

И. В. Сумарук, (Я. И. Фельдштейн. Межпланетные магнитные поля и геомагнитные вариации в приполюсной области. Общеизвестно, что источником магнитных возмущений в околоземном космическом пространстве является Солнце. Плотность кинетической энергии солнечного ветра на орбите Земли более чем на порядок превышает плотность энергии замороженного в плазму магнитного поля. Однако первые измерения плотности, скорости, температуры солнечной плазмы не обнаружили значительных изменений, которые можно было бы считать ответственными за генерацию интенсивных магнитных возмущений и полярных сияний. Исследования нескольких последних лет выявили важную роль северо-южной составляющей (поперек плоскости эклиптики) межпланетного магнитного поля (ММП) в развитии интенсивных полярных магнитных возмущений, являющихся составной частью магнитосферных суббурь, охватывающих всю планету. Эта же компонента ММП оказалась связанной с высокоширотными вариациями магнитного поля типа ДР2, обусловленных крупномасштабной конвекцией плазмы в хвосте магнитосферы.

Вместе с тем из исследований магнитной активности было известно появление интенсивных магнитных возмущений в дневные часы летнего сезона в приполюсной области, не связанных с магнитосферными суббуриями. На существование в приполюсной области двух характерных типов вариаций, охватывающих одновременно северную и южную полярные шапки и тесно связанных с секторной структурой ММП (к Солнцу или от Солнца в плоскости эклиптики), было обращено внимание в работах ^{1, 2}. Определенный тип возмущений обычно существует несколько дней подряд, составляя группу. Группы имеют тенденцию к 27—29-ти дневной повторяемости, что указывает на солнечное происхождение источника возмущений. Однако в отдельные временные интервалы, составляющие иногда целые сутки, наблюдалось существенное расхождение между ожидаемыми, исходя из знака сектора ММП, вариациями поля в приполюсной области и наблюдаемыми в действительности. В исследованиях ^{3, 4} было показано, что такое расхождение устраняется, если полагать, что характер магнитных вариаций в приполюсной области контролируется не направлением секторной структуры ММП, а направлением и величиной азимутальной Y_{SE} восточно-западной компоненты ММП. Обозначим эту вариацию DPC (Y_{SE}). DPC (Y_{SE}) на магнитограммах приполюсных обсерваторий накладываются на изменения поля, обусловленные воздействием других параметров межпланетной среды, магнитосферы и ионосферы, а также (или) их вариаций. Выделение DPC (Y_{SE}) в чистом виде является достаточно сложной задачей и в литературе существует большое разнообразие в определении нулевого уровня отсчета, описывающего вариации поля, отличные от DPC (Y_{SE}) (см. ⁵). В ⁵ предложен метод выделения DPC (Y_{SE}) в трех составляющих вариации поля в приполюсной области на основе корреляционных зависимостей интенсивности вариаций от напряженности Y_{SE} . Вклад поля магнитосферных суббурь исключался отбором часовых интервалов с $AE < 150\gamma$. В табл. 1 приведены для каждого трехчасового

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между значениями азимутальной составляющей межпланетного магнитного поля (Y_{SE}) и северной (горизонтальной) составляющей геомагнитного поля на приполюсных обсерваториях в июле—августе 1966 г.

Обсерватории	0—3	3—6	6—9	9—12
Алерт (X)	$0,47 \pm 0,12$	—	—	$-0,45 \pm 0,12$
Туле (H)	$0,5 \pm 0,11$	—	—	—
Резольют-Бей (X)	$0,67 \pm 0,08$	$0,52 \pm 0,11$	$0,54 \pm 0,1$	$0,56 \pm 0,09$
Моулд-Бей (X)	$0,66 \pm 0,08$	$0,68 \pm 0,07$	$0,55 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1$
Годхави (X)	$0,65 \pm 0,08$	$0,5 \pm 0,1$	$0,61 \pm 0,08$	$0,7 \pm 0,07$
Бейкер-Лейк (X)	—	—	$0,4 \pm 0,13$	$0,4 \pm 0,11$
Черчилл (X)	—	—	—	—
Обсерватории	12—15	15—18	18—21	21—24
Алерт (X)	$-0,68 \pm 0,06$	—	—	—
Туле (H)	$0,6 \pm 0,07$	$0,7 \pm 0,05$	$0,7 \pm 0,07$	$0,69 \pm 0,07$
Резольют-Бей (X)	—	$0,48 \pm 0,09$	$0,8 \pm 0,05$	$0,8 \pm 0,05$
Моулд-Бей (X)	—	$0,67 \pm 0,06$	$0,85 \pm 0,04$	$0,91 \pm 0,02$
Годхави (X)	—	$0,46 \pm 0,09$	$0,58 \pm 0,1$	$0,65 \pm 0,08$
Бейкер-Лейк (X)	$0,58 \pm 0,8$	—	—	—
Черчилл (X)	—	$0,4 \pm 0,1$	—	—

интервала мирового времени коэффициенты корреляции (r) и их дисперсия (σ_r) на высокоширотных магнитных обсерваториях северного полушария летом 1966 г. для северной (горизонтальной) составляющей. На $80^\circ \leq \Phi' \leq 84^\circ$ довольно тесная корреляция существует в течение практически всех суток, вне этого интервала широт изменчивость поля от других источников позволяет выделить корреляцию только в дневные часы. В табл. 11 приведены уравнения линейной регрессии $X(H)$ на Y_{SE} и возможные погрешности соответствующих членов. Свободный член и его вариации в течение суток, сезона, цикла солнечной активности описывают изменения поля, не связанные с Y_{SE} составляющей ММП. Угловым коэффициентом при Y_{SE} , восприимчивая $X(H)$ к азимутальной компоненте, существенно изменяется в течение суток, достигая максимальных значений в околополуденные часы. Аналогичные зависимости были получены и для вертикальной (Z) и восточной (Y) составляющих геомагнитного поля

Таблица II

Уравнения линейной регрессии между значениями северной (горизонтальной) составляющей магнитного поля на приполюсных обсерваториях и Y_{SE} ММП в июле — августе 1966 г.

Обсерватории	Алерт (X) (500 γ ±)	Туле (H) (3800 γ ±)	Резольют-Бей (X)
0—3 UT	$3,2 \pm 0,8 Y_{SE} + 240 \pm 1$	$3,0 \pm 0,7 Y_{SE} + 234 \pm 1$	$6,3 \pm 0,7 Y_{SE} + 146 \pm 1$
3—6	—	—	$3,3 \pm 0,7 Y_{SE} + 178 \pm 1$
6—9	—	—	$4,1 \pm 0,8 Y_{SE} + 196 \pm 2$
9—12	$-8,7 \pm 2,4 Y_{SE} + 202 \pm 9$	—	$5,6 \pm 0,9 Y_{SE} + 197 \pm 2$
12—15	$-6,0 \pm 0,9 Y_{SE} + 204 \pm 2$	$10,0 \pm 1,1 Y_{SE} + 150 \pm 4$	—
15—18	—	$17,0 \pm 1,0 Y_{SE} + 169 \pm 4$	$10,5 \pm 1,9 Y_{SE} + 136 \pm 5$
18—21	—	$11,1 \pm 1,4 Y_{SE} + 195 \pm 3$	$20,6 \pm 1,2 Y_{SE} + 111 \pm 4$
21—24	—	$5,7 \pm 1,4 Y_{SE} + 236 \pm 1$	$14,6 \pm 0,9 Y_{SE} + 129 \pm 1$

Обсерватории	Моулд-Бей (X) (900 γ ±)	Годхави (H) (8600 γ ±)
0—3 UT	$12,0 \pm 1,3 Y_{SE} + 139 \pm 3$	$3,0 \pm 0,4 Y_{SE} + 308 \pm 0$
3—6	$4,9 \pm 0,5 Y_{SE} + 163 \pm 1$	$4,0 \pm 0,8 Y_{SE} + 297 \pm 2$
6—9	$3,3 \pm 0,6 Y_{SE} + 182 \pm 1$	$4,0 \pm 0,5 Y_{SE} + 272 \pm 1$
9—12	$3,4 \pm 0,8 Y_{SE} + 194 \pm 2$	$7,8 \pm 1,3 Y_{SE} + 229 \pm 3$
12—15	—	—
15—18	$12,8 \pm 1,2 Y_{SE} + 182 \pm 3$	$6,4 \pm 1,3 Y_{SE} + 310 \pm 3$
18—21	$26,2 \pm 1,2 Y_{SE} + 143 \pm 3$	$8,9 \pm 1,5 Y_{SE} + 304 \pm 4$
21—24	$28,0 \pm 1,2 Y_{SE} + 158 \pm 3$	$6,0 \pm 0,8 Y_{SE} + 295 \pm 1$

всех высокоширотных обсерваторий. Практически всегда, после исключения магнитно-возмущенных интервалов, если существует корреляция между X, Z, Y и напряженностью компоненты Y_{SE} ММП, то она близка к линейной. Пользуясь полученными соотношениями можно вычислить величину вариаций поля на поверхности Земли при фиксированных значениях Y_{SE} . Принималось, что $\varepsilon \leq 0,4$ означает отсутствие корреляции и соответствующая вариация на поверхности Земли равна нулю. На рис. 1 приведены в полярных координатах исправленная геомагнитная широта и местное геомагнитное время, распределение векторов магнитных вариаций в горизонтальной (стрелки) и вертикальной (цифры) плоскостях для $Y_{SE} = +6\gamma$. Сплошными линиями изображена эквивалентная токовая система в ионосфере. Между токовыми линиями $6 \cdot 10^4$ а. Ступенце токовых линий на дневной стороне на $\Phi' \approx 81^\circ$ можно интерпретировать как приполюсную электрострую, направление тока в которой определяется знаком Y_{SE} .

Модельные представления о генерации DPC (Y_{SE}) развиты в ⁶⁻⁸. В работе ⁷ показано, что поле трехмерной токовой системы, охватывающей магнитосферу и ионосферу, весьма похоже на поверхность Земли на приведенное на рис. 1. Результаты наблюдений позволили вычислить некоторые параметры модели: положение центральной линии, высоко и низкоширотные границы токовой струи ($\sim 78^\circ$ и $\sim 84^\circ$), количественно оценить эффективность пропихивания электрического поля из солнечного ветра в ионосферу ($\sim 10\%$). Согласно ⁷ интенсивность DPC (Y_{SR}) определяется интегральной проводимостью ионосферы (Σ) на широтах дневного каспа. В работе ⁹ определены вариации Σ на широтах дневного каспа при расположении его на $\Phi' = 78^\circ$ и $\Phi' = 81^\circ$: суточные в зависимости от мирового времени, сезонные и циклические. Эти расчеты показали, что наблюдаемые на порядок величины сезонные вариации интенсивности DPC (Y_{SE}) от летнего к зимнему состояниям обусловлены изменениями проводимости ионосферы. Летом суточные (по UT) вариации составляют $\sim 20\%$, а циклические $\sim 60\%$ от очень интенсивного максимума 1957 г. к минимуму 1964 г. Результаты расчетов, позволяющие получить значения Σ для любого момента времени, можно использовать для диагностики средних значений Y_{SE} по данным наземных наблюдений за вариациями магнитного поля в приполюсной области. На рис. 2 изображены изолинии ΔZ (отклонения Z от Z_0 при $Y_{SE} = 6\gamma$), приведенные к значению $n_e = 10,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ ($\Sigma_n \approx \Sigma_p = 8,2 \text{ мом}$), в координатах исправленная геомагнитная широта — местное время. Пользуясь этими данными можно по наблюдаемой на поверхности Земли в приполюсной области величине ΔZ определить величину и направление Y_{SE} .

Предложенная на рис. 1 токовая система с электроструями вдоль $\Phi' \sim 81^\circ$ на дневной стороне и изменением направления тока в зависимости от знака Y_{SE} хорошо согласуется с измерениями электрического поля в дневном каспе на спутниках

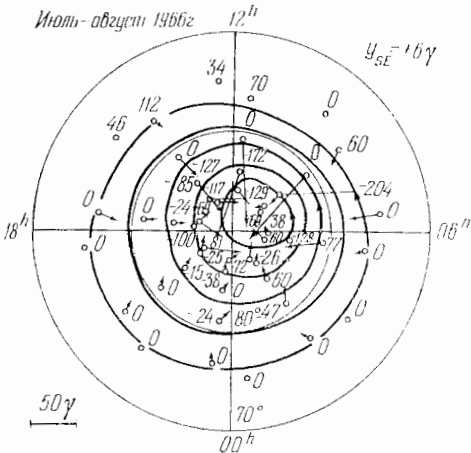


Рис. 1.

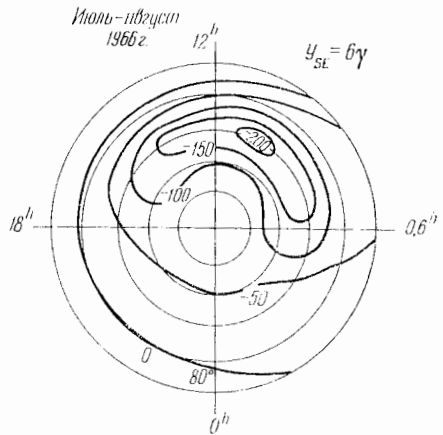


Рис. 2.

типа Космос и Инджун^{10, 11}. При учете квазистационарной конвекции с дневной стороны магнитосферы на ночную, что достигается изменением уровня отсчета поля, получающиеся токовые системы находятся в отличном согласии с результатами измерений электрических полей в северном полушарии в летний сезон на спутнике OGO-6 в плоскости утреннего-вечернего меридианов¹².

ЛИТЕРАТУРА

1. L. Svalgaard, Geophys. Paper R-6, Danish Meteorological Institute, 1968.
2. С. М. Мансуров, Геомагнет. и аэроном. М. 9, 622 (1969).
3. E. Friis-Christensen, K. Lassen, J. Wilhjelm, J. M. Wilcox, W. Gonzales, D. S. Colburn, J. Geophys. Res. 77, 3371 (1972).
4. П. В. Сумарук, Я. И. Фельдштейн, Космич. исслед. 11, 155 (1973).
5. П. В. Сумарук, Я. И. Фельдштейн, Н. Ф. Шевина, Геомагнет. и аэрон. 14, 1069 (1974).
6. D. P. Stern, J. Geophys. Res. 78, 7292 (1973).
7. S. V. Leontyev, W. B. Lyatsky, Planet. and Space Sci. 22, 811 (1974).
8. М. И. Матвеев, Сборник «Исследования по геомагнетизму, аэронауки и физике Солнца», вып. 30, Иркутск, 1974, стр. 71.
9. А. М. Ляцкая, Я. И. Фельдштейн, П. В. Сумарук, Н. Ф. Шевина, Геомагнет. и аэроном. 15 (1975).
10. Ю. И. Гальперин, Космич. исслед. 11, 88 (1973).
11. D. P. Sauffman, D. A. Gurnett, Space Sci. Rev. 13, 369 (1972).
12. J. P. Herrner, J. Geophys. Res. 77, 4877 (1972).