

ISSN 0023-4206

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Космические исследования

ТОМ XXVI вып. 2

МАРТ-АПРЕЛЬ 1988



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

*Е. Г. Ерошенко, К. Г. Иванов, М. И. Веригин, Г. А. Котова,
В. А. Стяжкин*

СТРУКТУРА МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПОТОКОВ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ПЛАЗМЫ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИСЗ «ПРОГНОЗ-6» 25—26.XI 1977 г.

Исследование МГД-структуры межпланетных потоков — одна из задач, решаемых с помощью измерений магнитного поля и плазмы на космических аппаратах. Особенно актуально одновременное использование нескольких аппаратов, расположенных в различных точках межпланетного пространства. Благоприятным для таких исследований был конец ноября 1977 г. (IV STIP интервал), когда 10 аппаратов располагались вблизи линии Солнце — Земля. В работе [1] рассматривалась структура, конфигурация и кинематика вспышечного потока, потока из корональной дыры и потока от неизвестного источника, наблюдавшихся на космических аппаратах «Гелиос-1, -2», IMP-7, -8 и «Вояджер-1, -2» в период 22.XI—6.XII 1977 г. Изучение потока от мощной изолированной вспышки балла 2В 22.XI 1977 г. было продолжено в [2, 3] с использованием магнитных данных ISEE-2. Два потока от вспышки и корональной дыры 25—26.XI 1977 г. наблюдались и на спутнике «Прогноз-6», поэтому ниже проводится сравнительный анализ соответствующих магнитных и плазменных данных.

Структура и конфигурация потока от вспышки вблизи Земли. На рис. 1 приведена структура потока вблизи Земли по магнитным и плазменным измерениям на ИСЗ «Прогноз-6». Для сопоставления приведены одновременные измерения скорости, концентрации протонов, модуль магнитного поля на IMP-8 и модуль магнитного поля на ISEE-1.

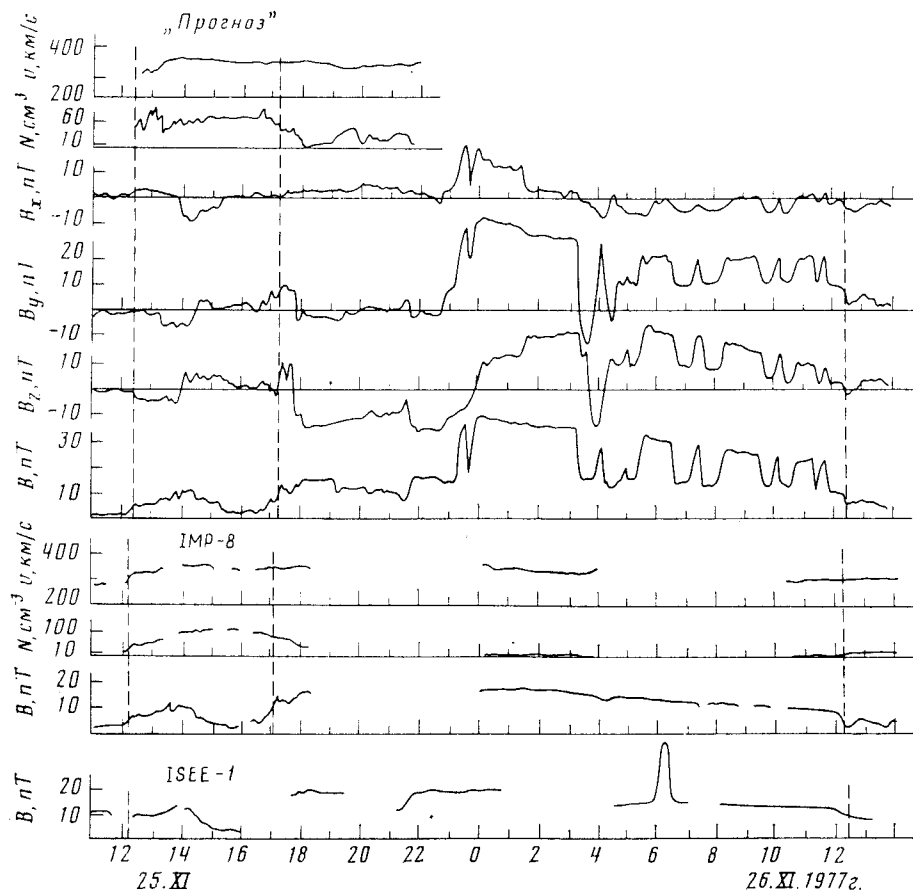


Рис. 1. Вариации скорости v , концентрации протонов N , компонентов и модуля B магнитного поля (GSE) по измерениям в межпланетном вспыхивающем потоке на ИСЗ «Прогноз-6», IMP-8 ISEE-1 25–26.XI.1977 г.

Ударный фронт от вспыхивающего потока наблюдался на IMP-8 и «Прогнозе-6». На ISEE-1 ударный фронт приходился на перерыв в измерениях. С ≈ 11.00 до ≈ 12.00 аппарат пересек отошедшую ударную волну и вышел в солнечный ветер. Момент прохождения фронта межпланетной ударной волны через ISEE-1 определялся в предположении, что расстояние между ударным фронтом и резким изменением магнитного поля в B_z -компоненте в 17.40, наблюдавшимся одновременно на «Прогнозе-6» и ISEE-1, в небольшом временном интервале не изменяется.

Моменты прохождения фронта межпланетной ударной волны и координаты трех аппаратов приводятся в табл. 1. Координаты ISEE-1 определялись по [4].

Таблица 1

Объект	UT	X_{GSE} , R_E	Y_{GSE} , R_E	Z_{GSE} , R_E
IMP-8	12.13	12,7	-33	23,4
ISEE-1	12.18	8	-18	7,5
«Прогноз-6»	12.20	-5,9	-17,6	23
SSC	12.26			

Нормаль к ударной волне определялась двумя методами: методом компланарности и по одновременным измерениям на трех разнесенных аппаратах, предложенным Огилви и Берлагой [5]. Метод компланарности был применен к магнитным измерениям ИСЗ «Прогноз-6» во временном интервале 10 с до разрыва и 10 с после разрыва. Измерения проводились 1 раз в 1 с. Направления нормали получились $\Phi_n = 125^\circ$, $\theta_n = -17^\circ$. По второму методу нормаль определялась по временным задержкам и расстоянием между аппаратами IMP-8, ISEE-1 и «Прогноз-6» с учетом того, что фронт ударной волны на этих расстояниях плоский. Направления нормали $\Phi_n = 127^\circ$, $\theta_n = -17^\circ$. Эти направления нормалей близки к нормали, определенной методом компланарности по магнитному полю на IMP-8 ($\Phi_n = 126^\circ$, $\theta_n = -25^\circ$) [2].

Угол между вектором B_1 до разрыва и нормалью N равен 88° , а угол между вектором B_2 после разрыва и нормалью N равен 79° . Таким образом, рассматриваемая ударная волна является квазиперпендикулярной.

Использование метода минимума вариаций [6] для определения нормали к ударной волне по различным временным интервалам приводило к большим расхождениям в направлениях нормалей. Это, по-видимому, связано с тем, что рассматриваемая ударная волна квазиперпендикулярная.

Магнитное облако вспышечного выброса, наблюдающееся на рис. 1 с ≈ 17.00 25.XI до ≈ 12.00 26.XI 1977 г., характеризуется возрастанием модуля магнитного поля и уменьшением концентрации плазмы [7]. Граница магнитного облака приходится на момент 17.12.15. Нормаль к границе магнитного облака определялась методом минимума вариаций [6] по измерениям магнитного поля на спутнике «Прогноз-6». Направление нормали $\Phi_n=151^\circ$, $\theta_n=5^\circ$.

Компоненты магнитного поля в окрестности границы магнитного облака были переведены в нормальную систему координат NML , в которой вектор N направлен

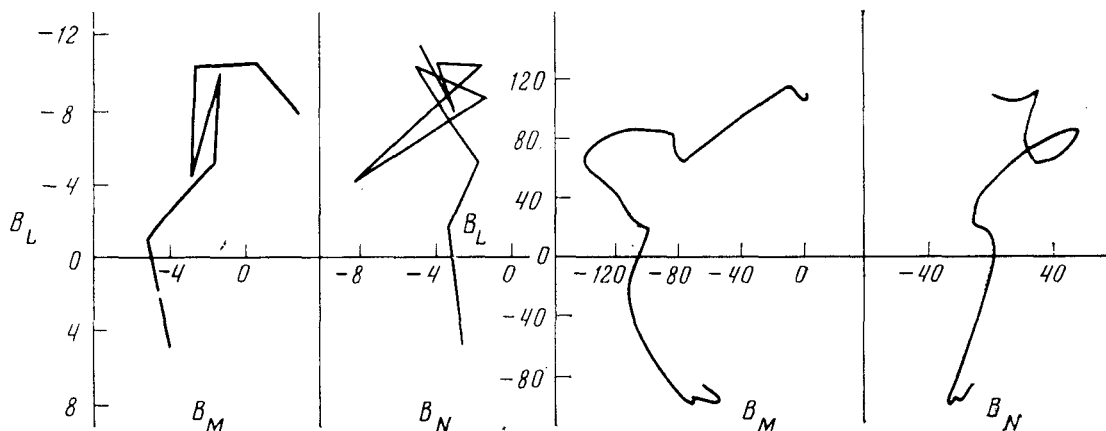


Рис. 2. Годограммы границ магнитного облака вспышечного выброса (слева) и земной магнитопаузы (справа)

вдоль собственного вектора, связанного с наименьшим собственным значением. L — с максимальным собственным значением, а M — с промежуточным собственным значением. На рис. 2 слева приведены годограммы в плоскостях LM и LN для границы магнитного облака вспышечного выброса и справа годограммы в тех же плоскостях, полученные Расселом для земной магнитопаузы [8]. Наблюдается сходство в структуре магнитного поля на границе магнитного облака вспышечного выброса и земной магнитопаузе. Толщина границы магнитного облака S определена по скорости плазмы V и времени, за которое нормальный компонент вектора магнитного поля совершает поворот ($S \approx 2700$ км).

На магнитограммах ИСЗ «Прогноз-6» (рис. 1) видно, что на магнитное облако накладывается резко изменяющееся дополнительное поле, что не наблюдается на магнитограммах IMP-8 и ISEE-1. Это связано с колебаниями отошедшей ударной волны, вызванными наклонным ($\Phi_n=126^\circ$) набеганием межпланетной ударной волны. В это время «Прогноз-6» находился высоко на фланге с координатами $X_{GSE}=-4.3R_E$, $Y_{GSE}=-19.2R_E$, $Z_{GSE}=24.6R_E$. Поле в переходной области на этих высотах достаточно регулярно, в данном случае еще и усиливается полем магнитного облака вспышечного выброса. IMP-8 был достаточно далеко в солнечном ветре, а ISEE-1 в более низких широтах. По-видимому, колебания отошедшей ударной волны при наклонном набегании межпланетной ударной волны в высоких широтах значительно больше, чем в низких широтах. На ISEE-1 только около 06.00 наблюдается кратковременное колебание отошедшей ударной волны.

Структура квазистационарного потока из корональной дыры. Квазистационарный поток, связанный с корональной дырой, наблюдался на ИСЗ «Гелиос-2» на 0.6 а.е.

Таблица 2

Объект	UT	X_{GSE}, R_E	Y_{GSE}, R_E	Z_{GSE}, R_E
SC	17.14			
ISEE-1	17.15	~ 15	~ -5	$\sim 7,5$
«Прогноз-6»	17.20	$-0,52$	$-19,15$	$23,5$

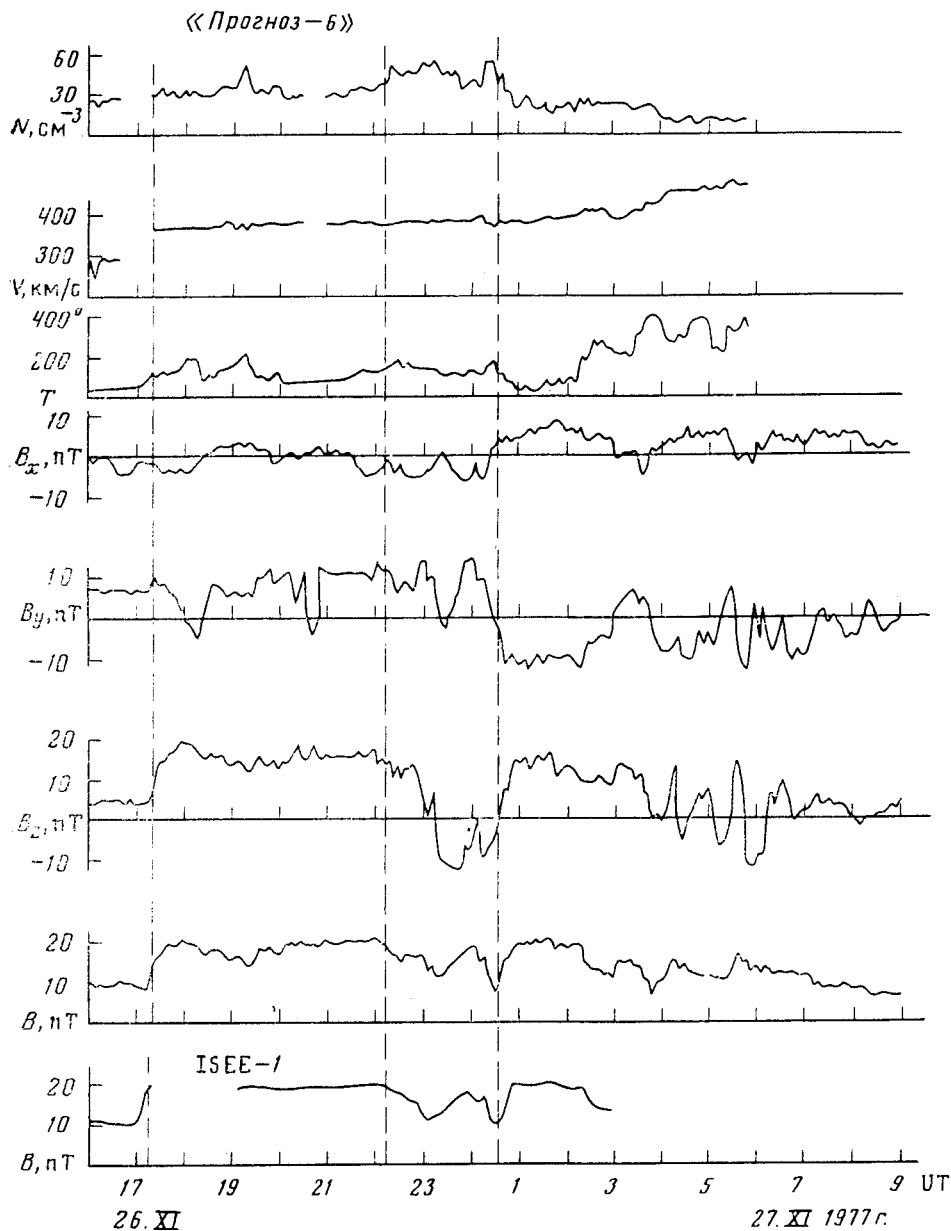


Рис. 3. Вариации концентрации, скорости и температуры протонов, компонентов и модуля магнитного поля по измерениям в квазистационарном потоке на ИСЗ «Прогноз-6» и ISEE-1 26–27.XI 1977 г

и на «Вояджер-1, -2» на 1,6 а. е. [1]. На 1 а. е. этот поток наблюдался на ИСЗ «Прогноз-6» и на ISEE-1 (рис. 3). В структуре этого потока можно выделить три особенности: головной ударный фронт, медленную прямую магнитозвуковую волну и границу потока.

Головной ударный фронт вначале проявился на Земле в виде SC, а затем наблюдался на спутниках ISEE-1 и «Прогноз-6». Моменты прохождения фронта ударной волны 26.XI 1977 г. см. в табл. 2.

Координаты ISEE-1 приближенно оценены по данным работы [4]. Нормаль к ударной волне была рассчитана методом компланарности по измерениям магнитного поля на спутнике «Прогноз-6». Направление нормали $\Phi_n = 248^\circ$, $\theta_n = -30^\circ$. Такое направление распространения фронта ударной волны соответствует его последовательной регистрации на Земле, затем на спутниках ISEE-1 и «Прогноз-6».

Измерения параметров плазмы и магнитного поля в момент 22.15 можно отождествить с медленной прямой магнитозвуковой волной, которая в данном примере характеризуется уменьшением модуля магнитного поля, увеличением концентрации и температуры плазмы и медленным увеличением ее скорости. Изменения параметров плазмы и магнитного поля в момент 0.40 27.XI 1977 г. – с границей потока, свойства которой отмечены в [9]: непрерывность скорости плазмы; резкое уменьшение температуры протонов T ; увеличение магнитной индукции; здесь еще можно добавить уменьшение концентрации протонов.

Как уже отмечалось, границы с почти такими же свойствами типичны для вспышечных выбросов. Для потока из корональной дыры на возможность такой границы впервые обращалось внимание в [9].

Выводы

1. С помощью спутника «Прогноз-6» получена информация о возмущениях магнитного поля и плазмы в межпланетной среде вблизи Земли при прохождении вспышечного изолированного потока и квазистационарного потока из корональной дыры 25–26.XI 1977 г. (IV STIP интервал).

2. Нормаль к головному ударному фронту вспышечного потока, определенная двумя независимыми методами с использованием данных «Прогноза-6», характеризуется углами $\Phi_n \approx 126^\circ$, $\theta_n \approx -17^\circ$. Это подтверждает положение о сильно наклонном набегании потока на магнитосферу и согласуется с предположением [2] о меридиональной сплюснутости этого потока.

3. Магнитное облако от изолированной вспышки по данным ИСЗ «Прогноз-6» и IMP-8 прослежено в течение 19 ч как область с относительно сильным полем, редкой плазмой, параметром $\beta < 1$, с почти регулярными вариациями всех компонентов B и характерным размером $L \approx v \cdot \Delta t \approx 20$ млн. км.

4. По измерениям на спутнике «Прогноз-6» определена нормаль и внутренняя структура магнитопаузы магнитного облака. Нормальный компонент магнитного поля на магнитопаузе облака равнялся 3–4 нТл, а годограф тангенциального компонента похож на годограф земной магнитопаузы. Это указывает на пересоединение магнитных полей и облака межпланетной среды и подтверждает предположение об одинаковой природе границы магнитного облака и магнитопаузы.

5. На ИСЗ «Прогноз-6» зарегистрировано более 10 пересечений фронта магнитосферной ударной волны во время пребывания геомагнитосферы внутри магнитного облака. С учетом положения спутника «Прогноз-6» (табл. 1) это позволяет сделать вывод об увеличении поперечного сечения переходной области при взаимодействии магнитосферы с магнитным облаком.

6. Нормаль к головному ударному фронту квазистационарного потока из корональной дыры, определенная методом компланарности с использованием данных «Прогноза-6», характеризуется углами $\Phi_n \approx 248^\circ$, $\theta_n = -30^\circ$. Такой наклон соответствует его последовательной регистрации сначала на Земле, затем на спутниках ISEE-1 и «Прогноз-6».

7. Идентифицирована граница квазистационарного потока, которая характеризуется почти такими же изменениями параметров плазмы и магнитного поля, как и граница вспышечного потока.

Благодарим К. Рассела и Н. Несса за возможность использования магнитных и плазменных измерений на ISEE-1 и IMP-8, И. П. Лянную за помощь в подготовке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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 AU // J. Geophys. Res. 1980. V. 85. № A5. P. 22–27.
2. Иванов К. Г., Микерина Н. В. Конфигурация и структура потока межпланетной магнитоплазмы от мощной изолированной вспышки 22.XI 1977 г. // Геомагнетизм и аэронавигация. 1983. Т. 23. № 2. С. 181.
3. Ivanov K. G., Harshiladze A. F. Interplanetary hydromagnetic clouds as flare – generated spheromaks // Solar Physics. 1985. V. 98. № 2. P. 379.
4. IMS/Satellite Situation Center Report № 10. WDC-A Greenbelt (USA). 1977.
5. Ogilvie K. W., Burlaga L. F. Hydromagnetic Shocks in the solar wind // Solar Physics. 1969. V. 8. № 2. P. 422.
6. Sonnerup B. U. Ö., Cahill L. J. Magnetopause structure and attitude from Explorer 12 observation // J. Geophys. Res. 1967. V. 72. № 1. P. 171.
7. Иванов К. Г. Вращательные ударные волны в роли головных и обратных ударных волн в потоках межпланетной плазмы // Геомагнетизм и аэронавигация. 1976. Т. 16. № 1. С. 21.
8. Russel C. T., Elphic R. C. Initial ISEE magnetometer results: magnetopause observations // Space Science Reviews. 1978. V. 22. № 6. P. 681.
9. Застенкер Г. Н., Омельченко А. Н., Ерошенко Е. Г. и др. МГД-структура межпланетного потока по измерениям плазмы и магнитного поля на ИСЗ «Прогноз-7» (VISTIP интервал, 25 апреля 1979 г.) // Космич. исслед. 1982. Т. 20. № 4. С. 566.

Поступила в редакцию
6.V.1986