

УДК 550.385

## О ВЛИЯНИИ АЗИМУТАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТ ММП И СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА НА НАПРАВЛЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ

<sup>1,2</sup>Ю.Ю. Клибанова, <sup>1,3</sup>В.В. Мишин, <sup>1</sup>Б. Цэгмед

### ON INFLUENCE OF AZIMUTHAL IMF COMPONENTS AND SOLAR WIND VELOCITY ON DIRECTION OF PROPAGATION OF GEOMAGNETIC PULSATIONS

<sup>1,2</sup>Yu.Yu. Klibanova, <sup>1,3</sup>V.V. Mishin, <sup>1</sup>B.Tsegmed

Исследуются длиннопериодные геомагнитные пульсации, обусловленные импульсами динамического давления солнечного ветра (СВ). Проанализированы такие события, когда магнитные обсерватории канадской сети CARISMA находились вблизи местного полудня. Предполагается, что  $y$ -компонента не только межпланетного магнитного поля (ММП,  $B_y$ ), но и скорости СВ ( $V_y$ ) могут играть важную роль в механизме возбуждения и влиять на направление распространения пульсаций в околополуденной области до начала суббури. Суббуревые процессы могут изменять это направление.

Long period geomagnetic pulsations caused by pulses of solar wind (SW) dynamic pressure are under consideration. We research events in which magnetic observatories of the Canadian network CARISMA were near the local noon. It is supposed that the  $y$  component not only of the interplanetary magnetic field (IMF)  $B_y$  but also of the SW velocity  $V_y$  may play an important role in the mechanism of excitation and determine a direction of propagation of pulsations in nearnoon areas prior to the beginning of substorms. Substorm processes can change this direction.

#### Введение

В теории геомагнитных пульсаций [1] принято связывать источник дневных длиннопериодных пульсаций с поверхностной волной на магнитопаузе, которая в экваториальной плоскости почти симметрично сносится обтекающим потоком плазмы магнитослоя в обе стороны от носа магнитосферы к ее флангам. В работе [2] по данным очень плотной и широкой сети наземных станций показано, что вблизи местного полудня направление распространения пульсаций, обусловленных импульсами СВ, может быть направлено к полудню. При этом они движутся из послеполуденного сектора при направлении ММП по паркеровской спирали, если же ММП направлено ортогонально, то они движутся из предполуденного сектора. В данной работе исследуются особенности геомагнитных пульсаций, возбуждаемых импульсами динамического давления СВ, в зависимости от направления азимутальной компоненты ММП и скорости СВ, а также уровня геомагнитной активности.

#### Экспериментальные результаты и их обсуждение

В работе [2] времена распространения колебаний определялись по разнице времен регистрации пиков их амплитуды. Сложность такой методики связана с изменчивостью формы цугов от времени и местоположения станций. Для уточнения времен задержки между станциями мы использовали метод корреляционного анализа. Сложность использования статистических методов обусловлена тем, что они требуют достаточно длинных рядов однородных данных, а рассматриваемые пульсации очень изменчивы.

Для анализа мы использовали данные канадской сети станций Carisma и выбирали те события, которые наблюдались этими станциями вблизи местного полудня. В качестве примера рассмотрим событие 13.06.1998 (рис. 1), произошедшее на фоне очень медленного СВ ( $V \approx 300$  км/с). Импульс СВ в 19:30 UT

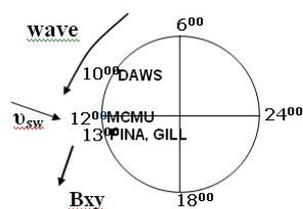


Рис. 1. Направления векторов скорости СВ и ММП в горизонтальной плоскости и направление распространения геомагнитных пульсаций между станциями канадской сети CANOPUS CARISMA после импульса 06.13.1998. 19:30 UT.

не вызвал мгновенной суббури. После этого начального импульса ММП имела устойчивое в течение трех часов направление ортогонально паркеровской спирали, а скорость СВ была малой  $V \approx 380$  км/с, но имела очень большую азимутальную компоненту  $V_y \leq +50$  км/с (т. е. 15 % от радиальной компоненты). Колебания распространялись в утреннем секторе к полудню и далее до 13:00 LT (ст. Гилл), что вполне согласуется с выводами работы [2]. При проведении корреляционного анализа мы выбрали длину временного ряда порядка двух часов. При этом, однако, нами не было учтено, что в течение такого большого интервала геомагнитная активность усиливалась и суббуревые процессы могли исказить картину распространения колебаний.

Этот недостаток был исправлен при анализе импульса давления СВ 18.01.2005, 18:53 UT, который произошел на фоне очень быстрого СВ ( $V \approx 800$  км/с) при ориентации ММП вдоль паркеровской спирали, но при слабой радиальной компоненте ММП. В этом случае азимутальная скорость также была аномально большой и составляла от  $-50$  до  $-150$  км/с. Волны распространялись из послеполуденного сектора через полдень на утро (рис. 2), что также соответствует результатам [2]. Отметим однако, что в ра-

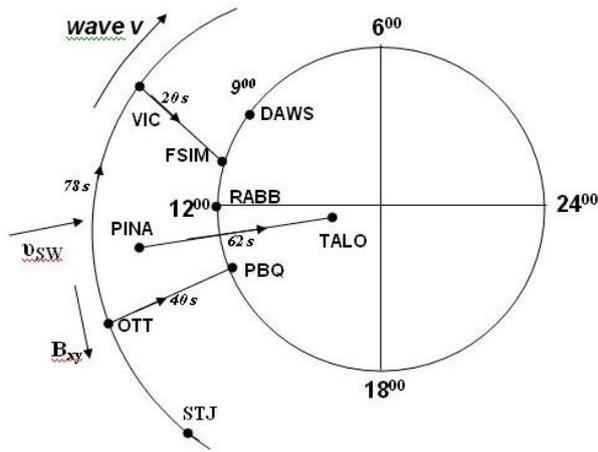


Рис. 2. Направления векторов скорости СВ и ММП в горизонтальной плоскости и направление распространения геомагнитных пульсаций между станциями канадской сети CANOPUS после импульса 18.01.2005, 18:53 UT.

боте [2], как и во всех предыдущих работах, никакого внимания на влияние азимутальной компоненты скорости СВ на направление распространения пульсаций не обращалось. При этом и собственно механизм смещения места разбегания волны от полудня практически тоже не обсуждался. Однако, по нашему мнению, одной из основных причин обсуждаемого явления может быть асимметрия обтекания магнитосферы, которая, в первую очередь, создается самим течением, а не магнитным полем. Исследованию механизма этого явления сильно мешает неустойчивый характер генерируемых импульсами колебаний. Проведенный нами анализ поляризации колебаний показал, что устойчивое направление (которое было одинаково на всех канадских станциях) она имеет только в течение одного–двух колебаний. Поэтому мы стали проводить корреляционный анализ времен распространения между станциями только в течение коротких интервалов устойчивой поляризации (порядка 5–15 мин), что сразу привело в случае 18.01.2005 к росту коэффициента корреляции до значений  $\geq 0.8$ .

Однако еще остается много неясностей, что мы проиллюстрируем на примере события 01.08.1998. Импульс плотности (и динамического давления) был довольно сложной формы (рис. 3). При корреляционном анализе по часовому интервалу 18:00–19:00 UT получается слабая корреляция и сбой направления между станциями. При разбиении интервала на два получила лучшая корреляция с противоположным направлением распространения (рис. 4). Однако более детальный анализ, проведенный уже внутри выявленных нами трех узких временных интервалов устойчивой поляризации колебаний показал следующее: в начальном интервале 18:21–18:25 UT пульсации распространялись от полудня на утро. Этот факт легко объяснить, поскольку в это время ММП было практически не радиальным, а скорость наоборот радиальной, что не вызывало никакой асимметрии утро–вечер, а прошедший импульс еще не вызвал суббуриных эффектов. Далее в течение пяти минут ММП сильно поворачивалось, и

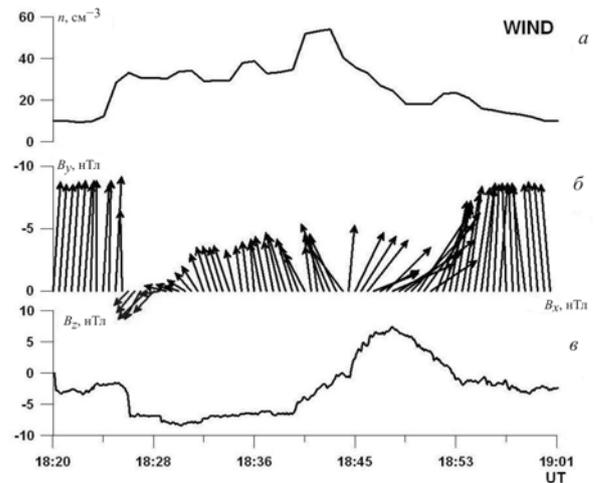


Рис. 3. Импульс 08.01.1998. По данным спутника WIND показано поведение концентрации плазмы СВ (а); горизонтальных компонент ММП (б); вертикальной компоненты ММП (в).

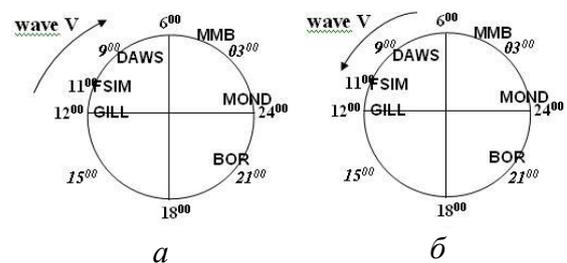


Рис. 4. Направления распространения геомагнитных пульсаций между станциями канадской сети CANOPUS, российских и японской станции 1 августа 1998 г.: а – интервал 18:00–18:35 UT – распространение пульсаций от полудня на утро; б – интервал 18:35–19:00 UT – распространение пульсаций от утра к полудню.

устойчивых колебаний не наблюдалось. Потом на интервале 18:31–18:38 UT ММП имело направление, при котором, согласно представлениям [2], колебания должны были иметь точку разбегания немного за полуднем. Однако проведенный нами корреляционный анализ с высокими коэффициентами корреляции  $\geq 0.8–0.9$  показал, что колебания распространялись от ст. Ф. Симсон (10:30 LT) в обе стороны – т. е. к полудню и к полуночи (рис. 5).

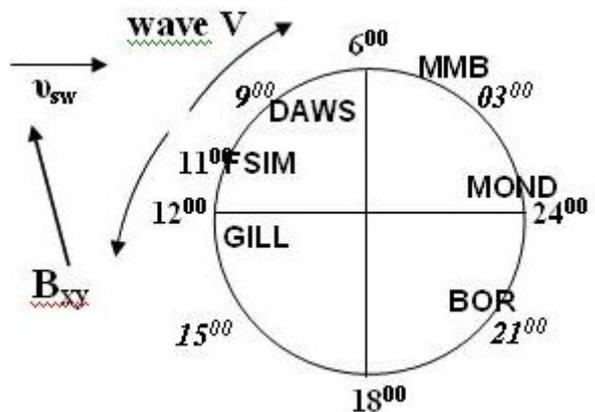


Рис. 5. Распространение колебаний от станции Ф. Симсон к полудню и к полуночи 01.08.1998, 18:31–18:38 UT.

При этом направление поляризации на всех станциях было одинаковым, т. е. не менялось вблизи ст. Ф. Симпсон, что говорит о том, что пульсации не являются резонансными колебаниями магнитосферы. В третьем устойчивом по поляризации интервале (18:38–18:48 UT) колебания распространялись от утра к полудню по всем канадским станциям. Как во втором, так и в третьем интервалах направления распространения колебаний совершенно не согласуются с представлениями о роли направления ММП [2]. В это время произошло 2 интенсификации суббури в утренне-послеполуденных секторах, которые и могли послужить источниками колебаний и соответственно изменить их направления. С другой стороны смену направления в утреннем секторе во втором интервале невозможно объяснить только ночными суббуревыми источниками.

#### **Выводы**

Импульсы давления СВ сопровождаются пульсирующим режимом всех параметров плазмы и магнитного поля, генерируемые при этом длиннопериодные пульсации иррегулярны, быстро меняют свою поляризацию, а направление их распространения в спокойное время определяется влиянием азимутальных компонент ММП и скорости СВ, т. е. асимметрией течения в магнитослое. Последующие суббуревые процессы могут вызвать ночные источники колебаний и их распространение от ночи к полудню.

Пульсирующий характер всех параметров плазмы СВ и ММП, характерный для импульсов СВ, часто может быть объяснен неустойчивостью Кельвина–Гельмгольца, развивающейся на тангенциальных разрывах СВ [3], которые составляют значительную часть фронтов импульсов СВ.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. Hughes W.J. Magnetospheric ULF waves: a tutorial with a historical perspective // Solar wind sources of magnetospheric ultra-low-frequency waves. Geophys. Monograph 81, AGU, 1994. P. 1–11.
2. Korotova G.I., Sibeck D.G., Singer H.J., Rosenberg T.J. Tracking transient events through geosynchronous orbit and in the high – latitude ionosphere // J. Geophys. Res. 2002. V. 107, N 1A11. P. 1345. doi:10.1029/2002JA009477.
3. Korzhov N.P., Mishin V.V., Tomozov V.M. On the role of plasma parameters and the Kelvin-Helmholtz instability in a viscous interaction of solar wind streams // Planet. Space Sci. 1984. V. 32, N 9. P. 1169–1178.

<sup>1</sup>*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск*

<sup>2</sup>*Иркутская государственная сельскохозяйственная академия, Иркутск*

<sup>3</sup>*Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск*