

УДК 523.947

Корональные дыры и прогнозирование рекуррентных высокоскоростных потоков

Б. Д. Шельтинг, В. Н. Обридко

По данным за 1973—1979 гг. изучены связи между крупномасштабным магнитным полем Солнца (КМПС), корональными дырами (КД), секторными структурами межпланетного магнитного поля (СС ММП) и высокоскоростными потоками (ВСП) с использованием кросскорреляционного анализа и непосредственного сопоставления. Получены значительные парные пространственные и временные соответствия между следующими явлениями: КМПС—КД (88%), КД—СС ММП (87% при транспортном времени $\tau=4.5$ сут), КД—ВСП (63% для рекуррентных КД), СС ММП—ВСП (75% в пределах ± 2 сут). Ширина пограничной зоны между КД—КМПС и КД—СС ММП составляет 1.5—3 сут (20—40 гелиографических градусов). Сформулировано правило прогнозирования ВСП: при прохождении КД через центральный меридиан в 82% случаев через один оборот в межпланетном пространстве должен быть зарегистрирован ВСП.

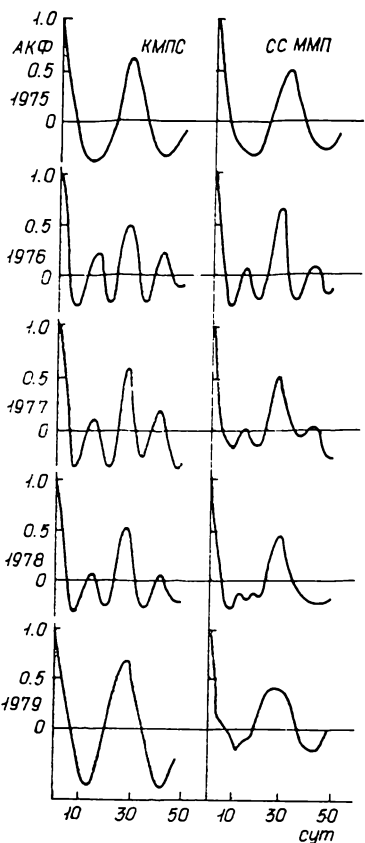
CORONAL HOLES AND PREDICTION OF RECURRENT HIGH-VELOCITY STREAMS, by Shel'ting B. D., Obridko V. N.—The data for 1973—1979 have been used to study the relationships between the large-scale solar magnetic field, coronal holes, the IMF sector structure and high-velocity streams by applying the cross-correlation analysis and direct comparison. A remarkably high time and space correlations have been obtained between the large-scale magnetic field and coronal holes (88%), coronal holes and the IMF sector structure (87% for transport time $\tau=4.5$ days), coronal holes and high-velocity streams (63% for recurrent coronal holes), the IMF sector structure and high-velocity streams (75% within ± 2 days). The width of the boundary region between coronal holes and the large-scale solar magnetic field and between coronal holes and the IMF sector structure is 1.5—3 days or 20—40 heliographic degrees. A principle which underlies the prediction of high-velocity streams has been formulated as follows: the passage of a coronal hole through the central meridian implies that in 82% of cases a high-velocity stream will be registered in the interplanetary space during next rotation.

Вскоре после открытия корональных дыр (КД) на Солнце установилось представление о том, что именно они являются источниками высокоскоростных потоков (ВСП). Несмотря на многочисленные публикации по этой тематике, остаются нерешенными многие вопросы: 1. Какова взаимная локализация КД и ВСП, с одной стороны, и других крупномасштабных образований, в частности крупномасштабного магнитного поля Солнца (КМПС) и секторной структуры межпланетного магнитного поля (СС ММП), с другой; 2. Являются ли КД физическим источником ВСП или только удачным индексом? В частности, где располагается ведущая граница ВСП относительно ведущей границы КД? ; 3. Какова прогностическая значимость связи КМПС—КД—ВСП?

Мы исходили из концепции, что крупномасштабное магнитное поле Солнца (КМПС), составной частью которого являются КД, и межпланетное магнитное поле (ММП) образуют нечто единое по физической и генетической природе. СС ММП—это единая крупномасштабная структура КМПС и ММП, в значительной степени определяющая свойства гелиосферы. Для прогнозирования особенностей СС ММП, которая в большей степени определяется приходящими от Солнца рекуррентными ВСП, проведено последовательное изучение связи КД—КМПС (I), КМПС—СС ММП (II), КД—СС ММП (III), КД—ВСП (IV) и ВСП—СС ММП (V). Использованы данные за январь 1973—декабрь 1979 гг., поскольку за этот период имеем наиболее полную одновременную информацию о всех интересующих нас образованиях на Солнце и в межпланетной среде (КД, ВСП, КМПС и СС ММП) [1, 2, 4, 5].

Для характеристики КМПС использовались данные среднего магнитного поля по измерениям в обсерватории Станфордского университета (Solar-Geophysical Data). При изучении парных взаимосвязей некоторые несоответствия во временных интервалах произошли из-за частичного отсутствия сведений о каком-либо из исследуемых образований.

I. Из 181 КД (зарегистрированы на Солнце в мае 1975 — декабре 1979 гг., 63 оборота Бартельса) выделены 160 рекуррентных (88%) и 21 нерекуррентная (12%). Из общего количества КД внутри секторов КМПС той же полярности располагались 159 (88%), из рекуррентных 146 (91%), из короткоживущих 13 (62%).



Правилу полярности гораздо лучше следуют рекуррентные КД. Из гистограммы распределения величины $\Delta t = t_{\text{КД}} - t_{\text{КМПС}}$, определенной как расстояние (в сутках) от ведущей границы КД до ведущей границы КМПС той же полярности, следует, что между границей КМПС и началом КД существует пограничная зона шириной 2—3 сут (25—40 гелиографических градусов). Следовательно, КД, имеющие меньшие размеры, занимают центральные части КМПС соответствующего знака.

II. Для определения связи КМПС и СС ММП сопоставлялись «коврики» Бартельса знаков полей, взятые из Solar-Geophysical Data за май 1975 — декабрь 1979 гг. Для объективного количественного исследования выполнен кросскорреляционный анализ по годам для различных значений транспортного времени. Максимальное значение коэффициента кросскорреля-

Рис. 1. Автокорреляционные функции КМПС и СС ММП

ции в среднем по годам $\rho \approx 0.6$ при транспортном времени, увеличивающемся от 5 до 6 сут от фазы максимума цикла к минимуму, что, по-видимому, связано с уменьшением средней скорости солнечного ветра. Такого же порядка коэффициент кросскорреляции КМПС—ММП в периоды максимальной стабильности ММП, полученный в работе [3].

Для изучения внутренних структурных характеристик КМПС и СС ММП вычислены автокорреляционные (АКФ) и кросскорреляционные (ККФ) функции с большим сдвигом (до 50 сут). АКФ изображены на рис. 1. Удвоенное расстояние (в сутках) до первой смены знака АКФ и расстояние между точками смены знака ККФ равны средней продолжительности секторов. Продолжительности секторов в 1976, 1977 и 1978 гг. (7—8 сут) резко отличаются от таковых в 1975 и 1979 гг. (примерно 13 сут), что связано с преобладанием 4- или 2-секторной структуры.

Таким образом, КМПС и СС ММП тесно связаны, имеют одинаковые статистические характеристики и уверенно совмещаются при транспортном времени порядка 5—6 сут. Отдельные расхождения обусловлены погрешностями определения знака ММП и кратковременными возмущениями, связанными с локальными активными областями, вспышками, выбросами и т. д.

III. Более неоднозначна связь КД и СС ММП. Наш анализ ограничен периодом январь 1973 — октябрь 1978 гг. (79 оборотов Бартельса, 196 прохождений КД). Построена гистограмма встречаемости величины $\Delta t = t_{ГСС} - t_{КД}$, определенной как расстояние (в сутках) от ведущей границы КД до ведущей границы сектора (ГСС) той же полярности (рис. 2). Очевидно, что $\Delta t < 0$ соответствует расположению КД внутри сектора; при $\Delta t > 0$ ведущая граница КД опережает границу сектора. Соответствующие КД располагаются внутри секторов

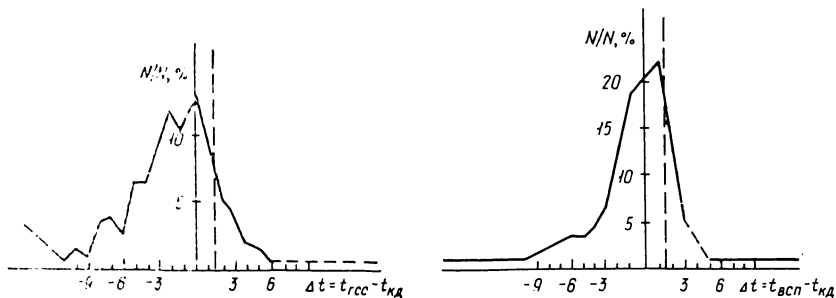


Рис. 2. Гистограмма встречаемости величины расстояний (в сутках) между ведущими границами КД и СС ММП. Здесь и далее $N/N_0, \%$ — отношение числа случаев с данными Δt к общему числу рассмотренных случаев

Рис. 3. Гистограмма встречаемости величины расстояний (в сутках) между ведущими границами КД и ВСП

той же полярности при транспортном времени 3 сут (сплошная вертикальная линия) в 74 % случаев, а при транспортном времени 4.5 сут (штриховая) в 87 % случаев. Среднее значение ширины пограничной зоны между ведущими границами КД и СС ММП составляет 1.5—3 сут (или 20—40 гелиографических градусов). С точностью до ошибки наблюдений это согласуется с шириной пограничной зоны между КД и КМПС.

Установив статистическое соответствие и подобие между квазистационарными явлениями (КД, КМПС и СС ММП), перейдем к сопоставлениям этих явлений с высокоскоростными потоками (ВСП). Связь ВСП с большими униполярными областями на Солнце (и с их отражением в межпланетной среде — СС ММП) и корональными дырами имеет следующее временное и пространственное расположение: большинство начал ВСП регистрируется сразу после прохождения границы СС ММП и непосредственно перед прохождением границы КД с учетом транспортного времени пробега частиц.

IV. Сначала рассмотрим подробнее связь КД с ВСП. Данные за период январь 1973 — апрель 1978 гг. охватывают 73 оборота Бартельса. Из 174 наблюдавшихся за это время корональных дыр было 158 рекуррентных и 16 короткоживущих. ВСП связаны с 63 % рекуррентных и только с 19 % короткоживущих КД.

Проведена также обратная процедура — сопоставлены ВСП с КД (рис. 3). По оси абсцисс отложена величина $\Delta t = t_{ВСП} - t_{КД}$, по оси ординат — относительное число ВСП ($N/N_0, \%$). Видно, что начала 68 % ВСП наблюдаются в пределах ± 2 сут от начала КД (случаи сильной связи) при транспортном времени $\tau \approx 3$ сут (сплошная вертикальная линия), при $\tau = 4.5$ сут (штриховая) концентрация ВСП составляет 61 %. Рассчитано отношение числа начал ВСП после границы КД к числу начал до границы КД: 1.22 при $\tau \approx 3$ сут и 0.39 при $\tau \approx$

Прогностическая вероятностная взаимосвязь КД—ВСП

| КД | ВСП | Вероятность, % |
|----|-----|----------------|
| + | — | 51.3 |
| ? | + | 68.1 |
| + | ? | 73.6 |
| + | + | 81.9 |

≈ 4.5 сут. Это означает, что начала значительного числа ВСП предшествуют границе КД, т. е. проектируются на область пограничной зоны Солнца.

V. Сопоставление ВСП и СС ММП (за те же годы, что и в IV) показывает, что в среднем 75 % ВСП удалены не более чем на 2 сут от соответствующей границы СС ММП, т. е. связь ВСП с СС ММП выше, чем ВСП с КД (там 63 %). Но ВСП не просто концентрируются вблизи границы СС ММП. Подавляющее большинство ВСП (70 %) начинается сразу **после** прохождения границы, что подтверждается анализом геомагнитных возмущений [5]: большинство периодов повышенной возмущенности начинается сразу **после** прохождения границы СС ММП.

Для ответа на вопрос о прогностической значимости КД отобраны все случаи наблюдения рекуррентных КД и подсчитаны случаи, когда ВСП наблюдался через один оборот после прохождения по диску КД. При этом мы считали ВСП связанным с КД, если их западные границы на «ковриках» Бартельса отличались не более чем на 2 сут. Из 39 наблюдавшихся случаев КД без ВСП в 20 из них через один оборот ВСП наблюдался (51 %). В 105 КД, в которых наблюдался ВСП в данном обороте, через один оборот зарегистрирован ВСП в 86 случаях (82 %). Простая рекуррентность для ВСП составляет 68 %.

Таким образом, можно сформулировать правило для прогнозирования ВСП на один оборот вперед. В таблице приведена вероятность появления ВСП через один оборот при наличии (+) или отсутствии (—) КД или ВСП или отсутствии данных (?) в исходном обороте.

1. Lindblad B. A., Lundstedt H. A catalogue of high-speed plasma streams in the solar wind // *Solar Phys.*— 1981.— 74, N 1.— P. 197—206.
2. Lindblad B. A., Lundstedt H. A catalogue of high-speed plasma streams in the solar wind 1975—78 // *Ibid.*— 1983.— 88, N 1/2.— P. 377—382.
3. Plyusnina L. A. The relationship between the interplanetary magnetic field inhomogeneous structure and the distribution of large-scale magnetic fields in the photosphere (1969—1975) // *Ibid.*— 1985.— 102, N 1/2.— P. 191—201.
4. Sheeley N. R., Jr., Harvey J. W. Coronal holes, solar wind streams, and geomagnetic disturbances during 1978 and 1979 // *Ibid.*— 1981.— 70, N 2.— P. 237—249.
5. Sheeley N. R., Jr., Harvey J. W., Feldman W. C. Coronal holes, solar wind streams, and recurrent geomagnetic disturbances: 1973—1976 // *Ibid.*— 1976.— 49, N 2.— P. 271—278.

Ин-т зем. магнетизма, ионосферы
и распространения радиоволн АН СССР, Троицк

Поступила в редакцию 15.05.87,
после доработки 18.08.87

РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 524.3

ЦВЕТОВАЯ СИСТЕМА ОДЕССКОЙ КОЛЛЕКЦИИ СНИМКОВ ЗВЕЗДНОГО НЕБА / Руденко А. Н.

(Рукопись деп. в ВИНТИ; № 1888-В88)

Представлены сведения о коллекции астронегативов Астрономической обсерватории Одесского университета. Определены цветовые коэффициенты для перехода к стандартной (B, V) системе звездных величин, что позволяет использовать данную коллекцию для фотометрии звезд.