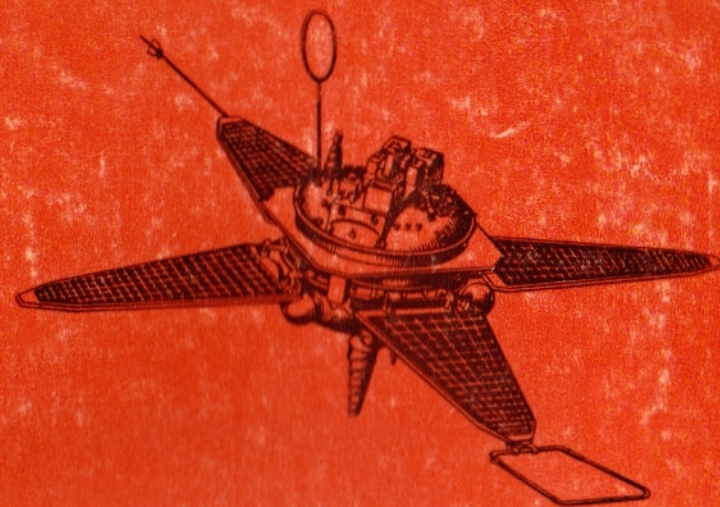


1 р. 70 к.



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



ИЗДАТЕЛЬСТВО • НАУКА •

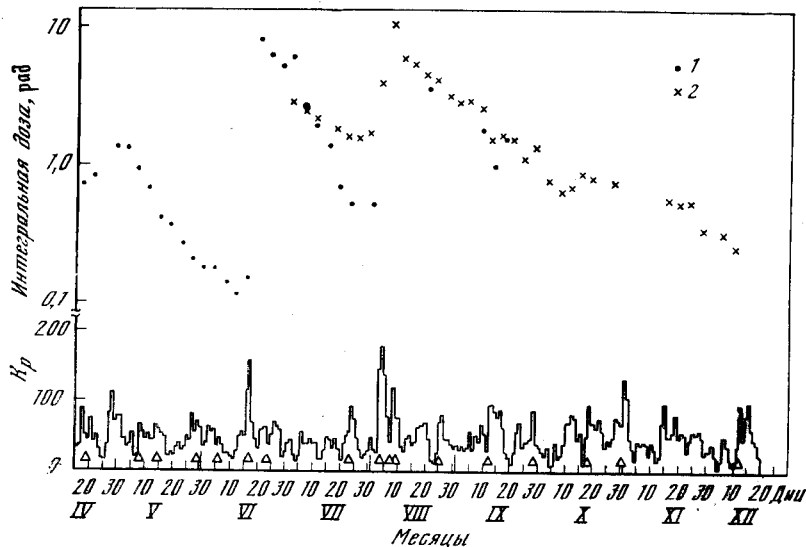


Рис. 3. Интегральная доза в радиационных поясах и суточные значения K_p -индекса в апреле — декабре 1972 г.

через радиационные пояса, имелась возможность один раз в 4 сут измерять поглощенную дозу в радиационных поясах. К сожалению, из-за редкого опроса (один раз в час) подробных дозиметрических карт получить невозможно. На рис. 3 приводятся интегральные дозы за время пролета через радиационные пояса по орбите станций «Прогноз» (1) и «Прогноз-2» (2). Нижняя кривая на рис. 3 — суточные значения K_p -индекса, треугольниками обозначены моменты внезапного начала — SC.

Как видно из рис. 3, доза в радиационных поясах испытывает большие временные вариации, достигающие до двух порядков величины. Определенная часть этих вариаций может быть связана с пространственным сдвигом орбиты станции с течением времени. Разница в показаниях двух станций в июле 1972 г., например, обусловлена как раз отличием их орбит в этот период времени: станция «Прогноз-2» при входе в магнитосферу доходила до $L = 2,8$ при выходе — до $L = 1,3$, в то время как «Прогноз» не опускался ниже $L = 3,4 \div 4,6$ на нисходящей ветви орбиты и $L = 2,3$ на восходящей ветви. По нашим предварительным оценкам, учет различия орбит может дать коэффициент не больше двух.

Анализ полученных результатов показывает, что вариации поглощенной дозы обусловлены вариациями потоков электронов во внешнем поясе. Мощность дозы во внешнем поясе (на $L = 3 \div 5$) изменялась от 0,1 до 10 рад/час. Оценки, проведенные с использованием данных [7], показали, что в спокойной обстановке измеренная мощность дозы (0,1 рад/час) обусловлена

в основном электронами с энергией больше 3 МэВ, вклад тормозного излучения не превышает 20%. Из этого соотношения получено, что при мощности дозы 10 рад/ч поток электронов с энергией больше 3 МэВ составлял $2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ стер}^{-1}$. Спад интенсивности этих электронов характеризуется постоянной времени $\sim 10^6 \text{ с}$.

В заключение выражаю благодарность И. А. Савенко, Ю. И. Логачеву и С. Н. Кузнецову за ценные советы при обсуждении результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Webber W. R. — Nucleonics, 1963, 21, N 8, 154.
2. Хаффнер Дж. Ядерное излучение и защита в космосе. М., Атомиздат, 1971.
3. Базилевская Г. А., Лазутин Л. Л., Стожков Ю. И. и др. — Труды Международного семинара по проблеме «Генерация космических лучей на Солнце». Л., 8—12 декабря 1970. М., НИИЯФ МГУ, 1971, 193.
4. Сладкова А. И., Лукин О. Б., Писаренко Н. Ф. и др. — Вестник МГУ, серия физика, астрономия, 1975, 16, № 2, 201.
5. Чаралчьян Т. Н. Материалы Международного семинара «Солнечные космические лучи и их проникновение в магнитосферу Земли». Л., 26—29 июня 1973. Л., ЛИЯФ, 1973, 275.
6. Kohl J. W., Bostrom C. O., Williams D. J. — World Data Center A for Solar-Terrestrial Physics. — Rept UAG-28, 1973, pt II, 330.
7. Бобков В. Г. и др. Радиационная безопасность при космических полетах. М., Атомиздат, 1964.

РЕГИСТРАЦИЯ НА ОРБИТЕ ЗЕМЛИ ПЛАЗМЫ ОТ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК В АВГУСТЕ 1972 г.

О. Л. Вайсберг, Ф. Камбу*, Г. Н. Застенкер, А. А. Зерцалов,
В. В. Темный, М. З. Хохлов, Э. Эспань*, К. Юстон*

В период 2—7 августа 1972 г. на Солнце произошла серия крупных вспышек, после которых наблюдались необычные по своей интенсивности явления в межпланетной среде, в околоземном космическом пространстве и на Земле [1, 2]. В послевспышечный период была зарегистрирована скорость солнечного ветра более 1700 км/с [3, 4], что значительно превышает величины, наблюдавшиеся в течение 10 лет с начала систематических измерений в межпланетной среде.

* Центр исследований космоса, Тулуза, Франция.

До настоящего времени в литературе имеется небольшое число работ, посвященных измерениям плазмы в межпланетной среде и вблизи Земли в этот период. Результаты измерений вдали от Земли приведены в [4, 5, 6], а для наблюдений вблизи Земли, кроме некоторых данных справочного характера [1, 2], авторам известна только предварительная публикация наблюдений на спутнике «Геос-2» [4], которые, однако, не охватывают всего рассматриваемого периода. Это, а также уникальный характер событий августа 1972 г. оправдывают проведение подробного рассмотрения плазменных измерений, выполненных на станциях «Прогноз» и «Прогноз-2».

Описание эксперимента

Станция «Прогноз-2» запущена 29 июня 1972 г. Первоначальное отклонение проекции линии апсид на плоскость эклиптики от направления на Солнце составляло 20° в вечернем секторе и из-за годового движения Земли к 4 августа изменилось на 15° в утреннем секторе. Аппарат был закручен вокруг оси, близкой к направлению на Солнце, с периодом вращения 2 мин. Более подробное описание станций серии «Прогноз» и их аппаратуры приведено в [5].

Целью эксперимента «Калипсо» было изучение плазмы в межпланетной среде и в области взаимодействия солнечного ветра с геомагнитосферой. Аппаратура состояла из двух приборов: спектрометра «Калипсо» для изучения потоков электронов и ионов (*CESR*, Тулуза) и энергомасс-анализатора РИП-803 (ИКИ АН СССР). Краткое описание эксперимента и предварительный анализ данных приведены в работе [6].

Спектрометр «Калипсо» представляет собой двойной цилиндрический анализатор с каналовыми электронными умножителями (КЭУ) в качестве детекторов. Парафазные напряжения подаются на внутреннюю и две внешние пластины, что позволяет одновременно регистрировать ионы и электроны с одинаковым отношением энергии частицы E к ее заряду Q .

Каналотроны работали в режиме постоянного выходного тока, поддерживаемого с помощью цепи отрицательной обратной связи, включенной в цепь питания. Таким образом, величина регулируемого напряжения питания находилась в обратной связи с величиной потока частиц, попадающих на КЭУ, и служила мерой величины потока. При этом динамический диапазон прибора составлял пять десятичных порядков.

Изучаемый диапазон энергий $0,4\text{--}17$ кэВ был разбит на 15 интервалов, расположенных приблизительно равномерно в логарифмической шкале. Энергетическое разрешение прибора $\Delta E/E \approx 0,4$ (полная ширина на половине высоты) обеспечило почти полное перекрытие энергетического диапазона. Угол зрения прибора составлял $9,3^\circ \times 18,8^\circ$ для электронов и $11,5^\circ \times 24,8^\circ$ для

ионов. Геометрический фактор спектрометра для изотропных потоков был равен $5 \cdot 10^{-4} \text{см}^2 \text{стер}$. Порог чувствительности для изотропных потоков составлял $2 \cdot 10^4 \text{см}^2 \text{с}^{-2} \text{стер}^{-1}$, а для направленных вдоль оси поля зрения потоков с энергией в максимуме энергетического интервала $\approx 2 \cdot 10^8 \text{см}^{-2} \text{с}^{-1}$.

Энергомасс-анализатор РИП-803, аналогичный установленному на станции «Прогноз» [7], представляет собой комбинированный электростатический и магнитный анализатор, предназначенный для измерения энергетических спектров протонов, α -частиц и ионов He^+ в узком телесном угле. Энергетический диапазон прибора по E/Q составлял $0,1\text{--}4$ кэВ для протонов и $0,1\text{--}8$ кэВ для He^{++} . Угол зрения прибора составлял $3,2^\circ$, энергетическое разрешение изменялось для различных энергий и ионов от 8 до 3%. Энергетический спектр ионов регистрировался в 16 интервалах, приблизительно равномерно расположенных в шкале энергий.

Смена энергетических диапазонов в обоих приборах происходила при подаче синхроимпульса раз в 41 с. Время регистрации энергетического спектра составляло, таким образом, около 11 мин. Измерения велись непрерывно, т. е. один спектр непосредственно следовал за другим. Для повышения разрешающей способности по времени каждый спектр прибора «Калипсо» разбивался на 4 субспектра по 4 ступени в каждом, причем первый субспектр состоял из измерений в 1, 5, 9 и 13-м энергетических интервалах, второй — 2, 6, 10 и 14-м интервалах и т. д., помимо этого, сигнал на каждой ступени измерялся 3 раза в течение 41 с.

Ось поля зрения прибора «Калипсо» была наклонена к продольной оси спутника на угол 7° . Ось поля зрения прибора РИП-803 совпадала с продольной ориентируемой на Солнце осью спутника.

Для сопоставления с данными эксперимента «Калипсо» использовались также показания модуляционных и интегральных ловушек, установленных на станциях «Прогноз» и «Прогноз-2». Описание этих приборов дано в работе [8]. Сопоставление полученных нами данных с данными измерений этих широкоугольных приборов в период 3—15 августа [9] позволило в ряде случаев провести более обоснованное определение характеристик наблюдавшихся потоков.

Результаты измерений

Непрерывные измерения ионных и электронных спектров прибором «Калипсо» в течение более 5 мес позволили получить значительный объем данных о солнечном ветре, потоках плазмы в переходном слое, положении фронта околосолнечной ударной волны и магнитопаузы и о потоках плазмы внутри магнитосферы. ■ В данной работе рассматриваются результаты измерений параметров плазмы в период 3—12 августа 1972 г.

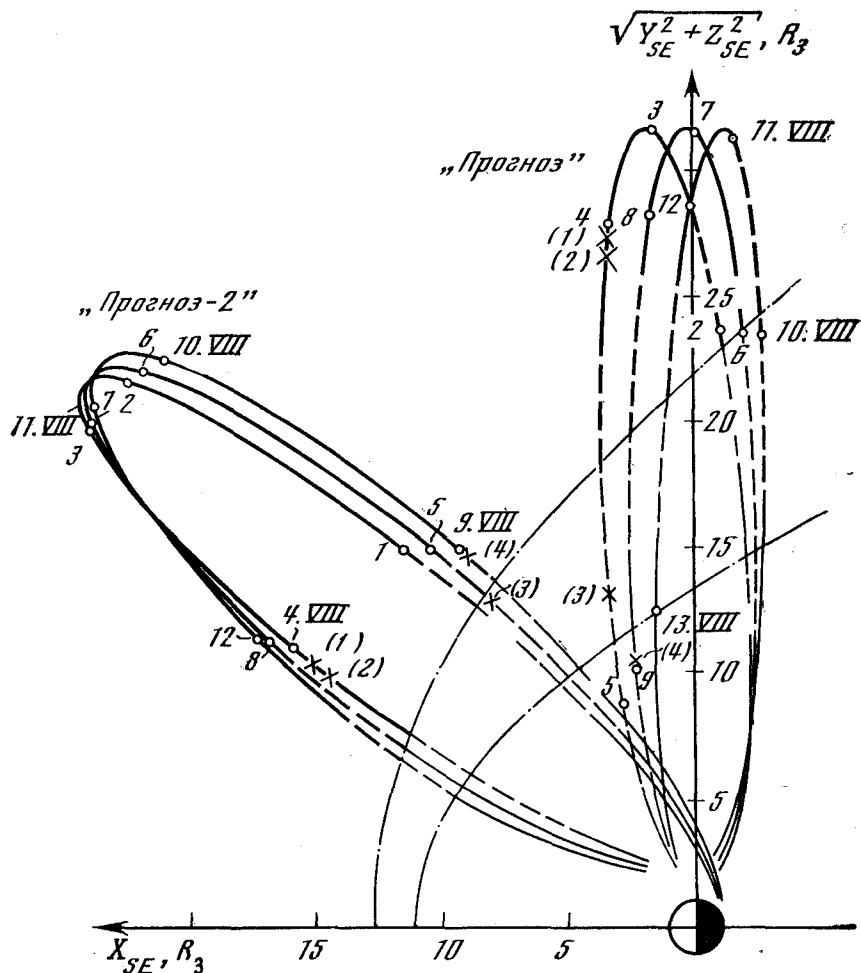


Рис. 1. Орбиты станций «Прогноз» и «Прогноз-2» для первой половины августа 1972 г.

Кружки — положения станций на моменты начала соответствующих дат; толстые линии соответствуют пребыванию станций в солнечном ветре, штриховые — в переходной области, тонкие — внутри магнитосферы; крестики — положения станций в моменты регистрации ударных волн от вспышек, номера которых приведены в скобках; штрихпунктирные линии — средние положения ударной волны и магнитопаузы

Как известно [1, 2], в первой половине августа 1972 г. была зарегистрирована серия вспышек на Солнце, в которой выделяются четыре сильных (табл. 1).

С 3 по 13 августа на Земле наблюдалось несколько геомагнитных возмущений типа SC, а на ряде космических аппаратов — резкие скачки параметров солнечного ветра, связанные с про-

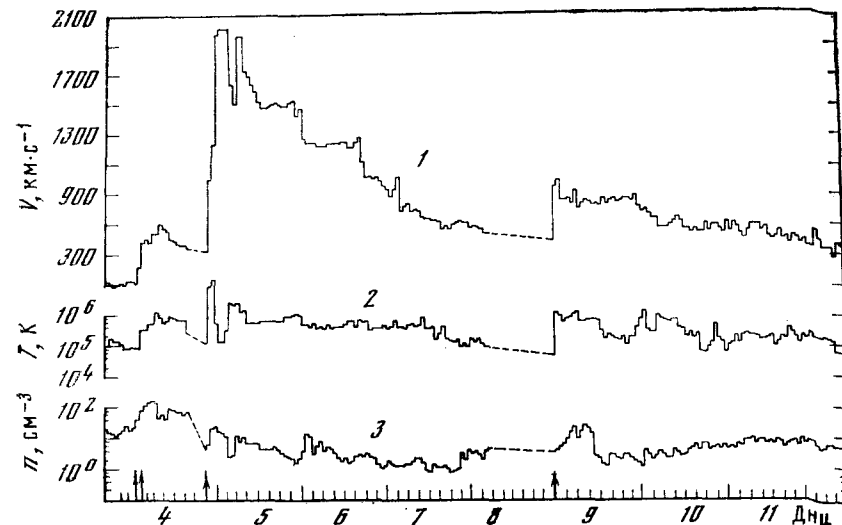


Рис. 2. Параметры солнечного ветра в период 3—12 августа 1972 г. по данным станций «Прогноз» и «Прогноз-2»
1 — переносная скорость; 2 — температура; 3 — концентрация

хождением межпланетных ударных волн от этих вспышек. Однако интерпретация измерений в этот период оказалась весьма сложной, и до сего дня нет полной ясности в привязке наблюдавшихся возмущений к соответствующим вспышкам. В настоящей работе движение межпланетных ударных волн рассмотрено на основе сопоставления плазменных измерений, выполненных на станциях «Прогноз» и «Прогноз-2», с проведенными на аппаратах «Пионер-9» и «Пионер-10».

Измерения параметров солнечного ветра в этот период производились вблизи Земли на двух станциях серии «Прогноз» [5—9] и на спутнике «Геос-2» [4], а на больших удалениях от Земли — на аппаратах «Пионер-9» и «Пионер-10» [1—3, 10, 11]. Орбиты станций «Прогноз» приведены на рис. 1 в солнечно-эллиптических координатах: X (направление на Солнце), $\sqrt{Y^2 + Z^2}$. Из рис. 1 видно, что после прихода к Земле ударных волн наблюдается сильное сжатие магнитосферы, т. е. приближение к Земле ударной волны и магнитопаузы, а через несколько суток — заметное расширение магнитосферы.

На рис. 2 приведены усредненные значения кинетических параметров солнечного ветра, полученные по данным прибора «Калипсо» [6], спектрометров РИП-803 [7], интегральных и модуляционных ловушек [9], установленных на станциях «Прогноз» и «Прогноз-2» (стрелками указаны моменты наблюдавшихся SC, соответствующие приходу четырех ударных волн от вспышек:

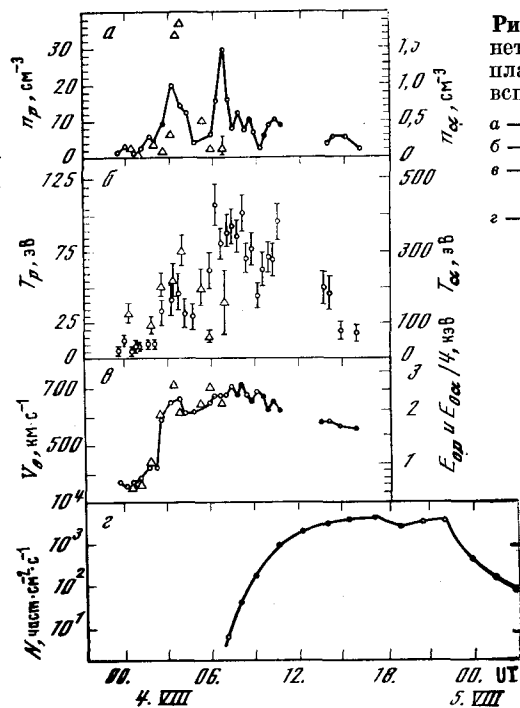


Рис. 3. Детальный ход кинетических параметров плазмы для двух первых вспышек (август 1972 г.)
 а — концентрация;
 б — температура;
 в — переносная скорость солнечного ветра;
 г — фоновая скорость счета детекторов от протонов с $E \geq 50$ МэВ (кружки — протоны, треугольниками — α -частицы)

01.16 и 02.20 UT 2. VIII; 20.54 UT 4. VIII; 23.54 UT 8. VIII; им соответствуют скачки переносной скорости в отмеченные моменты, рост температуры и концентрации). Экстремальные параметры зарегистрированных потоков солнечного ветра в этот период следующие: концентрация ионов в 06.00 UT 4. VIII ~ 50 – 100 см^{-3} , скорость и температура ионов к концу 4. VIII более 2000 $\text{км} \cdot \text{с}^{-1}$ и порядка 10^7 К соответственно.

Более детальная характеристика событий после первых SC (01.16 и 02.20 UT 4. VIII) может быть получена из рис. 3, где приведен временной ход трех кинетических параметров плазмы для протонов и α -частиц, полученных из показаний приборов РИП-803, РИП-804 на станции «Прогноз» [11]. Видны скачки переносной скорости V_0 в 01.16 UT и 02.20 UT, рост температуры протонов до 50 эВ в 03.00 UT и до 100 эВ в 06.00 UT, приблизительно одинаковый с протонным ход температуры α -частиц с соотношением $T_\alpha/T_p = 4$, рост концентрации протонов до 20 и 30 см^{-3} (по показаниям узконаправленных детекторов) в отмеченные выше моменты времени и изменения концентрации α -частиц по сравнению с протонной. На рис. 3, а нетрудно отметить раннее «обогащение» плазмы α -частицами (изменение соотношения $n_\alpha/n_p = 0,05$) в 03.10–03.50 UT, спустя 1–2 часа после прихода ударных волн.

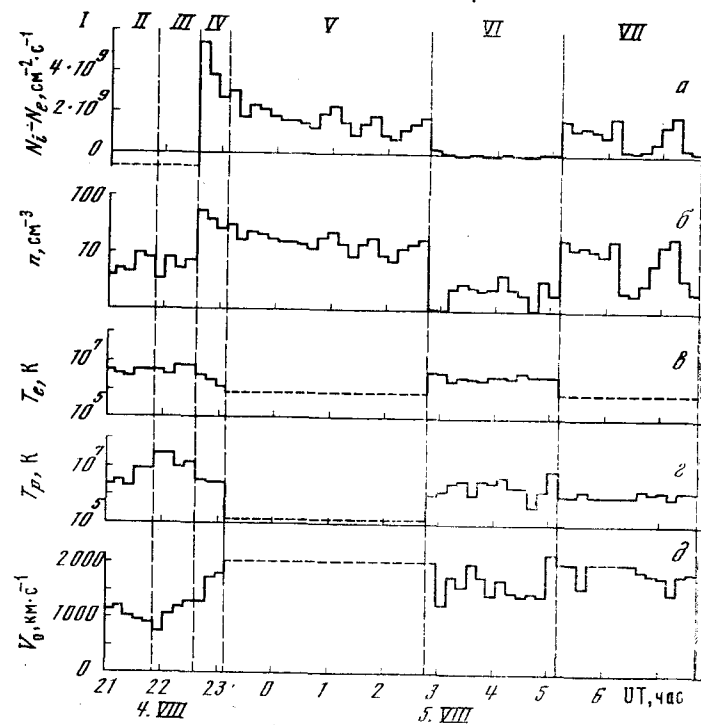


Рис. 4. Ход кинетических параметров плазмы и показания детекторов при регистрации плазмы от вспышек 4–5 августа 1972 г.

а — разность интегральных плотностей потоков ионов и электронов с солнечного направления; б — концентрация плазмы; в — температура электронов; г — температура протонов; д — переносная скорость протонов

Наиболее сложным и интересным для рассмотрения является период от 20.00 UT 4. VIII до 05.00 UT 5. VIII. В 07.14 UT 4. VIII станция «Прогноз-2», согласно показаниям всех приборов, в своем движении к Земле пересекла фронт околоземной ударной волны, приблизившись к Земле до $11,5 R_z$ вследствие большого давления солнечного ветра, и вошла в переходный слой. В 10.49 UT также вошла в переходный слой станция «Прогноз». Однако с 13.00 до 16.00 UT прибор РИП-803 и ловушки заряженных частиц на станции «Прогноз» регистрировали многократный вход аппарата в солнечный ветер (и выход из него), отличающийся высоким значением потока ионов и скоростью $V_0 \approx 540$ $\text{км} \cdot \text{с}^{-1}$. Станция «Прогноз-2» в 10.25 UT на расстоянии $6,3 R_z$ пересекла магнитопаузу, прошла внутри магнитосферы и около 16.31 UT пересекла магнитопаузу уже на восходящей части своей орбиты.

На рис. 4 приведены данные, полученные в период после 20.00 UT 4 августа, в виде кинетических параметров плазмы,

когда их определение было возможным, и частично в виде данных непосредственных измерений. Обработка энергетических спектров ионов проводилась в предположении их конвектированного однотемпературного максвелловского распределения.

По характерным изменениям свойств плазмы рассматриваемый период может быть разделен на несколько довольно четких интервалов, отмеченных на рис. 4 вертикальными линиями:

I. До 20.54 UT 4 августа станция «Прогноз-2» находилась в переходной области за фронтом околосолнечной ударной волны (на восходящей части своей орбиты). Переносная скорость плазмы при этом не превышала 500 км/с, температура протонов составляла приблизительно $2 \cdot 10^6$ К. Отношение E_0/kT_p составляло ≈ 5 , что характерно для переходной области. Высокая скорость, температура и концентрация плазмы в переходном слое примерно соответствуют параметрам солнечного ветра после прихода к Земле плазмы от вспышки 2 августа в 03.16 UT. В это время станция «Прогноз» также находилась в переходном слое, но на нисходящей линии орбиты. Интегральные ловушки на обеих станциях регистрировали потоки отрицательно заряженных частиц величиной $\geq (4 - 7) \cdot 10^8$ см⁻²с⁻¹, обусловленные, очевидно, электронами переходного слоя с энергиями выше 70 эВ.

II. Период 20.54—21.50 UT. В 20.54 UT большое число наземных станций отметило внезапное возмущение магнитного поля типа SC [1, 2]. В это время прибор «Калипсо» начал регистрировать спектры солнечного ветра с весьма необычными свойствами. Переносная скорость плазмы V_0 возросла до 1000—1500 км/с. Температура протонов, составлявшая после выхода станции в солнечный ветер $\sim 2 \cdot 10^6$ К, затем возросла постепенно до 10^7 К. Поток протонов в максимуме спектра после резкого возрастания спадает, что частично может быть связано с ростом их температуры. В этот же период наблюдаются потоки очень горячих электронов с $T_e \approx (3-5) \cdot 10^6$ К и концентрацией $(5-10)$ см⁻³. Эта высокая температура электронов объясняет, по-видимому, тот факт, что направленная на Солнце интегральная ловушка регистрирует отрицательные токи. Обычно в солнечном ветре коллекторный ток этой ловушки положителен, так как в ней имеется супрессорная сетка с потенциалом -70 В. Угол зрения этой ловушки составляет около 1 стерадиана, следовательно, при $T_e = 3 \cdot 10^6$ К поток электронов в ловушку превышает поток ионов со скоростью 10^8 км/с и результирующий ток становится отрицательным.

Следует отметить, что в этот период энергетические спектры ионов, измеряемые прибором «Калипсо», имеют сложную структуру с двумя пиками: основным максимумом на энергии $E/Q \geq 10$ кэВ и меньшим на энергии 3—4 кэВ. Этот факт согласуется с показаниями ориентированной на Солнце модуляционной ловушки, регистрирующей широкие ионные спектры в диапазоне до 4 кэВ с полным потоком $1 \cdot 10^9$ см⁻²с⁻¹.

III. Период 21.50—22.40 UT. Этот интервал характеризуется в первую очередь возрастанием переносной скорости плазмы до величины 1200 км/с. Температуры протонов и электронов также увеличиваются до чрезвычайно высоких величин порядка $3 \cdot 10^7$ К для протонов и несколько ниже ($\sim 10^7$ К) для электронов. О высокой электронной температуре свидетельствуют и показания интегральных ловушек станции «Прогноз-2», продолжающих регистрировать отрицательный ток.

Около 21.50 UT наблюдается минимальное отношение энергии переносного движения протонов к их температуре, приближающееся к единице.

Тот факт, что тепловая скорость протонов в этот период составляет значительную долю переносной скорости, подтверждается малой модулирующей величиной протонного сигнала «Калипсо» при вращении аппарата. Относительно протонного спектра справедливо то же замечание, которое было сделано выше для предыдущего периода. Следует также отметить, что величина $T_p \approx 3 \cdot 10^7$ К может быть нижней границей температуры, так как она определялась по низкоэнергетичному хвосту спектра протонов при максимуме спектра вне энергетического диапазона прибора. Не исключено, что более справедливой оценкой T_p для указанного периода является величина $\sim 10^8$ К, полученная по данным «Геос-2» [4].

IV. Период 22.40—23.11 UT. Начало этого интервала определяется по скачкообразному возрастанию потока ионов, регистрируемого направленными на Солнце интегральными ловушками одновременно (во временной шкале 41 с — интервале опроса прибора) на двух станциях «Прогноз» [9]. На станции Гуам (СПА) в этот же момент времени наблюдалось возмущение геомагнитного поля типа SI [2]. Поток ионов возрос до величины более $6 \cdot 10^9$ см⁻²с⁻¹ (предел измерений по интегральным ловушкам), а затем, испытывая резкие колебания, уменьшался до $1 - 2 \cdot 10^9$ см⁻²с⁻¹ к концу интервала. При этом наблюдается весьма четкое совпадение временного хода потока ионов на двух станциях. Это доказывает, что при резком возрастании давления в солнечном ветре после 22.40 UT (момент SI) околосолнечная ударная волна оказалась ближе к Земле в утреннем секторе, чем станция «Прогноз», которая находилась на $R = 10,3 R_Z$ [9]. Это близкое положение ударной волны хорошо согласуется с вычисленным на основе известной зависимости положения ударной волны от давления солнечного ветра для измеренной величины потока ионов.

По показаниям прибора «Калипсо» в течение этого интервала происходит спад температуры протонов (от 10^7 до 10^6 К) и электронов (от $3 \cdot 10^6$ до 10^6 К). Таким образом, регистрацию ионного потока интегральной ловушкой можно объяснить либо резким возрастанием скорости солнечного ветра, либо спадом T_p .

Сопоставляя ход изменения всех параметров плазмы в этом интервале (спад T_e и T_p , постоянство n_e), приходим к выводу,

что наблюдаемое изменение показаний интегральной ловушки (резкий рост с последующим спадом примерно в три раза) свидетельствует об аналогичном ходе скорости солнечного ветра, что совпадает с данными [4].

Следует отметить, что в рассматриваемый период модуляционные ловушки на «Прогнозе» и «Прогнозе-2» регистрируют широкие спектры ионов до 4 кэВ с полным потоком $3 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, тогда как спектры протонного канала «Калипсо» не обнаруживают заметных потоков в этом диапазоне. Это различие может быть связано со значительным отклонением направления низкоэнергичной компоненты ионного потока от радиального. С учетом положения на станции прибором «Калипсо» должны регистрироваться потоки ионов, отклоненные от направления на Солнце не более чем на $15-30^\circ$ (неопределенность связана с неточностью ориентации аппарата), тогда как ловушкой, имеющей значительно более широкую угловую диаграмму, будут регистрироваться и потоки, отклоненные на $40-55^\circ$ от того же направления.

V. Период 23.11 UT 4.VIII—02.50 UT 5.VIII. С самого начала этого интервала показания протонного канала «Калипсо» упали ниже $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ кэВ}^{-1} \text{ стер}^{-1}$, т. е. приблизительно в 400 раз по сравнению с предыдущим интервалом. Поток электронов с $E > 0,4 \text{ кэВ}$ тоже упал до фонового уровня. Интегральная ловушка, ориентированная в антисолнечном направлении, регистрировала нулевые токи. Это могло означать, что температура электронов уменьшилась скачком до величины не выше $7 \cdot 10^5 \text{ К}$. Модуляционная ловушка в диапазоне до 4 кэВ также регистрировала очень малый суммарный поток $2 \cdot 10^7 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, что означает почти полное исчезновение низкоэнергичной компоненты ионного потока. Однако направленная на Солнце интегральная ловушка регистрировала большие и резко меняющиеся потоки ионов около $1-2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Кажущееся противоречие между показаниями этих приборов можно устранить, предположив, что либо энергия регистрируемых потоков вышла за диапазон «Калипсо», либо угол их прихода лежит вне угла зрения этого прибора. Авторы отдают предпочтение второй возможности, так как первая плохо согласуется с ходом потока по измерениям интегральной ловушки и, как будет показано ниже, противоречит данным «Геоса-2» [4].

VI. Период 02.50—05.20 UT 5.VIII. Этот интервал выделяется как обособленный вследствие:

а) сравнительно быстрого (примерно за 10 мин) возрастания потока ионов, по показаниям прибора «Калипсо», — не менее чем в 30 раз по сравнению с фоновым уровнем;

б) роста потоков электронов с энергиями 0,4 кэВ, что подтверждается и показаниями ориентированной в антисолнечном направлении интегральной ловушки;

в) резкого возрастания потока протонов с энергией более 50 МэВ на станциях «Прогноз» и «Прогноз-2»;

Таблица 1. Характеристики четырех сильных солнечных вспышек в августе 1972 г.

Дата	Время начала UT, час., мин.	Балл	Координаты, град.		Дата	Время начала UT, час., мин.	Балл	Координаты, град.		Время начала UT, час., мин.	Балл
			широта	долгота				широта	долгота		
2.VIII	03.16	1 (2) B	13N	35E	4.VIII	06.21	3B	15N	09E		
2.VIII	19.58	2B	13N	28E	7.VIII	15.16	3B	14N	39W		

Таблица 2. Приход ударных волн и скачки параметров солнечного ветра на различных космических аппаратах

Аппарат	Дата	Время прихода UT, час., мин.	Номер вспышки	T _{заг.} , час	U, км/с	Параметры солнечного ветра						
						V ₁ , км/с	V ₂ , км/с	T ₁ , К	T ₂ , К	η, см ⁻³		U, км/с
										η ₁ , см ⁻³	η ₂ , см ⁻³	
«Прогноз» и «Прогноз-2»	4.VIII	01.18	1	48,0	336	434	$8,5 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^5$	18	50	488	
	4.VIII	02.20	2	30,3	418	510	$1,7 \cdot 10^5$	$6,8 \cdot 10^5$	43	78	612	
	4.VIII	20.54	3	14,5	2850	1200	—	10^5-10^6	—	5	—	
	8.VIII	23.52	4	32,7	1270	950	$2 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$	5	16	1100	
«Пионер-9»	3.VIII	04.40	1	25,4	320	375	$3 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	7	14	430	
	3.VIII	11.17	2	15,3	350	540	$1 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$	19	49	660	
	4.VIII	23.23	3	17,0	630	930	$8 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^6$	1	2	1600	
	9.VIII	07.07	4	40,0	380	560	$4 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	3	8	680	
«Пионер-10»	6.VIII	18.10	3	60	420	640	$1 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^6$	2,0	5,0	830	
	13.VIII	04.00	4	133	500	610	$5 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^5$	0,3	1,0	660	

г) уменьшения показаний интегральной ловушки, направленной на Солнце, до малых, колеблющихся около нуля значений. При этом модуляционная ловушка регистрирует широкие спектры с максимумами при энергии более 4 кэВ с суммарным потоком в диапазоне энергий до 4 кэВ $\sim 4 \cdot 10^8$ см⁻²с⁻¹.

Усредненные характеристики плазмы, полученные в этом интервале:

- скорость потока протонов не менее 1500 км/с;
- температура протонов $T_p \simeq 2 \cdot 10^6$ К;
- температура электронов $T_e \simeq 3 \cdot 10^6$ К;
- концентрация $n \sim 1-5$ см⁻³.

По-видимому, малые отсчеты направленной на Солнце интегральной ловушки объясняются компенсацией ионного потока потоком электронов с энергиями > 70 эВ.

В конце выделенного периода происходит резкое изменение параметров плазмы, приблизительно обратное тому, что наблюдалось в его начале, однако уменьшение потока протонов по показаниям прибора «Калипсо» выражено менее отчетливо.

VII. Период 05.20—08.00 UT и далее. Поток протонов солнечного ветра, как по данным «Калипсо», так и по данным интегральной ловушки, сильно флуктуирует от $2 \cdot 10^8$ до $2 \cdot 10^9$ см⁻². Скорость продолжает оставаться высокой, на краю или выше диапазона скоростей, измеряемых прибором «Калипсо», $T_p \simeq 10^6$ К, электронная температура того же порядка величины, так как тевевая интегральная ловушка не регистрирует электроны с $E > 70$ эВ.

В конце интервала устанавливается стабильный уровень потоков солнечного ветра с высокой скоростью, постепенно снижающейся за 2 сут до 700 км/с, и невысокой концентрацией — порядка 1 см⁻³.

Об уждении результатов

Рассмотрим возможную связь результатов наших наблюдений с приходом к Земле возмущений от солнечных вспышек, приведенных в табл. 1.

Из рис. 2 видно, что моменты резких скачков параметров солнечного ветра вблизи Земли хорошо совпадают с моментами SC по [1, 2], свидетельствуя о прохождении межпланетных ударных волн. В табл. 2 эти ударные волны соотнесены с четырьмя сильными вспышками (см. табл. 1), приведены значения запаздывания момента регистрации у Земли относительно начала оптической вспышки и определенные по этим запаздываниям величины средней скорости ударной волны \bar{U} . Кроме того, в табл. 2 даны параметры солнечного ветра до и после скачка (усредненные по интервалу 5—10 мин) и значения локальной скорости ударной волны U , вычисленные согласно [12, 13] в предположении, что нормаль к фронту совпадает с направлением скорости по форму-

ле: $U = \frac{n_2 V_2 - n_1 V_1}{n_2 - n_1}$, где индекс «1» относится к значениям параметров плазмы до прихода ударной волны, «2» — к значениям параметров плазмы за фронтом волны.

Отсутствие значений V_1 , T_1 и n_1 для момента 20.54 UT 4.VIII связано с тем, что до прихода ударной волны «Прогноз» и «Прогноз-2» находились в переходной области.

Представленная в табл. 2 привязка к соответствующим вспышкам, как и всегда, связана с некоторой долей неопределенности и поэтому требует обсуждения. От момента первой вспышки до 01.16 UT 4.VIII не наблюдалось сильных возмущений в солнечном ветре и геомагнитном поле. Поэтому первое из наблюдаемых на станциях «Прогноз» возмущений солнечного ветра, совпадающее с моментом SC, по всем признакам относится к приходу волны от 1-й вспышки. Вопрос о приходе волн от 2-й и 3-й вспышек оказывается более сложным. В первых публикациях [1, 2] к приходу ударной волны от 2-й вспышки был отнесен момент 20.54 UT 4.VIII. Такого же мнения придерживались авторы [14]. Однако, как показано в [6], скачок параметров солнечного ветра в этот момент времени не может быть следствием прихода ударной волны от 2-й вспышки, так как зарегистрированная на станции «Прогноз-2» переносная скорость при этом возрастает до 1200 км/с, а средняя скорость ударной волны, определенная по запаздыванию относительно 2-й вспышки, составляла бы лишь 850 км/с. Столь явная парадоксальность позволила нам сделать вывод, что в отличие от предположений в [1, 2, 14] SC и резкие изменения параметров ветра, наблюдаемые в 20.54 UT 4.VIII, связаны с приходом возмущения от 3-й вспышки, а не от 2-й.

Интервал времени 02.20—20.54 UT 4.VIII характеризуется отсутствием резких возмущений геомагнитного поля, а также плавным изменением скорости и концентрации солнечного ветра, по данным «Прогноза» и «Прогноза-2» [6, 9]. Поэтому наиболее вероятным моментом прихода к Земле ударной волны от 2-й вспышки является 02.20 UT 4 августа.

Привязка времени прихода возмущения от 4-й вспышки к SC в 23.54 UT 8.VIII совпадает с данными [1, 2, 14] и не вызывает сомнений.

Вернемся снова к измерениям 20.00 UT 4.VIII—05.00 UT 5.VIII. Следует отметить различие хода температуры электронов T_e и протонов T_p в интервале времени 20.54—21.50 UT: T_e возрастает резко до $3 \cdot 10^6$ К и сохраняется постоянной на этом интервале, T_p нарастает от $2 \cdot 10^6$ до 10^7 К. Эта особенность в изменении T_p может быть связана с расширением энергетического спектра протонов при прохождении ударной волны за счет образования упоминавшегося выше второго потока протонов с более низкой переносной скоростью. Приведенные на рис. 2 значения параметров протонов относятся к высокоскоростной компоненте. Рост протонной температуры до 10^7 К (выше T_e) к 22.00 UT 4.VIII может объясняться нагревом плазмы при прохождении ударной волны.

После прихода ударной волны от 3-й вспышки следует, возможно, ожидать прихода сгустка плазмы, выброшенной при вспышке. Моментом такого прихода может быть 22.40 UT. В это время, по нашим измерениям, а также по измерениям на спутнике «Геос-2» [4], происходит новое резкое возрастание скорости солнечного ветра до величины ~ 2000 км/с. Средняя скорость эжектированной при вспышке плазмы, определенная по запаздыванию, должна составлять 2500 км/с. Спад всех параметров солнечного ветра через ~ 30 мин, по нашим данным, может указывать на толщину рассматриваемого сгустка $\sim 4 \cdot 10^6$ км.

Другой своеобразной областью, выделенной ранее по регистрации протонов с энергиями 10–100 МэВ [15], является интервал времени 02.50–05.20 UT. По результатам наших измерений этот интервал характеризуется резким ростом температуры электронов в начале и спадом в конце за время ~ 5 –10 мин. Внутри же интервала можно считать T_e и n_e постоянными с точностью до коэффициента 2 в течение 2,5 час. Так же резко возрастает в начале интервала и максимальный поток ионов в максимуме спектра по данным «Калипсо».

Наличие крутых переднего и заднего фронтов длительностью не более 3% от продолжительности данного интервала времени позволяет сделать вывод о регистрации в этом интервале ограниченной конфигурации плазмы с весьма высокой электронной и протонной температурами. Следует отметить, что поток ионов в этом интервале также состоит из двух компонент, однако интенсивность компоненты с низкой скоростью в рассматриваемом интервале значительно ниже, чем для интервала 20.54–23.11 UT 4 августа.

Наиболее существенной особенностью интервала 02.50–05.20 UT 5.VIII является совпадение переднего и заднего фронтов возрастания всех плазменных детекторов на «Прогнозе-2» с соответствующими фронтами интенсивности протонов с энергиями десятки мегаэлектронвольт, по наблюдениям на станциях «Прогноз» и «Прогноз-2». Такое совпадение фронтов плазмы и высокоэнергичных частиц может свидетельствовать об их совместном движении от Солнца. Для такого переноса, по-видимому, необходима конфигурация типа «магнитной бутылки» с замкнутыми силовыми линиями, наподобие рассматривавшейся в [16].

Удержание высокоэнергичных протонов в «бутылке» с наблюдаемой резкой границей фронтов возможно при условии, что лармовский радиус R_L протонов меньше толщины каждого фронта. Для протонов с $E = 50$ МэВ в поле $H = 30 \gamma$ $R_L \approx 3 \cdot 10^9$ см. Для плазмы с переносной скоростью $V_0 \approx 2 \cdot 10^3$ км/с и длительностью фронта 5 мин толщина фронта составляет $R_f \approx 6 \cdot 10^{10}$ см.

Сравнивая R_f и R_L , нельзя исключить захват в эту область энергичных частиц с магнитной жесткостью HR , по крайней мере, на порядок более высокой, т. е. (с учетом релятивистской поправки) α -частиц с $E \ll 1$ ГэВ и протонов с $E \ll 2$ ГэВ.

Возвращаясь к рассмотренному ранее интервалу 20.54–23.11 UT 4.VIII, отметим похожий на первый взгляд характер одновременного нарастания и спада потоков плазмы и энергичных протонов на границах интервала. Обращает на себя внимание приблизительное равенство по длительности интервалов (02.50–05.20 UT 5.VIII и 20.54–23.11 UT 4.VIII). Однако существенное отличие этого интервала от рассмотренного выше заключается в нарастании интенсивности энергичных протонов еще до прихода плазмы от вспышки. Это нарастание может указывать на возможность заметной диффузии движущихся со сгустком плазмы энергичных частиц через его границу, а также через фронт ударной волны. Кроме того, размытие фронта нарастания интенсивности высокоэнергичных протонов может быть обусловлено потоками этих частиц, достигающими Земли при движении от Солнца независимо от плазмы.

Сопоставление полученных результатов с данными от других аппаратов

Рассмотренные выше результаты могут быть сопоставлены с опубликованными к настоящему времени наблюдениями солнечного ветра в рассматриваемый период.

Сопоставление наших данных с результатами измерений на «Геосе-2» [4], также проведенных вблизи Земли, указывает на совпадение с хорошей степенью точности моментов резких изменений параметров плазмы. Значения же параметров по данным этих аппаратов совпадают не всегда. Так, если в интервале 21.00–23.00 UT 4.VIII величины температуры T_p и скорости солнечного ветра совпадают, то после 23.00 UT по данным «Геоса-2» происходит спад скорости до 1500 км/с с одновременным ростом T_p до 10^8 К, тогда как на «Прогнозе-2» регистрируется спад температуры при скорости, превышающей 1700 км/с.

Наблюдаются различия и в концентрации плазмы: по данным «Геоса-2» [4] для всего рассматриваемого в статье периода ее величина составляет не более 1 – 2 см $^{-3}$, по нашим оценкам концентрация колеблется в пределах 1 – 5 см $^{-3}$, достигая значений 10 – 30 см $^{-3}$ около 22.40 UT 4.VIII.

Помимо этого может быть проведено сравнение параметров солнечного ветра, измеренных на других гелиоцентрических расстояниях с помощью аппаратов «Пионер-9» и «Пионер-10». На рис. 5 представлено их положение относительно Земли в рассматриваемый период [3].

По приведенным [3, 10, 11] данным плазменных измерений была проведена привязка наблюдаемых ударных волн к соответствующим вспышкам и определены скачки параметров солнечного ветра (см. табл. 2). При этом моменты прохождения ударных волн для «Пионера-9», уточняющие и исправляющие данные

[1, 2], взяты из работы [5], а для «Пионера-10» определены предположительно по имеющимся в [10] данным.

Сравнение приведенных в табл. 2 значений показывает, что параметры солнечного ветра для 1-й и 2-й ударных волн по измерениям на «Пионере-9» и на станциях «Прогноз» находятся в хорошем соответствии, за исключением концентрации протонов. Однако в работе [10] указывается, что значения концентрации по данным «Пионера-9» занижены не менее чем в два раза.

Рассмотренное ранее на примере интервала 2.50—5.20 UT 5.VIII синхронное изменение параметров плазмы по данным «Про-

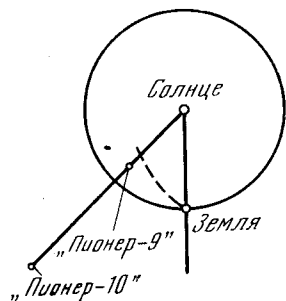


Рис. 5. Схематическое расположение Земли и аппаратов «Пионер-9» и «Пионер-10» в рассматриваемый период

Штриховой линией показано предполагаемое положение фронта ударной волны от третьей вспышки в 20.54 UT 4 августа и от четвертой вспышки в 23.52 UT 8 августа

гноза-2» и потока протонов с $E \geq 50$ МэВ подтверждается и другими многочисленными измерениями. Анализ опубликованных к настоящему времени наблюдений на 14 космических аппаратах («Прогноз», «Прогноз-2», ИМП-5,-6; «Аполлон-12, -14, -15; «Геос-2»; «Пионер-9, -10; АТС-1 и др.), где в период со 2 по 12 августа 1972 г. регистрировались потоки частиц с энергией до 100 МэВ/нукл [1, 2, 4, 7], показывает, что типичная картина изменения интенсивности энергичных протонов после вспышки представляет собой линейное нарастание интенсивности в течение примерно 6 час, а затем экспоненциальный спад с постоянной времени около 15 час. Над этим плавным ходом интенсивности отчетливо выделяются большие возрастания потока на порядок величины, происходящие в те же моменты времени (в частности, около 21.00 UT 4.VIII, 03.00 и 05.00 UT 5.VIII), что и резкие скачки параметров солнечного ветра. Таким образом, все указанные наблюдения, по-видимому, свидетельствуют о том, что, помимо потоков энергичных частиц, приходящих непосредственно после вспышек, имеется компонента этих потоков, переносимая вместе с движением плазмы от вспышек или за ударной волной.

Движение ударных волн

Характер движения межпланетных ударных волн может быть рассмотрен при сопоставлении полученных у Земли данных с измерениями на аппаратах «Пионер-9, -10».

На рис. 6 показана построенная по данным табл. 2 временная последовательность распространения возмущений от Солнца ($R = 0$, вспышки) к трем точкам в гелиоцентрическом пространстве ($R = 0,8$ а. е.— «Пионер-9»; 1,0 а. е.— «Прогноз», «Прогноз-2»; 2,2 а. е.— «Пионер-10»). При этом следует заметить, что интерпретация данных для «Пионера-10» значительно менее надежна, чем для других аппаратов.

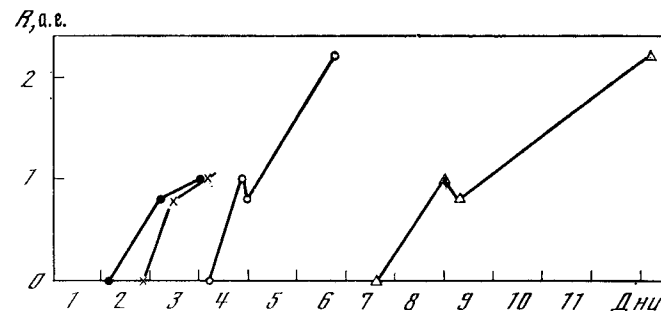
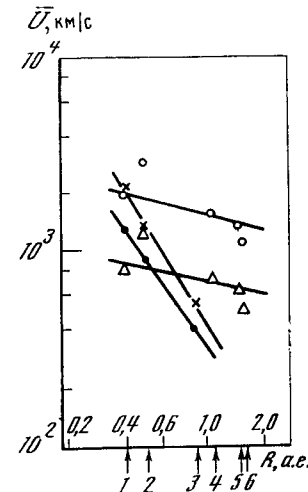


Рис. 6. Временная последовательность наблюдений четырех ударных волн в августе 1972 г. (схематически)

Ударные волны: 1-я — темные кружки; 2-я — крестики; 3-я — светлые кружки; 4-я — треугольники

Рис. 7. Зависимость средней скорости ударной волны от гелиоцентрического расстояния

Стрелками отмечены середины интервалов:
1 — Солнце — «Пионер-9»;
2 — Солнце — Земля;
3 — «Пионер-9» — Земля;
4 — Солнце — «Пионер-10»;
5 — «Пионер-9» — «Пионер-10»;
6 — Земля — «Пионер-10»
Обозначения те же, что и на рис. 6



Рассмотрим сначала движение волн от 1-й и 2-й вспышек. Из рис. 6 видно, что вторая волна распространяется с большей скоростью, чем первая. Временной интервал между ними составляет: на Солнце 16 час 42 мин, на 0,8 а. е. («Пионер-9») 6 час 37 мин и на орбите Земли всего 1 час 02 мин. Следовательно, вскоре за орбитой Земли (на $R \approx 1,1$ а. е.) вторая ударная волна догоняет первую и происходит взаимодействие между ними. Кроме того, не исключено, что ударная волна от третьей, наиболее сильной вспышки также догоняет первую и вторую и взаимо-

действует с ними. Вопрос о регистрации взаимодействий от 1-й и 2-й ударных волн на расстоянии 2,2 а. е. остается открытым.

В работах [1—3] за момент регистрации ударной волны от 1-й вспышки на аппарате «Пионер-10» принимался момент резкого скачка параметров плазмы в 18.10 UT 6.VIII. Однако наблюдаемое в этот момент возрастание скорости ветра скорее указывает на то, что событие относится к приходу 3-й ударной волны. Если же с регистрацией возмущения от 1-й или 2-й ударных волн связать небольшое изменение параметров ветра, наблюдаемое около 03.00 UT 6.VIII [10], то средняя скорость ударной волны на участке Земля — «Пионер-10» окажется равной 1000 км/с, т. е. значительно выше ее значения на участке «Пионер-9» — Земля.

Для 3-й и 4-й ударных волн на рис. 6 отмечается излом вблизи 1 а. е., связанный с тем, что ударная волна приходит к Земле раньше, чем к «Пионеру-9», для 3-й вспышки на 2 часа, а для 4-й — на 7 час (см. табл. 2).

Это обстоятельство свидетельствует, очевидно, о значительной несферичности ударных волн от указанных вспышек. На рис. 5 приведено схематическое положение фронта этих ударных волн в момент прихода их к Земле. Не исключено, что именно с несферичностью ударной волны связано заметное различие значений скорости ветра после прохождения ударной волны по измерениям у Земли и на аппаратах «Пионер». Если у Земли максимальная скорость ветра превышает для 3-й волны 1700 км/с (см. рис. 2), то по данным «Пионера-9» она не выше 1100 км/с [6], а «Пионера-10» — не более 690 км/с [10].

Напомним, что относительно Земли 3-я вспышка была расположена близко к центральному меридиану, а 4-я — в западном полушарии Солнца (см. табл. 1), т. е. для аппаратов «Пионер» обе эти вспышки были западными.

Совокупность имеющихся данных позволяет рассмотреть изменение скорости ударных волн при их движении от Солнца. На рис. 7 представлена величина их средней скорости по наблюдениям на различных гелиоцентрических расстояниях. При этом каждое значение \bar{U} отнесено к середине расстояния от Солнца до аппарата или между аппаратами. Из ряда теоретических моделей [3] следует, что средняя скорость ударной волны должна уменьшаться с ростом гелиоцентрического расстояния по закону $\bar{U} \sim R^{-\alpha}$, причем для волн взрывного типа показатель α должен иметь значение $\geq 0,5$. Такая степенная зависимость была получена в работе [17] путем анализа наблюдений нескольких ударных волн (при этом отмечались весьма большие значения α , до 2,0) и в работе [18].

Полученные нами данные также могут быть использованы для определения показателя замедления ударной волны. При этом четыре рассмотренных события можно разделить на две группы. Как видно из рис. 7, для 1-й и 2-й ударных волн зависимость от R может быть установлена по данным «Пионера-9» и станций

«Прогноз». Указанные ударные волны довольно быстро замедляются с показателем 1,4 для 1-й и 1,7 для 2-й волн. В согласии с результатами [17] замедление растет с увеличением начальной скорости. Следовательно, можно полагать, что обе эти волны являлись волнами взрывного типа. Отсутствие наблюдений этих волн на «Пионере-10» может быть объяснено тем, что вследствие своего большого замедления 1-я и 2-я ударные волны просто рассеялись (замедлились до скорости солнечного ветра) за орбитой Земли.

При оценке замедления для 3-й и 4-й ударных волн необходимо принять во внимание установленный факт значительной несферичности этих волн. По-видимому, при этом более целесообразно рассматривать только значения средней скорости, полученные при измерениях вдоль одного направления, т. е. на «Пионере-9» и «Пионере-10» (см. рис. 7). В этом случае показатель замедления для 3-й ударной волны получается равным 0,28, а для 4-й 0,23. Эти значения близки между собой и значительно меньше как соответствующих величин для 1-й и 2-й волны, так и теоретической граничной величины $\alpha = 0,5$. Следовательно, эти ударные волны принадлежат к поршневого типу при наличии некоторого замедления поршня.

Рассмотрение характера замедления указанных четырех ударных волн было проведено также в работах [3 и 19]. При этом в работе [3] найдено для 3-й волны $\alpha = 1,3$ и она отнесена к взрывному типу, а для 4-й $\alpha = 0,45$. В работе [19] получены для этих ударных волн значения, равные 1; 1,3; 0,8; 0,6 соответственно. Расхождение этих оценок с нашими связано, очевидно, с различной привязкой наблюдаемых волн к вспышкам и (для 3-й и 4-й волн) с принятым в работе [19] предположением о сферическом характере расширения.

Заключение

В результате сопоставления показаний нескольких плазменных детекторов станций «Прогноз» и «Прогноз-2», полученных в период солнечных вспышек в августе 1972 г., были определены кинетические параметры плазмы солнечного ветра, в частности переносная скорость протонов свыше 1700 км/с и температура ионов и электронов до 10^7 К, не наблюдавшиеся ранее на космических аппаратах.

При сопоставлении временных последовательностей кинетических параметров плазмы с полученными на других аппаратах и моментами SC на Земле были определены характеристики распространения ударных волн от четырех вспышек. Быстро замедляющиеся волны от первых двух вспышек отнесены к взрывному типу. Несферичные волны от 3-й и 4-й вспышек распространяются с малым замедлением и могут быть отнесены к поршневого типу. После прихода плазмы от 3-й, наиболее сильной

вспышки наблюдалась ограниченная плазменная конфигурация с захваченными или гидрируемыми энергичными частицами.

Авторы благодарят С. А. Романова, А. В. Богданова, Ю. Е. Березина, Н. Ф. Антонову и Р. А. Исаеву за помощь в проведении эксперимента и обработке результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. McKinnon J. A. August 1972 solar activity and related geophysical effects. U. S., Dept Commerce, NOAA, 1972.
2. Collected Data Reports on August 1972 Solar-Terrestrial Events. H. D. Coffey (Ed.). Rept UAG-28, 1973, Pub. NOAA.
3. Dryer M. Space Sci. Rev., 1974, 15, N 4, 403.
4. Report ESRO. XVI COSPAR Meeting, Konstanz, 1973, May. Space Dept, ESTEC, 1973.
5. Автоматические станции «Прогноз». — Препринт. М., ИКИ АН СССР, 1973, Пр — 140.
6. Cambou F., Vaisberg O. L., Espagne H. e. a. — Space Res., 1975, XV, 461.
7. Темный В. В., Зерцалов А. А., Вайсберг О. Л., Березин Ю. Е. — Космические исследования, 1974, 12, вып. 1, 74.
8. Безруких В. В., Беляшин А. П., Волков Г. И. и др. Геомагнетизм и аэрномия, 1974, 14, № 3, 399.
9. Безруких В. В., Грингауз К. И., Застенкер Г. Н., Хохлов М. З. — Космические исследования, 1975, 13, вып. 3, 342.
10. Mihalov J. D., Colburn D. S., Collard H. R. e. a. Correlated interplanetary and magnetospheric observations. D. E. Page (Ed.). Dordrecht, D. Reidel, 1974, p. 545.
11. Scarf F. L., Wolf J. H. — J. Geophys. Res., 1974, 79, N 28, 4179.
12. Ogilvie K. W., Burlaga L. F., Wilkerson T. D. — J. Geophys. Res., 1968, 73, 6809.
13. Hundhausen A. J. — Solar Wind. NASA, SP-308, Wash., 1972.
14. Кривски Л., Пинтер С. — Изв. АН СССР, серия физ., 1973, 37, № 6, 1189.
15. Вернов С. Н., Григоров Н. Л., Ликин О. Б. и др. — Изв. АН СССР, серия физ., 1973, 37, № 6, 1139.
16. Sturrock P. A. Solar Flare. Plasma Astrophysics. N. Y., Acad. Press., 1967.
17. Любимов Г. П. Астрон. циркуляр, 1968, 4, № 488.
18. Pinter S. — Nature, 1973, N 243, 96.
19. Dryer M., Space Sci. Rev., 1975, 17, 277.

ДВИЖЕНИЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ОТ ВСПЫШКИ 4 АВГУСТА 1972 г. ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ВСПЛЕСКОВ II ТИПА

В. П. Григорьева

Наблюдения всплесков II типа до недавнего времени проводились только с Земли в диапазоне частот от 600 до 10 МГц, что соответствует излучению в нижней короне Солнца уровнями не выше $5R_{\odot}$. И только наблюдения с борта космического аппарата в диапазоне частот от нескольких мегагерц до 30 кГц позволили регистрировать излучение, возникающее при движении ударной волны в более высоких слоях короны: от $10R_{\odot}$ до орбиты Земли.

При анализе данных со станции «Прогноз» наряду с быстро дрейфующими всплесками III типа были выявлены медленно дрейфующие всплески II типа, отличительной особенностью которых является гармоническая структура излучения — генерация возникает одновременно на основной и второй гармониках. Наличие излучения на двух гармониках позволяет предположить, что в данном случае основная гармоника соответствует излучению на плазменной частоте в отличие от той неоднозначности, которая существует для всплесков III типа [1]. Предполагая, как обычно, что излучение возникает при прохождении ударной волны через плазму с плотностью электронов, соответствующей плазменной частоте, можно определить положение ударной волны в короне в моменты времени появления сигнала в разных диапазонах приемника (см. таблицу). Для этого необходимо исходить из какой-то модели распределения электронной концентрации во внешней короне и межпланетной среде. Как показано в [1, 2], результатам наблюдений всплеска II типа 7 августа 1972 г. лучше соответствует модель, полученная из наблюдений всплесков III типа в предположении, что излучение возникает на второй гармонике плазменной частоты. Эту модель в дальнейшем будем называть «модель N». Однако известно, что при прохождении ударной волны происходит резкое возрастание концентрации частиц плазмы короны — в пределе в четыре раза. Если предположить, что излучение на плазменной частоте соответствует именно этой возмущенной плазме, сжатой при прохождении ударной волны, то эта модель с учетом возмущенной концентрации (будем называть ее «модель 4N») даст более удаленное от Солнца положение ударной волны. При наличии магнитного поля на фронте волны возникает уплотнение уже не в четыре, а только в два с половиной раза. Таким образом, модели N и 4N дают предельные значения концентрации на фронте волны, определяющие частоту возникающего радиоизлучения. Но возможны и промежуточные случаи.