

УДК 523.152.3

## СЕКТОРНАЯ СТРУКТУРА МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПЕРИОД МГГ И МГС

*С. М. Мансуров, Л. Г. Мансурова*

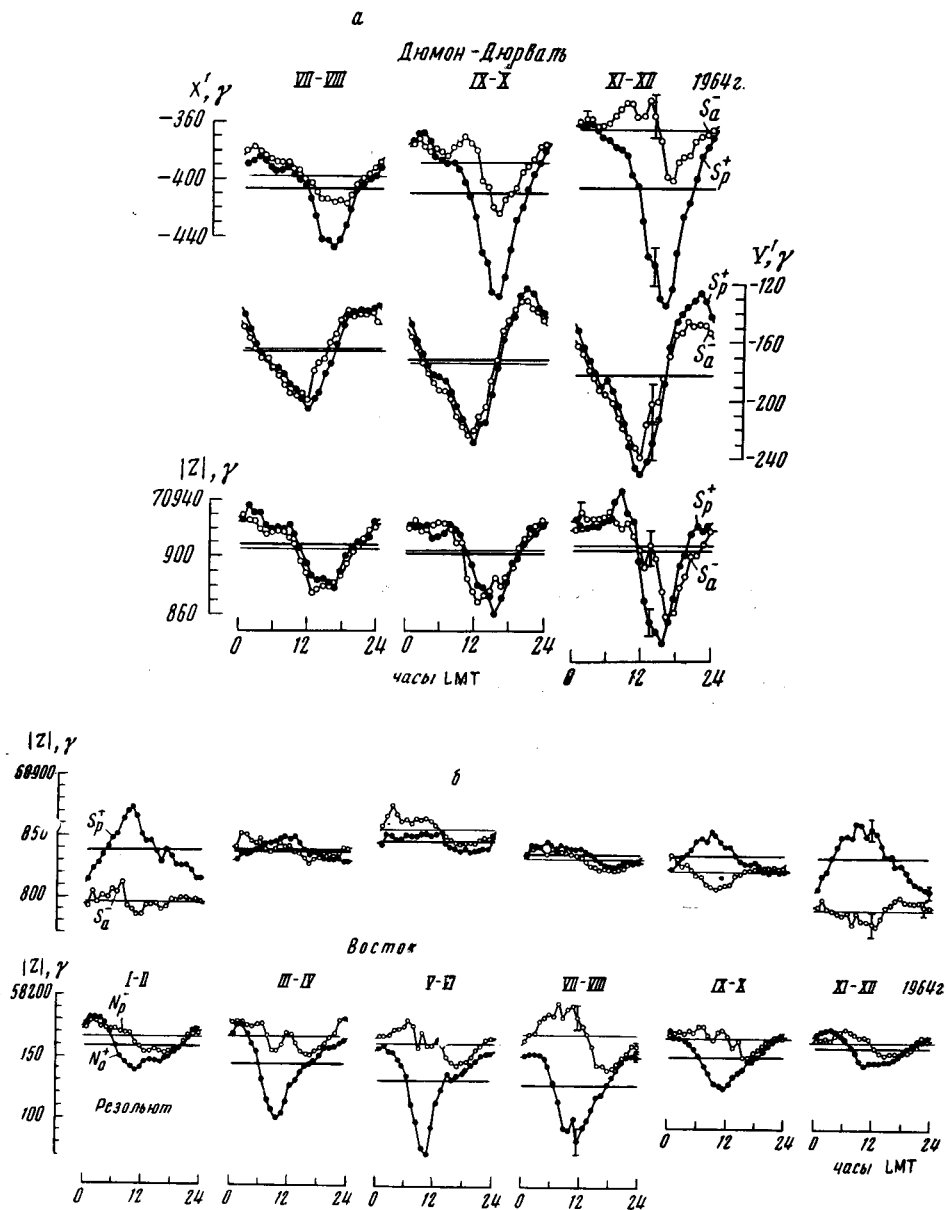
Описан геомагнитный эффект секторной структуры межпланетного магнитного поля. Отмечаются особенности геомагнитного эффекта: северо-южная и весенне-осенняя асимметрии. Приведены результаты определения знаков секторов межпланетного магнитного поля с апреля 1957 по декабрь 1959 г.

Данные работ [1, 2] о секторной структуре межпланетного магнитного поля, полученные с помощью спутников и ракет, позволили обнаружить наблюдаемый на Земле при смене знака сектора геомагнитный эффект [3, 4]. Сущность его состоит в том, что в зависимости от знака сектора, в котором находится Земля, в полярных областях наблюдаются определенные типы суточных геомагнитных вариаций. Согласно [3] существует два типа таких вариаций. Одновременно в северном и южном полушариях возникает тип *A*, когда межпланетное магнитное поле направлено от Солнца и тип *C*, когда оно направлено к Солнцу. В отличие от этого в [4] обнаружено существование северо-южной асимметрии в проявлении геомагнитного эффекта, которая является следствием различной реакции северной и южной частей магнитосферы на знак компоненты  $B_w$  межпланетного магнитного поля, параллельной плоскости эклиптики. Поэтому в полярных областях [5, 6] существует четыре типа суточных геомагнитных вариаций: в северном  $N_a^+$  и  $N_p^-$ , в южном  $S_a^-$  и  $S_p^+$ . Типы вариаций, появляющиеся в северном и в южном полушариях при разном направлении  $B_w$ , обнаруживают черты сходства: тип  $N_a^+$  подобен типу  $S_a^-$ , а тип  $N_p^-$  подобен типу  $S_p^+$ . Если тип суточной геомагнитной вариации в высоких широтах обусловлен направлением  $B_w$  (знаком сектора), то очевидно, что по типу вариаций на высокоширотных станциях можно определять знак сектора межпланетного магнитного поля.

Сопоставление знаков секторов, определенных с помощью космических аппаратов и по типам вариаций на высокоширотных станциях, позволило сделать заключение о возможности использования наземных геомагнитных данных для определения секторной структуры межпланетного магнитного поля [7, 8]. Число случаев совпадений знаков секторов, определенных прямым и косвенным методами, в среднем равно 80%.

Нами определена косвенным методом по данным станций, приведенных в табл. 1, секторная структура межпланетного магнитного поля для периода Международного геофизического года (МГГ) и Международного года сотрудничества (МГС), для которого в Мировых центрах данных имеется большой массив геофизических наблюдений, выполненных на мировой сети станций.

В основу метода определения знака сектора по наземным данным положены закономерности, обнаруженные при анализе геомагнитных наблюдений в Антарктике. К ним относятся факты, для интерпретации которых



Фиг. 1

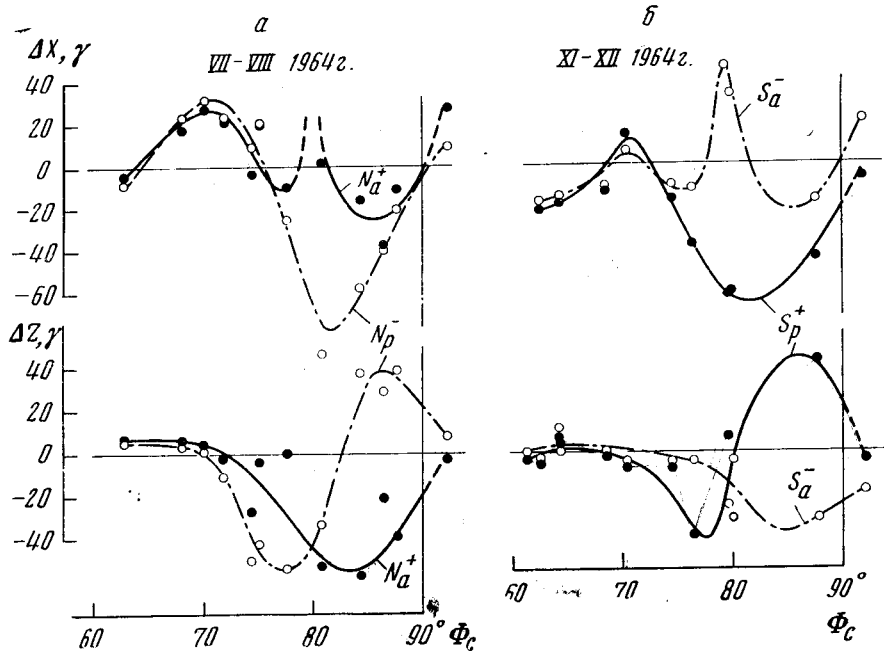
сделано предположение о появлении в полярной ионосфере при некоторых условиях системы зональных электрических токов [9]. Согласно [5], система зональных токов, текущих с запада на восток, появляется в северном полушарии при  $+B_w$ , а в южном полушарии — при  $-B_w$ . Попытки объяснить присхождение таких токов сделаны в [10—12].

Представление о том, что именно послужило основанием считать зональную систему токов в полярной ионосфере причиной геомагнитного эффекта, дают фиг. 1 и 2. На фиг. 1а показаны средние за каждые два месяца второго полугодия 1964 г. суточные вариации трех компонент гео-

Таблица 1

Станция	Координаты геомагн. испр.		Станция	Координаты геомагн. испр.	
	$\Phi_C^0$	$\Delta_C^0$		$\Phi_C^0$	$\Delta_C^0$
1. Восток	-87,9	66,7	5. Пионерская	-79,5	120,5
2. Шарко	-82,9	233,7	6. Мирный	-76,6	127,4
3. Скотт	-80,5	323,7	7. Туле	87,7	39,6
4. Дюмон-Дюрвиль	-80,1	228,7	8. Резольют	84,3	306,0
			9. Годхави	77,6	43,3

магнитного поля на ст. Дюмон-Дюрвиль, а на фиг. 16 — средние вариации вертикальной составляющей для всего 1964 г. на ст. Восток и Резольют, полученные отдельно для дней, когда Земля, согласно данным [2], находилась в положительных ( $S_p^+$  и  $N_a^+$ ) и в отрицательных ( $S_a^-$  и  $N_p^-$ ) секторах. Время на фиг. 1 указано местное геомагнитное ( $LMT$ ). Как видно, заметное различие между типами вариаций  $S_a^-$  и  $S_p^+$  (фиг. 1а),



Фиг. 2

усиливающееся от местной зимы (VII—VIII) к лету (XI—XII), наблюдается в  $X'$ -компоненте и практически отсутствует в двух других компонентах. Наибольшей величины оно достигает в околополуденные часы. Такое различие между типами вариаций в компонентах может быть при условии, что эффект вызывает ионосферный ток, текущий над станцией в направлении исправленных геомагнитных параллелей. Этот ток имеет максимальную плотность в околополуденное время в местное лето и сконцентрирован около широты 80° в обоих полушариях. Такое заключение можно сделать на основании того, что на более высокоширотных станциях (фиг. 16) эффект лучше проявляется в  $Z$ -компоненте, в  $X'$  он мал, а в  $Y'$  практически отсутствует даже в местное лето ( $X'$  и  $Y'$  на фиг. 16

Таблица 2

1964 г.	$\bar{Z}$ , $\gamma$		$t$ , часы LMT				$\Delta Z$ , $\gamma$
			максимум		минимум		
	$S_p^+$	$S_a^-$	$S_p^+$	$S_a^-$	$S_p^+$	$S_a^-$	$S_a^- - S_p^+$
Восток	60600+...*						
I—II	238	196	9	7	0	11	-66
III—IV	239	240	11	1	23	15	-8
V—VI	248	258	12	2	18	16	6
VII—VIII	237	234	4	2	18	18	-5
IX—X	239	226	8	0	21	9	-34
XI—XII	238	195	8	17	23	12	-74
	$N_a^+$	$N_p^-$	$N_a^+$	$N_p^-$	$N_a^+$	$N_p^-$	$N_a^+ - N_p^-$
Резольют	57500+...*						
I—II	659	666	2	2	10	16	-17
III—IV	645	668	2	23	9	16	-52
V—VI	632	663	1	6	10	16	-70
VII—VIII	629	670	2	7	11	17	-93
IX—X	654	669	0	7	11	16	-44
XI—XII	662	666	3	6	10	14	-18

\* Абсолютные значения исправлены за вековую вариацию и приведены к эпохе 1 августа 1964 г.

не показаны). Некоторые количественные характеристики геомагнитного эффекта секторной структуры на ст. Восток и Резольют за 1964 г. приведены в табл. 2.

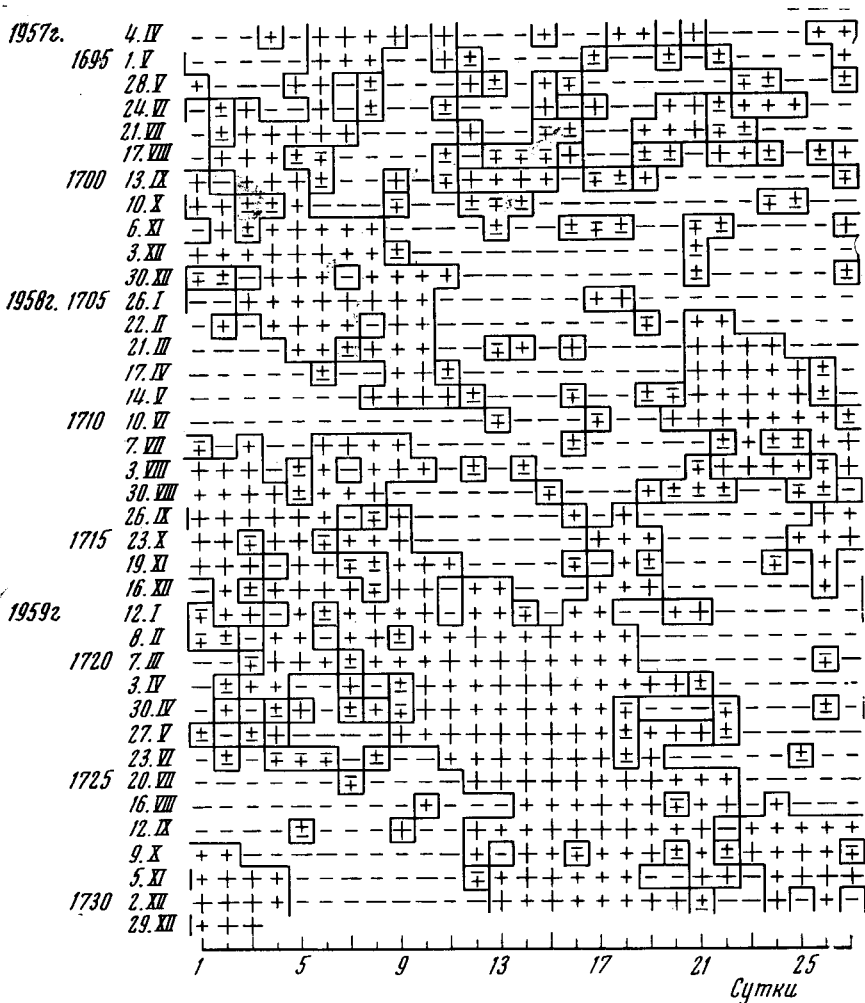
За каждые два месяца 1964 г. даны средние характеристики геомагнитного эффекта на ст. Восток и Резольют:  $\bar{Z}$  — средние величины вертикальной компоненты при  $+B_w$  и при  $-B_w$ ;  $t$  — время (часы LMT) максимума и минимума  $Z$  при  $+B_w$  и при  $-B_w$ ;  $\Delta Z$  — разность между полуденными величинами  $Z$  типов  $S_a^- - S_p^+$  для ст. Восток и типов  $N_a^+ - N_p^-$  для ст. Резольют.

Следует особо отметить весенне-осеннюю асимметрию эффекта: эффект в обоих полушариях существенно больше местной весной, чем осенью. Это явление может иметь большое значение при рассмотрении возможных механизмов, ответственных за геомагнитный эффект.

Не меньшее значение имеет и другое явление [5, 13], представление о котором дает фиг. 1: видно, что средний уровень исправленных за вековую вариацию  $Y'$  и  $Z$  обоих типов и вариаций  $X'$  типа  $S_p^+$  сохраняется практически неизменным на протяжении всего полугодия, в то время как уровень вариаций типа  $S_a^-$  и  $X'$  монотонно растет от зимы (VII—VIII) к лету (XI—XII). На фиг. 1 также видно, что за период VII—VIII, IX—X и XI—XII средний уровень вариаций  $Z$  типа  $S_a^-$  на ст. Восток монотонно уменьшается, а типа  $S_p^+$  остается практически неизменным. В это же время на ст. Резольют уровень  $Z$  типа  $N_a^+$  монотонно увеличивается от местного лета к зиме, а уровень  $Z$  типа  $N_p^-$  остается практически неизменным. Сказанное имеет место также и в первое полугодие.

Таким образом, явление, о котором идет речь заключается в том, что средние уровни суточных вариаций типов  $N_p^-$  и  $S_p^+$  у  $X'$ - и  $Z$ -компонент остаются практически неизменными в течение всего года, а уровни ва-

риаций типов  $N_a^+$  и  $S_a^-$  испытывают закономерные изменения с годовым периодом, причем экстремальных значений они достигают в местное лето: максимума в  $X'$ -компоненте и минимума в  $Z$ -компоненте. Следовательно, определенные черты сходства обнаруживают вариации типов  $N_a^+$  и  $S_a^-$  и вариации типов  $N_p^-$  и  $S_p^+$ . Отсюда следует, что в классификации, принятой в [3], один и тот же тип вариаций обладает разными признаками в разных полушариях.



Фиг. 3

Нами в основу метода определения знаков секторов по геомагнитным вариациям положены все известные морфологические характеристики эффекта. К ним относятся: а) форма суточной вариации; б) абсолютный уровень среднесуточных величин; в) сезонные изменения эффекта; г) зависимость эффекта от геомагнитной широты.

На фиг. 2 приведен широтный ход эффекта в различных компонентах. Показан широтный ход разностей  $\Delta X'$  и  $\Delta Z$  между средними значениями околополуденных (10,5–13,5 час. LMT) величин элементов  $X'$  и  $Z$ , вычисленных отдельно для дней с  $+B_w$  и  $-B_w$  за двухмесячный период,

и средними уровнями элементов за тот же период, вычисленными по данным за все дни на станциях северного (а) и южного (б) полушарий.

Видно, что в местное лето эффект максимален в  $X'$  на  $\Phi_c \approx 80^\circ$ , а в  $Z$  на  $\Phi_c \approx 86^\circ$ . Области максимального эффекта перемещаются на несколько градусов широты в зависимости от сезона и от величины геомагнитной активности.

Для определения знаков секторов использовались данные тех станций, на которых в данное время года наиболее отчетливо проявляются все черты, присущие тому или другому типу вариаций.

Результаты определения приведены на фиг. 3. Знаками «плюс» отмечены дни (гринвичские сутки), когда межпланетное магнитное поле было направлено преимущественно от Солнца, а знаками «минус» — когда оно было направлено к Солнцу. Знаками большей величины отмечены случаи, когда определение полярности сектора выполнено с наибольшей достоверностью. Знаками  $\pm$  ( $\mp$ ) отмечены случаи, когда в первую часть суток преобладало поле, направленное от Солнца (к Солнцу), а во вторую часть суток — к Солнцу (от Солнца). Полученные знаки секторов на фиг. 3 расположены в 27-дневные ряды. Слева указаны год, номера оборотов Солнца, месяц и дата начала оборота.

Некоторые характерные особенности секторной структуры в годы максимальной активности 19-го цикла заключались в следующем. В 1957 г. (IV—XII) секторная структура была очень сложной. За один оборот Солнца направление межпланетного поля изменяло знак более шести раз. Однако такая «локутная» структура была сравнительно устойчива, так как один и тот же знак поля, как правило, последовательно повторялся в нескольких оборотах Солнца. К концу 1957 г. структура поля приобрела более простой вид. Так, например, за оборот 1703 знак поля изменился всего один раз, если не считать двух дней со знакопеременным полем. В 1957—1958 гг. преобладало поле, направленное к Солнцу. О такой ситуации в 1958 г. говорится в работах [14, 15]. Начиная с оборота 1712, преобладание поля отрицательного направления заканчивается и наступает период более равномерного распределения поля разных знаков в одном обороте Солнца. Интересно отметить, что в период максимума 20-го цикла, в 1969 г., наблюдалась сходная с этой картина [16]. Преобладавшее в начале 1969 г. число дней с отрицательной полярностью постепенно сокращалось. Граница между положительным и отрицательным секторами с каждым оборотом Солнца смещалась на более позднюю дату, что хорошо видно на рис. 1в [16] и достаточно отчетливо обнаруживается на фиг. 3.

В работах [17, 18] показано, что смене полярности секторов вблизи магнитосферы Земли предшествует, как правило за 4—5 дней, такая же смена знака преобладающего направления магнитных полей на Солнце. Данные фиг. 3 позволяют выполнить более подробное сопоставление моментов смены знака секторов в районе Земли с данными о магнитных полях на Солнце и, таким образом, определить скорость, с которой информация о магнитных полях на Солнце распространялась от Солнца до Земли в годы максимума солнечной активности 19-го цикла. Имеются основания предполагать, что эта скорость была существенно больше, чем в годы максимума солнечной активности 20-го цикла.

Авторы благодарят И. А. Жулина, К. Г. Иванову, В. В. Мигулина, Н. В. Пушкова и В. А. Троицкую за проявленный интерес к работе и полезную дискуссию, а также Т. Е. Волчецкую и Л. В. Черникову за помощь в вычислениях и оформлении работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. J. M. Wilcox, N. F. Ness. *J. Geophys. Res.*, 1965, **70**, 5793.
2. J. M. Wilcox. *Space Sci. Rev.*, 1968, **8**, 258.
3. L. Svalgaard. Danish Meteorological Institute, *Geophys. Papers R-6*, 1968.
4. С. М. Мансуров. *Геомагн. и аэрономия*, 1969, **9**, 768.
5. S. M. Mansurov, L. G. Mansurova. Program and Abstracts, International Symposium on Solar-Terrestrial Physics, Leningrad, USSR, 11—20 May, 1970, M. 1-7.
6. С. М. Мансуров, Л. Г. Мансурова. *Геомагн. и аэрономия*, 1971, **1**, 115.
7. S. M. Mansurov, L. G. Mansurova, V. A. Troitskaya. Program and Abstracts for the XV IUGG General Assembly, Moscow, 1971, 385.
8. E. Friis-Christensen, K. Lassen, J. M. Wilcox, W. Gonzales, D. S. Colburn. *Nature Phys. Sci.*, 1971, **233**, 48.
9. С. М. Мансуров, Л. Г. Мансурова. *Геомагн. и аэрономия*, 1965, **5**, 740.
10. В. С. Бассоло, С. М. Мансуров, В. П. Шабанский. Сб. «Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца», вып. 23, 1972, 125.
11. J. Wilhelm, E. Friis-Christensen. Danish Meteorological Institute, *Geophys. Papers R-31*, 1972.
12. T. S. Jørgensen, E. Friis-Christensen, J. Wilhelm. *J. Geophys. Res.*, 1972, **77**, 1976.
13. E. Friis-Christensen, Danish Meteorological Institute, *Geophys. Papers R-27*, 1971.
14. S. M. Mansurov, L. G. Mansurova, *Ann. géophys.*, 1970, **26**, 397.
15. С. М. Мансуров, Л. Г. Мансурова. *Геомагн. и аэрономия*, 1971, **11**, 660.
16. J. M. Wilcox, D. S. Golburn. *J. Geophys. Res.*, 1972, **77**, 751.
17. N. F. Ness, J. M. Wilcox, *Astrophys. J.*, 1966, **143**, 23.
18. J. M. Wilcox, A. B. Severny, D. S. Colburn. *Nature*, 1969, **224**, 353.

Институт земного магнетизма, ионосферы  
и распространения радиоволн АН СССР

Статья поступила  
22 декабря 1972 г.