

УДК 523.945

ЛЮБИМОВ Г. П., ПЕРЕСЛЕГИНА Н. В.

ОТОБРАЖЕНИЕ СТРУКТУРЫ ХРОМОСФЕРЫ
И КОРОНЫ СОЛНЦА В СОЛНЕЧНОМ ВЕТРЕ
И МЕЖПЛАНЕТНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Методом конкретного сопоставления данных о солнечном ветре и межпланетном магнитном поле с солнечными данными найдены новые особенности в структуре солнечного ветра низкой скорости и получены дополнительные указания об источниках солнечного ветра. Эти закономерности обнаружены в данных за апрель 1968 г. и подтверждены на других интервалах. Показано: 1) низкоскоростному солнечному ветру соответствуют участки спокойной солнечной хромосферы между группами активных областей; 2) низкоскоростной солнечный ветер выносит слабое крупномасштабное солнечное магнитное поле, знак которого соответствует знаку слабого межпланетного магнитного поля; 3) на линии инверсии знака межпланетного магнитного поля наблюдаются дублетные импульсы плотности, которым соответствует минимальная величина напряженности магнитного поля. Высказана гипотеза о наблюдении корональных петлевых плазменных структур, перенесенных солнечным ветром к 1 а.е. Предложена феноменологическая модель явления.

REFLECTION OF THE CHROMOSPHERIC STRUCTURE AND OF THE SOLAR CORONA IN THE SOLAR WIND AND IN THE INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD, by Lyubimov G. P., Pereslegina N. V. — By means of a detailed comparison of the data on the solar wind and the interplanetary magnetic field with the solar data, new features in the structure of the low-velocity solar wind are revealed and additional evidence on the solar-wind sources are obtained. These correlations were found in the data of April, 1968, and then confirmed at other time intervals. It is shown that 1) the low-velocity solar wind corresponds to the areas of the steady-state solar chromosphere between groups of active regions; 2) the low-velocity solar wind carries out weak large-scale solar magnetic field with the sign corresponding to that of the weak interplanetary field; 3) at the sign-inversion line of the interplanetary field, double bursts of density are observed the minimum density corresponding to the minimum intensity of the field. The hypothesis is put forward that we observe here coronal loop plasma structures carried by the solar wind to 1 a. u. A phenomenological model is suggested.

Решение проблемы источников солнечного ветра разной скорости во многом определяется нахождением адекватных связей между характерными структурными формами солнечной атмосферы и различными характеристиками межпланетной среды. Применение статистических методов уменьшает разрешающую способность поиска связей между Солнцем и средой. Подобные методы убирают характерные детали, по которым можно делать точную привязку событий. Метод заранее выбранных соответствий (между Солнцем и средой) исключает неопределенности, связанные с большим расстоянием между источником и точкой наблюдения и с нелинейными динамическими процессами, свойственными неоднородной и нестационарной плазме солнечного ветра.

Проблеме источников высокоскоростных потоков солнечного ветра посвящено много работ, однако альтернатива выбора между активными и пассивными, биполярными и униполярными структурами в атмосфере Солнца существует и содержит еще немало трудностей на пути ее решения. В данной работе исследуются потоки низкоскоростного солнечного ветра, их тонкая структура. Эта задача содержит трудность поиска хорошо выделенных и достаточно протяженных участков низкоскоростного солнечного ветра с дополнительными характерными признаками.

Прекрасную возможность поиска различных особенностей в солнечном ветре и одновременно в межпланетном магнитном поле дает каталог Кинга [1]. Наиболее характерный участок низкоскоростного солнечного ветра был обнаружен нами [2, 3] в апреле 1968 г. На рис. 1, а показан этот фрагмент. Он хорошо выделен с обеих сторон задним и передним фрон-

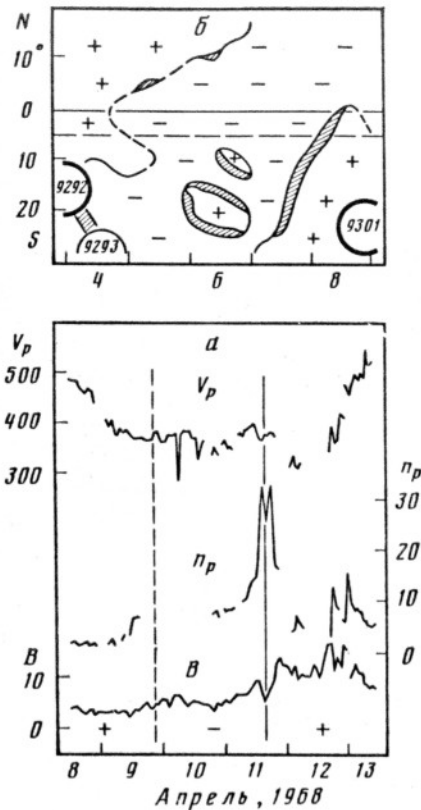


Рис. 1. Примеры участков солнечного ветра низкой скорости в окрестности инверсии знака (граница сектора) межпланетного магнитного поля. *a* – показаны среднечасовые данные [1]: скорость (V_p) и плотность (n_p) плазмы, напряженность магнитного поля (B); отмечено направление магнитного поля («+» и «-»), вертикальные линии соответствуют положению границы секторов: основной (сплошная) и дополнительной (пунктир). *б* – показаны фрагменты синоптических карт Солнца [4, 5]: отмечено направление магнитного поля («+» и «-»), кривые линии соответствуют положению границ смены знака поля: основной (сплошная) и дополнительной (пунктир), штриховка вдоль линий смены знака поля показывает положение волокон; кругами с № обозначены кальциевые флоккулы: площадь круга пропорциональна площади флоккул, а толщина линии окружности – яркости; горизонтальная пунктирная прямая (параллельная линии гелиоэкватора) соответствует проекции плоскости эклиптики на диск Солнца; карты Солнца сдвинуты относительно рис. *a* на время движения солнечного ветра до 1 а. е.

тами соответствующих высокоскоростных потоков солнечного ветра. Следует сразу заметить, что если передний фронт, образованный набеганием высокоскоростного потока на поток низкой скорости, всегда достаточно четко выделен, то положение заднего фронта высокоскоростного потока весьма неопределенно. На переднем фронте кроме внезапного быстрого роста скорости наблюдаются значительные импульсы плотности плазмы и напряженности магнитного поля. В области заднего фронта скорость потока, как правило, медленно уменьшается, а плотность плазмы и напряженность магнитного поля не имеют особенностей.

Участок низкоскоростного солнечного ветра, показанный на рис. 1, *a*, имеет следующие особенности: 1) он делится на три части с разной полярностью межпланетного магнитного поля; 2) основной границе раздела полярностей соответствует импульс плотности; 3) импульс плотности имеет дублетный характер; 4) дублетный характер имеет возрастание напряженности магнитного поля и вариация скорости плазмы; 5) линия инверсии знака межпланетного магнитного поля совпадает с относительными минимумами в скорости и плотности плазмы и в напряженности межпланетного магнитного поля.

Таким образом, контакт двух потоков низкоскоростного солнечного ветра имеет дублетный характер всех параметров. Значительная величина импульса плотности плазмы при практически неизменной величине скорости не может быть объяснена ни взаимодействием двух потоков, ни сохранением величины потока. Следовательно, на контакте существует значительный дополнительный поток из атмосферы Солнца. Для проверки этого обстоятельства и выявления дополнительных потоков, не связанных с их перераспределением в межпланетной среде, были подобраны эмпирические зависимости между плотностью (n) и скоростью (V), между напряженностью магнитного поля (B) и скоростью плазмы на интервале с 02 по 23.IV.1968 г. Для плотности получено соотношение

$$n=200\left(\frac{1}{V}\cdot\frac{\Delta V}{\Delta t}+10\cdot\frac{1}{V}\right)+n_c,$$

где n_c — компонента плотности, перенесенная из области сильной неоднородности на Солнце к 1 а.е. Аналогичное выражение получено и для напряженности межпланетного магнитного поля:

$$B=5,5+200\cdot\frac{1}{V}\cdot\frac{\Delta V}{\Delta t}+B_0.$$

В этих соотношениях скорость выражена в $\text{км}\cdot\text{с}^{-1}$, плотность — в см^{-3} , напряженность — в гаммах, а $\Delta V/\Delta t$ — в $\text{км}\cdot\text{с}^{-1}/\text{ч}$. Применение полученных соотношений показало, что отношение измеренных значений плотности и напряженности к вычисленным, исходя из скорости, для всего интервала с 02 по 23.IV.1968 г. будет постоянно, если задать дополнительный локальный поток вещества при плотности до 25 см^{-3} и магнитного поля с напряженностью до 6γ на контакте 11.IV.1968 г. и дополнительный поток только плазмы при плотности до 16 см^{-3} с 21 по 22.IV.1968 г. Средние значения потока и напряженности также различаются слева и справа от контакта: поток вещества после 11.IV.1968 г. примерно в 1,5 раза меньше, а напряженность поля на столько же больше.

Поиск на Солнце структур, соответствующих наблюдению низкоскоростного солнечного ветра, осуществлялся по синоптическим H_α картам [4] и по картам солнечных магнитных полей [5]. На рис. 1, б показан фрагмент синоптической карты Солнца, на которой отмечены крупномасштабные области с разной полярностью солнечного магнитного поля. Граница раздела полярностей обозначена пунктирной или сплошной линией, волокна вдоль линий обозначены штриховкой. Крутами показаны кальциевые флоккулы; пунктирная линия, параллельная гелиоэкватору, отмечает проекцию плоскости эклиптики на диск Солнца. Карта Солнца (рис. 1, б) смещена относительно околоземных данных (рис. 1, а) на время движения солнечного ветра до орбиты Земли.

Сопоставление исследуемого интервала (рис. 1, а) с солнечными данными (рис. 1, б) показывает: 1) низкоскоростному солнечному ветру соответствует участок спокойной солнечной хромосферы между двумя группами активных областей; 2) низкоскоростной солнечный ветер выносит слабое крупномасштабное солнечное магнитное поле, знаки которого соответствуют знакам слабого межпланетного магнитного поля; 3) наблюдаются две границы смены знака: основная, вдоль которой расположено мощное волокно, и дополнительная, отмеченная пунктиром; 4) наблюдается достаточно хорошее соответствие между общей протяженностью участка низкоскоростного солнечного ветра и спокойной солнечной хромосферой, между длительностью наблюдения соответствующего знака магнитного поля на Солнце и в межпланетной среде, между измеренными скоростями солнечного ветра и средними скоростями (по запаздыванию моментов смены знака поля на дистанции в 1 а.е.). Эти данные приведены в таблице. Следует отметить, что моменты регистрации прохождений через центральный меридиан Солнца тех или иных деталей хромосферы относились к видимой (с Земли) гелиошироте и не учитывался возможный эффект нерадиальности потока или поля, найденный в [6].

№ рисунка	Дата	Импульс плотности								Напряженность магнитного поля				Скорость плазмы							
		ширина °, ч		значение n_p , см ⁻²				разы		%		значение B °, гаммы		%		значение V_p °, км-с ⁻¹		%		градусы	
		τ	$\tau_{0.5}$	n_1	n_m	n_2	n_3	K_m	Δn_m	B_1	B_m	B_2	ΔB	V_1	V_m	V_2	ΔV	\bar{V}	$\Delta \varphi$		
1	11.IV.1968	3	6	32	27,5	32,5	10	2,2	-21	9,5	5	13,5	-56	400	365	380	±3	465	+13		
2	12.V.1973	4	7	13	9	13	8	1,2	-57	6,5	3,5	6,5	-46	430	400	415	+6	380	-3		
2	20.II.1974	5	12	35	30	40	10	2,7	-27	5,5	1,5	9	-79	370	330	375	-11	490	+22		
3	29.VIII.1974	6	8	36,5	13	17,5	10	1,7	-82	10,5	8,5	9,5	-15	525	485	515	+5	480	-1		
3	22-24.X.1974	34	40	28	4	60	4	10,0	-100	-	-	-	-	480	415	470	±7	360	-8		
4	16/17.XII.1974	4	8	31	8,5	35	8,5	2,9	-100	9,5	5,5	10,5	-45	440	400	490	±8	350	-8		
4	23/26.II.1976	6	13	33	23	35	14	1,4	-55	3,5	2,5	-52	320	305	355	±5	440	+23			

° Соответствует 10^6-10^7 км — на 1 а. е.
 °° На ширине импульса плотности: τ — между пиками, $\tau_{0.5}$ — на 0,5 амплитуды; n_1 — в первом шипе дублета, n_2 — во втором, n_m — минимум между пиками, n_3 — средний фаз; $K_m = \frac{n_1 + n_3}{2n_2} - 1$ — средняя амплитуда к фазу; $\Delta n_m = \frac{n_1 + n_3 - 2n_m}{n_1 + n_3 - 2n_2} \cdot 100\%$ — разделение шипов дублета; B_1 — фаз перед минимумом, B_2 — после, B_m — минимум; $\Delta B = \left(1 - \frac{2B_m}{B_1 + B_2}\right) \cdot 100\%$ — амплитуда помехи к среднему фазу; V_1 — до импульса, V_2 — после, V_m — минимальная; $\Delta V = \frac{V_1 + V_2 - 2V_m}{V_1 + V_2 + 2V_m} \cdot 100\%$, $+\Delta V = \left(\frac{V_1 + V_2}{2V_m} - 1\right) \cdot 100\%$, $-\Delta V = \left(1 - \frac{2V_m}{V_1 + V_2}\right) \cdot 100\%$; $\bar{V} = \frac{1a.e.}{t_1 - t_2}$ — средняя скорость между Солнцем и Землей, где t_1 и t_2 — моменты инверсии знака магнитного поля: на 1а. е. (рис. 1, а) и на Солнце (на линии проекции плоскости эклиптики, рис. 1, б) соответственно; $\pm \Delta \varphi = 2,2 \cdot 10^6 \left(\frac{1}{V_m} - \frac{1}{\bar{V}}\right)$ — отклонение азимута от радиальности по гелиошироте в источнике: $\circ +$ — к западу (W), $\circ -$ — к востоку (E).

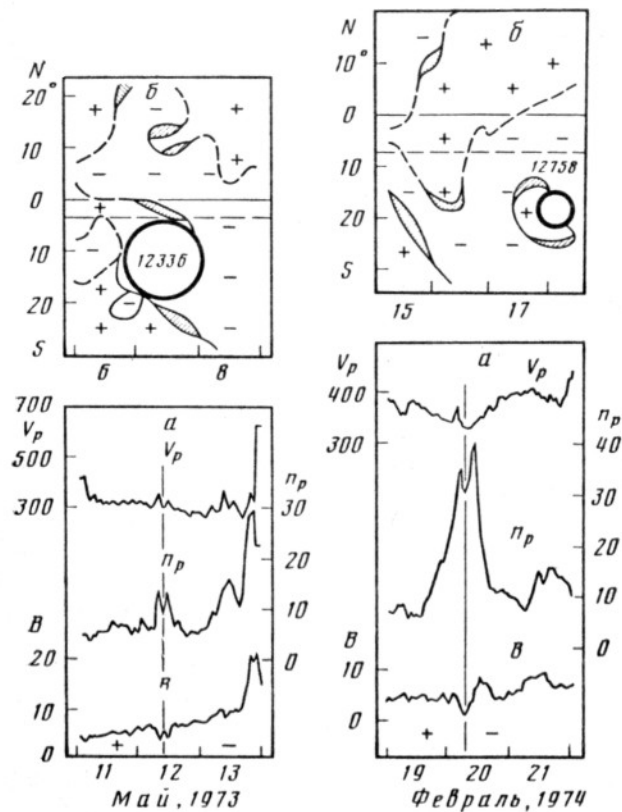


Рис. 2

Дублетная структура контакта двух низкоскоростных потоков солнечного ветра с разной полярностью магнитного поля является характерной тонкой структурой областей низкоскоростного солнечного ветра. Это можно видеть при внимательном изучении данных [1]. На рис. 1–4 показаны некоторые наиболее яркие примеры одиночной дублетной структуры. В некоторых случаях наблюдается полное разделение дублета, рис. 4, *a* (XII.1974), сверхширокий дублет, рис. 3, *a* (X.1974), правый сателлит которого сам является дублетом. Различна и величина модуляции напряженности магнитного поля (см. таблицу). На рис. 5, 6 показаны более сложные, широкие импульсы плотности, состоящие из нескольких дублетов. Широкие «столики» (рис. 5 (II.1968), 6 (9–10 и 23–24.VI.1974)); сверхширокий сложный случай (рис. 6 (V.1977)). Три примера на рис. 5 рекуррентны, можно видеть изменение деталей при сохранении общей сложной структуры в течение двух солнечных оборотов.

Одиночный импульс плотности в минимуме скорости солнечного ветра на границе секторов межпланетного магнитного поля был получен в ряде работ. Он отождествлялся с регистрацией пересечения так называемого токового слоя в форме волнистой ленты, разделяющей противоположные полярности общего магнитного поля Солнца. В работе [7] исследовано содержание ионов гелия по отношению к ионам водорода в слое; сделан анализ некоторых теоретических моделей, и показано, что слой может иметь корональное происхождение, т. е. быть продолжением коронального луча до расстояний в 1 а.е. Эти результаты были получены методом наложения эпох (порядка 70 случаев), который убрал все тонкие детали структуры контакта.

Мы предполагаем, что наиболее адекватной формой, соответствующей наблюдениям дублетных структур, показанных на рисунках, могут быть вытянутые в межпланетную среду низкоскоростным солнечным ветром протяженные корональные лучи — трубки, которыми оканчиваются систе-

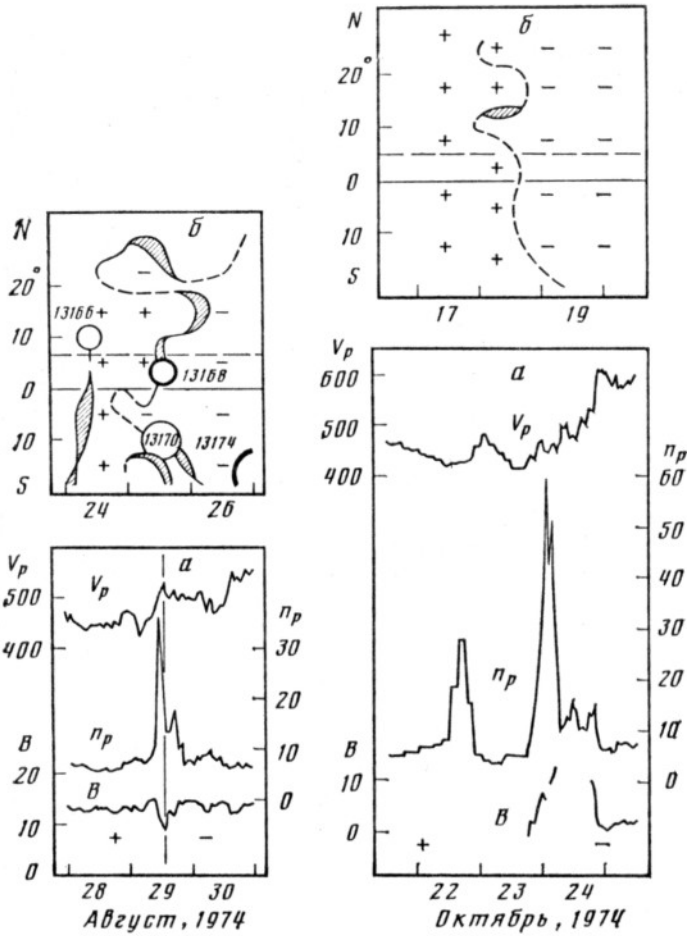


Рис. 3

мы арок и шлемов над волокнами в хромосфере Солнца. В короне наблюдаются и дублетные лучи и тонкая структура одиночных лучей [8, 9]. Через детектор у орбиты Земли могут пройти обе трубки петли, только одна трубка или система трубок в зависимости от направления сечения и ориентации арок на Солнце. В этой модели легко получить инверсию знака магнитного поля между трубками, около одной из трубок системы, двойное изменение знака или не иметь смены знака в зависимости от того, как ориентирована и расположена граница смены знака на Солнце и в межпланетной среде относительно направления и расположения к ней линии сечения. Примеры таких ситуаций можно видеть на приведенных рисунках.

Увеличенный поток плазмы в трубках или в системе трубок над уровнем $nV = \text{const}$ на фоне низкоскоростного солнечного ветра наблюдается не всегда (например, первая граница 09.IV.1968 г. на рис. 1, а). Это обстоятельство может служить указанием на то, что граница раздела полярностей не является непрерывной лентой в межпланетной среде, а состоит из пучков отдельных трубок разного масштаба, вытянутых на различные расстояния от Солнца. Такая картина соответствует наличию множества отдельных полюсов солнечного магнитного поля, которые соединяются трубками с повышенной концентрацией плазмы. Возможно, что наличие волокон в хромосфере на границах разной полярности отмечает эти места. При отсутствии границы смены полярности сильной неоднородности потока и его увеличения на фоне низкоскоростного солнечного ветра не наблюдается (см. [1]).

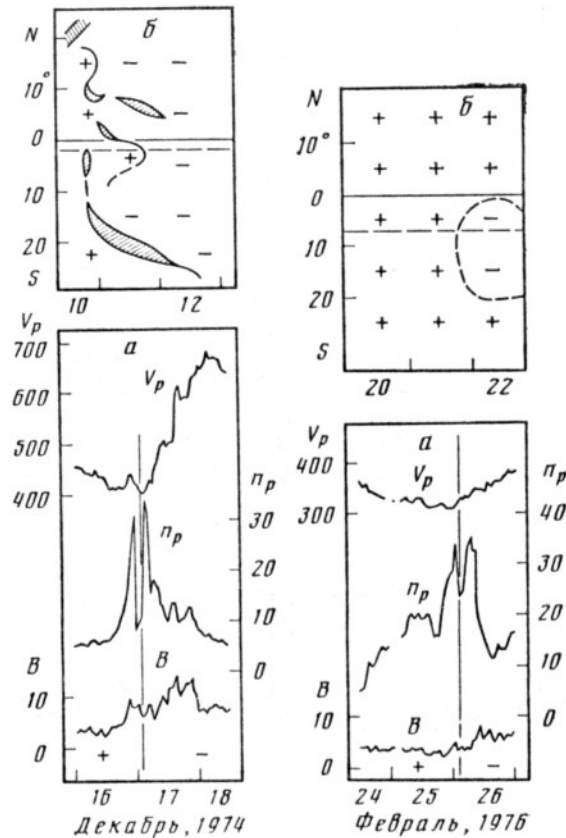


Рис. 4

Системы плазменных арочных трубок в биполярных магнитных полях, между соседними активными областями, расположенными в одном или в разных полушариях Солнца, хорошо видны на фотографиях солнечной короны, полученных в рентгене (2–32, 44–54 А) на ИСЗ «Скайлэб» [10]. Наиболее четкие формы наблюдались 04–08.IX.1973 г., а также 27–31.X.1973 г. и 25–27.XI.1973 г.

Модельное представление наблюдаемых в солнечном ветре дублетных структур сводится к обтеканию и вытягиванию потоком ускоряющегося солнечного ветра плазменных трубок, локализованных в магнитном поле, аналогичных плазменным шнурам в лабораторных магнитных ловушках [11]. Поток ускоряющегося солнечного ветра низкой скорости, согласно данным о радиопросвечивании [12, 13] околосолнечной плазмы, имеет участок дозвукового течения до расстояний порядка 10 солнечных радиусов и переходную область сверхзвукового разгона до 30 радиусов. Взаимное антифазное распределение плотности плазмы и напряженности магнитного поля в наблюдаемых дублетных структурах и даже для каждого из спутников согласуется с распределением этих параметров для плазменного шнура в продольном магнитном поле [11]. Увеличение плотности плазмы приводит к уменьшению напряженности магнитного поля. Наиболее симметричная картина наблюдается на рис. 2, а (V.1973) и 3, а (VIII.1974); на рис. 1, а и 2, а (II.1974) симметрия искажена. Причинами искажения могут быть: изменение напряженности магнитного поля до и после линии инверсии знака, различие наблюдаемых сечений обеих трубок и нестационарные процессы (взаимодействие трубок). Вариации скорости плазмы на протяжении импульса плотности малы и сравнимы с ошибкой измерений [1], однако относительная модуляция скорости также не противоречит предложенной модели. Можно выделить следующие типы вариаций скорости в трубках: уменьшение скорости (проскальзыва-

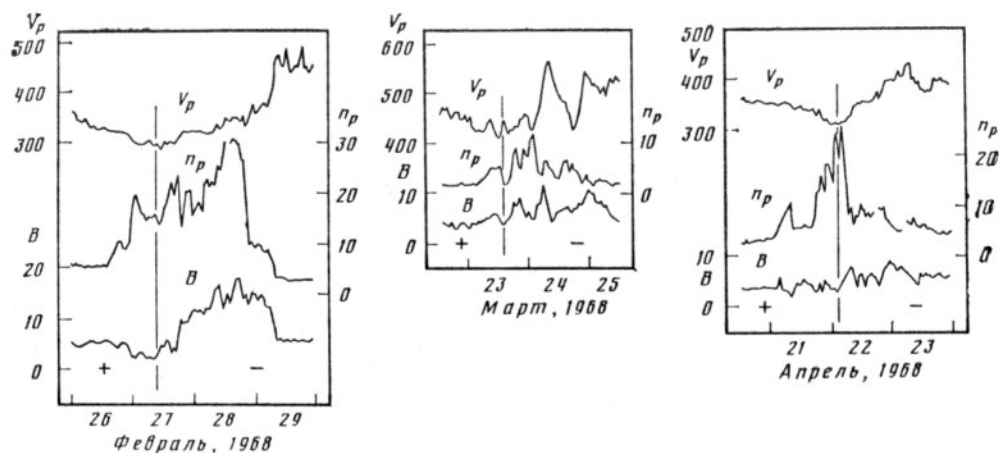


Рис. 5

ние) характерно для всех случаев, кроме рис. 2, *a* (V.1973) и рис. 3, *a* (VIII.1974); рост скорости (ускорение) — рис. 2, *a* (V.1973) и рис. 3, *a* (VIII.1974); дифференциальное движение (поток вдоль петли) — рис. 1, *a*, 3, *a* (X.1974), 4, *a* (XII.1974), 4, *a* (II.1976). Эти типы вариаций скорости в трубках сочетаются с собственными вариациями скорости обтекающей их плазмы солнечного ветра. На рис. 1, *a* и 3, *a* (VIII.1974) хорошо заметен скачок скорости на линии инверсии знака магнитного поля; в других случаях можно видеть медленный, монотонный ход скорости. В таблице приведены некоторые количественные данные по рис. 1—4. Все отмеченные выше особенности одиночных дублетных структур можно различить и на рис. 5, 6.

Различие между потоком низкоскоростного солнечного ветра, идущим из хромосферы, и вытянутыми им петлевыми структурами короны особенно наглядно проявляется 12.V.1973 г. и 20.II.1974 г. (рис. 2). На этих рисунках показана лишь основная граница смены знака магнитного поля. Согласно [1], за время длительности импульсов плотности (т. е. всего лишь за 5 и 10 ч соответственно) происходит последовательное изменение знака: 3 раза для первого случая и 5 раз для второго. Это обстоятельство, для первого случая, можно понять как пересечение петли, имеющей полярность, противоположную фону относительно общей границы смены знака. Во втором случае наблюдали пересечение двух петель противоположной полярности.

Указание на существование в межпланетной среде магнитных петлевых структур, соединяющих активные области разных полушарий Солнца и достигающих расстояний от 2 до 6 а.е., было получено нами [14]. Этот результат и построенная модель были получены в результате анализа данных о распространении солнечных протонов с энергией 1—12 МэВ от вспышки 07.IX.1973 г. по данным АМС «Марс-4,5,7». Модель учитывала движение солнечных протонов не только по большим внешним петлям, но и по малым петлям в короне Солнца. Именно эти корональные петли наблюдались на ИСЗ «Скайлэб» [10] с 04 по 08.IX.1973 г., о чем уже упоминалось выше. Другой случай наблюдения большой петлевой ловушки (больше 1 а.е.) для солнечных протонов с энергией 1—15 МэВ и альфа-частиц с энергией 4,5—8 МэВ по данным ИСЛ «Луна-22» [15] соответствует показанному на рис. 6 «столику» из четырех дублетов плотности 08—10.VI.1974 г.

Дополнительно следует отметить еще две особенности, которые можно увидеть, просматривая участки низкоскоростного солнечного ветра [1]. На некоторых участках заметны синфазные вариации скорости плазмы и напряженности магнитного поля, но без изменения его знака. Такие вариации можно отождествить с элементами хромосферной сетки (эфемерные активные области, яркие рентгеновские точки, спикулы). Усиленное маг-

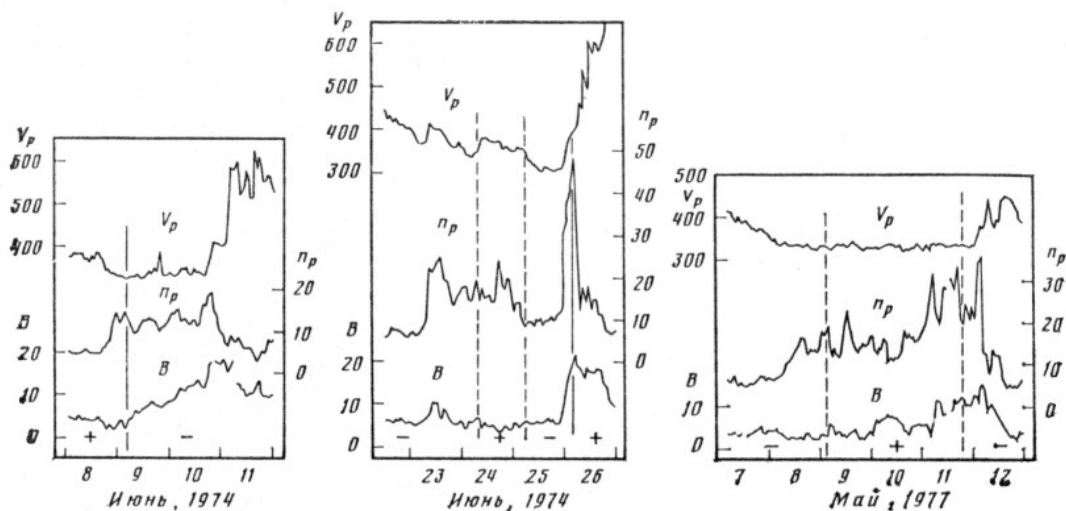


Рис. 6

нитное поле хромосферной сетки имеет ячеистую структуру [16] и может служить основой, задающей трубчатую структуру течений плазмы. Усиление напряженности магнитного поля по периферии флоккульных полей [17] также может лежать в основе трубчатых течений плазмы. Выше было отмечено, что вариация скорости солнечного ветра в окрестности импульса плотности при смене знака магнитного поля, как правило, имеет локальный минимум. Но в некоторых случаях (рис. 1, а) локальный минимум скорости плазмы не сопровождается сменой знака магнитного поля (10 и 12.IV.1968 г.), однако в этих случаях, как правило, можно увидеть [1] либо очень короткие (порядка 1 ч) «вкрапления» другого знака (10.IV.1968 г. появился «+», а 12.IV.1968 г. появился «-»), либо сильную вариацию направления вектора напряженности магнитного поля (например, 04 и 05.IV.1968 г. в «-» секторе появлялись «+»). Подобные случаи, вероятно, могут соответствовать либо касанию границы смены знака, либо свидетельствовать о выносе локальных полей (например, островки «+» на фоне «-» 06.IV.1968 г. на рис. 1, б).

Таким образом, в работе показано: 1) низкоскоростному солнечному ветру ($300-500 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$) соответствуют участки спокойной хромосферы Солнца между группами флоккул активных областей; 2) наблюдается соответствие между величиной и направлением фоновых солнечных и межпланетных крупномасштабных магнитных полей; 3) показано существование дублетных структур импульса плотности плазмы, напряженности межпланетного магнитного поля и скорости плазмы в окрестности линии инверсии знака магнитного поля; 4) линии инверсии соответствуют относительные минимумы параметров, модуляции составляют плотности: 20–100%, напряженности поля 15–80%, скорости 3–10%; 5) наблюдаемое распределение параметров в низкоскоростном солнечном ветре и межпланетном магнитном поле на 1 а.е. соответствует вытягиванию корональных плазменных петель ускоряющимся потоком солнечного ветра с уровня хромосферы.

В заключение следует отметить, что в работе рассмотрена лишь малая часть характерных примеров локальных структур квазистационарного солнечного ветра. Работа требует очень внимательного дальнейшего поиска в экспериментальных данных и продления методики аналогичного анализа на потоки высокоскоростного солнечного ветра. Решение проблемы источников солнечного ветра разной скорости лежит на пути изучения более тонкой структуры солнечного ветра и элементов солнечной активности, в поиске связей между относительно пассивными и активными процессами и структурами проявления солнечной активности, в поиске новых теоретических моделей ускорения и динамики солнечного ветра.

Авторы выражают благодарность Т. И. Степиной за большую подготовительную работу и получение вычислительного и графического материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. King J. H. Interplanetary Medium Data Book, 1977—1979.
2. Контор Н. Н., Любимов Г. П., Переслегина Н. В. и др. Космические исследования, (в печати).
3. Любимов Г. П., Переслегина Н. В. Астрон. циркуляр, 1984, № 1323, с. 2.
4. Report UAG-70, 1979.
5. Solar Geophysical Data, 1967—1977.
6. Вернов С. Н., Тверской Б. А., Любимов Г. П. и др. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1975, т. 39, с. 340.
7. Borrini G., Wilcox J. M., Gosling J. T. et al. Solar Wind Helium and Hydrogen Structures Near Heliospheric Current Sheet: A Signal of Coronal Streamers at 1 AU. J. G. R., 1981, v. 86, p. 4564.
8. Богуславская Е. Я. Структура солнечной короны.— Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга, 1949, т. XIX.
9. Всехсвятский С. К. и др. Солнечная корона и корпускулярное излучение в межпланетном пространстве. Киев: Изд-во Киевского гос. ун-та, 1965.
10. Zombeck M. V., Vaiana G. S., Haggerty R. et al. Astrophys. J. Suppl. Ser., 1978, v. 38, p. 69.
11. Арцимович Л. А. Элементарная физика плазмы. М.: Госатомиздат, 1963.
12. Ефимов А. И., Яковлев О. И., Разманов В. М., Штрыков В. К. Письма в «Астрон. журн.», 1977, т. 3, 7, с. 322.
13. Лотова Н. А., Блумс Д. Ф. Геомагнетизм и аэрономия. 1984, т. 24, № 2, с. 182.
14. Любимов Г. П., Контор Н. Н., Переслегина Н. В., Игнатьев П. П. Изв. АН СССР. Сер. физ., 1976, т. 40, с. 462.
15. Pereslegina N. V., Tulupov V. I., Chuchkov E. A. Phys. Solar., Potsdam, 1978, № 8, p. 49.
16. Бекерс Дж. М. В кн.: Солнечная и солнечно-земная физика/Под ред. Бруцека А., Дюрана Ш. М.: Мир, 1980, с. 39.
17. Степанян Н. Н. Рождение активных областей. Тр. VIII консультативного совещ. академий наук соц. стран по физике Солнца. М.: Наука, 1976, с. 3.

НИИ ядерной физики
Московского гос. университета

Поступила в редакцию
2.V.1984