсутствует.

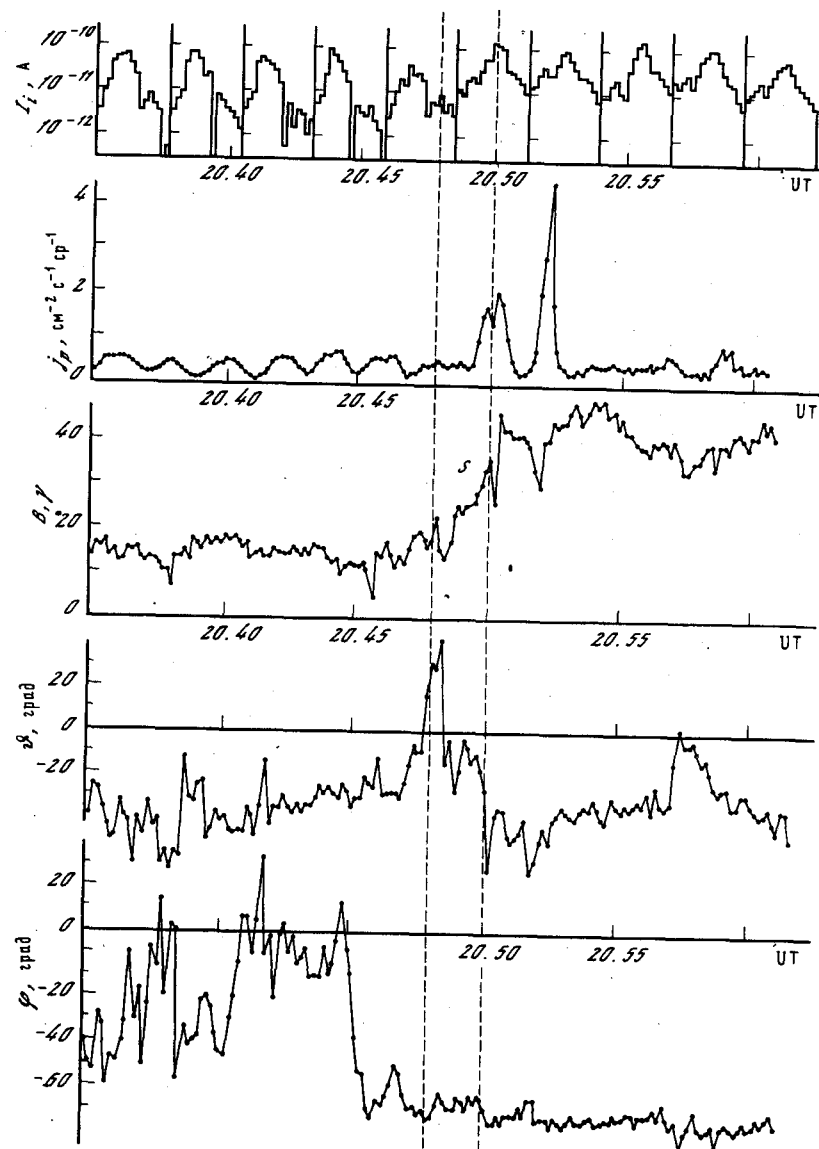


Рис. 7. Результаты измерений спектров ионной компоненты плазмы, потоков энергичных протонов j_p и магнитного поля (B , ϑ , φ) в окрестности фронта межпланетной ударной волны 3. I 1978 г.

В окрестности S отмечен рост потоков энергичных протонов, свидетельствующий о существовании процессов ускорения на наклонной ударной волне

1. Грингауз К.И., Безруких В.В., Волков Г.И. и др. Исследование солнечной плазмы вблизи Марса и на трассе Земля — Марс при помощи ловушек заряженных частиц на советских космических аппаратах 1971—1973 гг. I. Методы и приборы. — Косм. исслед., 1974, т. 12, вып. 3, с. 430.
2. Грингауз К.И., Безруких В.В., Бреус Т.К. и др. Исследование солнечной плазмы вблизи Марса и на трассе Земля — Марс при помощи ловушек заряженных частиц на советских космических аппаратах 1971—1973 гг. II. Характеристики электронов вдоль орбит искусственных спутников Марса "Марс-2" и "Марс-3". — Косм. исслед., 1974, т. 12, вып. 4, с. 585.
3. Rosenbauer H., Schwenn R., Meyer B. et al. The plasma experiment on Helios. — In: NASA Technical memorandum TM 82005, GSFC, Greenbelt, Maryland, 1980, p. 5.
4. Solar Geophysical Data, 1978, pt 1, N 398—400.
5. Gosling J.T., Hildner E.H., Asbridge J.R. Noncompressive density enhancements in the solar wind. — J. Geophys. Res., 1977, vol. 82, N 32, p. 5005.
6. Gosling J.T., Hildner E.H., MacQueen R.M. et al. The speeds of coronal mass ejection events. — Solar Phys., 1976, vol. 48, N 2, p. 389.
7. Gringauz K.I., Verigin M.I., Kotova G.A., Eroshenko E.G. Simultaneous observations of the interplanetary shock wave by Prognoz-6 and ISEE-1, -2 satellites on October 26, 1977. — In: Program and abstracts XVII IUGG General assembly, Canberra, 1979/Ed. by N. Fukusima, p. 335.
8. Russell C.T., Greenstadt E.W. Initial ISEE magnetometer results: Shock observations. — Space Sci. Rev., 1979, vol. 23, N 1, p. 3.
9. Kurt V.G., Stolpovskii V.G., Gombosi T.I. et al. Energetic particle, solar wind plasma and magnetic field measurements on board Prognoz-6 during the large scale interplanetary disturbance of Jan. 3—4 1978. Budapest, 1980. Preprint KFKI—1980—32.
10. Richter A.K., Verigin M.I., Kurt V.G. et al. The 3 January 1978 interplanetary shock event as observed by energetic particle, plasma and magnetic field devices on board of Helios-1, Helios-2 and Prognoz-6. — J. Geophys., 1981, vol. 50, N 1, p. 101.
11. King J.H. Interplanetary medium data book. Supplement 1, 1975—1978. Greenbelt, Maryland, NASA GSFC, 1979.
12. Lepping R.P., Argentiero P.D. Single spacecraft method of estimating shock normals. — J. Geophys. Res., 1971, vol. 76, N 13, p. 4349.
13. Hundhausen A.J. Coronal expansion and solar wind. B.: Springer-Verl., 1972.
14. Burlaga L., Lepping R., Weber R. et al. Interplanetary particles and fields November 22 to December 6, 1977: Helios, Voyager and IMP Observations between 0.6 and 1.6 a.u. — J. Geophys. Res., 1980, vol. 85, N A5, p. 2227.
15. Шабанский В.П. Ускорение частиц при прохождении фронта ударной гидромагнитной волны. — ЖЭТФ, 1961, т. 41, вып. 4 (10), с. 1107.
16. Toptyghin I.N. Acceleration of particles by shocks in a cosmic plasma. — Space Sci. Rev., 1980, vol. 26, N 2, p. 157.
17. Armstrong T.P., Chen G., Sarris E.T., Krimigis S.M. Acceleration and modulation of electrons and ions by propagating interplanetary shocks. — In: Study of travelling interplanetary phenomena/Ed. by M.A. Shea, D.F. Smart, S.T. Wu. Dordrecht-Holland: D. Reidel, 1977, p. 367.

Е.Н. Миронова

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЖЗВЕЗДНОГО НЕЙТРАЛЬНОГО ВОДОРОДА И ГЕЛИЯ В СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЕ

ВВЕДЕНИЕ

На борту автоматических станций "Прогноз-5" и "Прогноз-6" был установлен прибор МПГ для измерения резонансно рассеянного солнечного излучения в линиях H I (λ 1216 Å), He I (λ 584 Å) и He II (λ 304 Å) в атмосфере Земли и межпланетном пространстве. Эксперимент проводился в рамках советско-французского сотрудничества в области космических исследований. Прибор был изготовлен Службой аэронамики Национального центра космических исследований Франции. Обработка данных велась параллельно обоими участниками эксперимента.

В настоящей работе будут рассмотрены результаты исследования нейтрального водорода и гелия в Солнечной системе и ее ближайших окрестностях.

Межзвездный газ движется относительно Солнечной системы, причем направление его движения не совпадает с направлением движения Солнца относительно ближайших звезд. Это явление получило название межзвездного ветра. Нейтральный водород и гелий межзвездного ветра проникают внутрь гелиосферы [1] и могут быть обнаружены благодаря рассеянию ими солнечного излучения в резонансных линиях λ 1216 Å и λ 584 Å соответственно. Эти наблюдения позволяют восстановить параметры межзвездной среды в ближайших окрестностях Солнца (~ 100 а.е.): ее плотность, температуру, скорость и направление движения.

Картина распределения нейтрального водорода и гелия межзвездного происхождения в гравитационном поле Солнца зависит от взаимодействия этих атомов с солнечным ветром, воздействия на них солнечной УФ-радиации, а для водорода и от давления солнечной радиации в линии L_{α} .

Нейтральные атомы гелия проникают внутрь Солнечной системы значительно глубже, чем атомы нейтрального водорода, и фокусируются полем тяготения за Солнцем вдоль направления вектора V_w , являющегося суммой вектора собственной скорости межзвездного ветра V_t и вектора $(-V_s)$, где V_s — вектор скорости Солнца относительно ближайших звезд. Максимум плотности нейтрального гелия лежит внутри земной орбиты.

В дальнейшем направление движения межзвездной среды относительно Солнца, характеризующееся вектором V_w , мы будем называть подветренным направлением.

Поведение атомов нейтрального водорода в значительной степени зависит от соотношения между величиной давления солнечной радиации и силой солнечного притяжения μ . В период максимума солнечной активности сила давления радиации иногда преобладает над тяготением ($\mu \geq 1$) и атомы водорода могут даже отталкиваться от Солнца. В период минимума солнечной активности $\mu \sim 0.5$ и притяжение преобладает над отталкиванием. Однако вследствие ионизации около Солнца (~ 10 а.е.) всегда существует большая полость, внутри которой нейтральные атомы водорода практически отсутствуют. Такая полость существует и для гелия, но она вся находится внутри орбиты Меркурия.

Таким образом, при фотометрических измерениях в линии L_{α} в подветренном направлении должен наблюдаться широкий минимум, которому