

УДК 550.385.36

**СЕВЕРО–ЮЖНАЯ АСИММЕТРИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВАРИАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ БУРИ 06.04.2000 НА МЕРИДИАНЕ A1A**

**Максименко О.И., Бахмутов В.Г., Мельник Г.В., Шендеровская О.Я.**

*Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев, 0142, пр-т Палладина, 32  
mg2005@ukr.net*

**Реферат.** По модельным расчетам (модель Цыганенко T01) во время магнитной бури 6 апреля 2000 г. определены характеристики северо–южной асимметрии глобального и наземного распределения магнитных полей возмущений, расположения обсерватории A1A и ее сопряженной точки, а также выполнены оценки их вековых изменений в интервале 1990–2011 гг.

**Ключевые слова:** магнитная буря, модель Цыганенко T01.

**Північно–південна асиметрія розподілу варіацій магнітного поля бурі 06.04.2000 на меридіані A1A.** Максименко О.І., Бахмутов В.Г., Мельник Г.В., Шендеровська О.Я.

**Реферат.** За модельними розрахунками (модель Циганенко T01) під час магнітної бурі 6 квітня 2000 визначено характеристики північно–південної асиметрії глобального й наземного розподілу магнітних полів збурень, розташування обсерваторії A1A і її сполученої точки, а також виконано оцінку їх вікових змін в інтервалі 1990–2011 рр.

**Ключові слова:** магнітна буря, модель Циганенка T01.

**North – southern asymmetry of magnetic field variations distribution during storm on the 4/6/2000 on A1A meridian.** Maksimenko O.I., Bakhmutov V.G., Melnyk G.V., Shenderovska O. Ja.

By model calculations (Tsyganenko's T01 model) during magnetic storm on April, 6th 2000 characteristics of north – southern asymmetry of global and Earth surface distribution of magnetic disturbances fields, an arrangement of observatory A1A and its conjugate point, and also their secular changes from 1990 to 2011 are defined.

**Key words:** magnetic storm, Tsyganenko's T01 model.

## 1. Введение

Проявления солнечно–земных взаимодействий во время магнитных бурь и суббурь имеют многочисленные признаки северо–южной асимметрии. Экспериментально установлены северо–южные отличия положений крупномасштабных образований в окружающей плазменной среде – токовых систем и провала концентрации электронов и ионов, овала полярных сияний. Северо–южная асимметрия обнаружена в мелкомасштабных структурах ночных и дневных внутренних гравитационных волн в F2-слое во время магнитной бури в авроральной области. Из анализа пространственно-временного распределения полей геомагнитных вариаций ранее было определено отличие ориентации токов суббурь, уменьшение амплитуды возмущений вплоть до их отсутствия в одном из полушарий в зависимости от уровня магнитной активности и типов возмущенности в солнечном ветре (Яременко, Мельник, 2004; Яременко и др., 2005; Максименко и др., 2005). Вариации

магнитного поля во время бури также определяются кратковременными изменениями полей токовых систем во внутренней магнитосфере под влиянием быстрого возмущенного потока солнечного ветра. Основным токовым источником вариации по времени бури ( $D_{st}$ -вариации) является кольцевой ток (КТ) западного направления порядка  $10^6$  А. Кольцевой ток течет в экваториальной плоскости магнитосферы на расстояниях 3–8 радиусов Земли ( $R_E$ ). Пространственное распределение магнитного поля КТ отражает конфигурацию магнитосферы, которая зависит от угла наклона геодиполя, уровня геофизической активности и имеет азимутальную асимметрию. При этом асимметричность магнитного поля КТ связана с частичным КТ, возникающим в вечернем секторе местного времени. Проекция поля частичного КТ в плоскостях, параллельных экваториальной, имеют существенные отличия в противоположных полушариях при разных углах наклона геодиполя относительно плоскости эклиптики.

Области открытых и закрытых силовых линий геомагнитного поля (каспы) совпадают с границей полярной шапки, изменяясь от  $85^\circ$  в спокойных условиях до  $52^\circ$  во время сильных бурь. Их положение зависит как от угла наклона диполя, локального времени, так и от величины динамического давления солнечного ветра. Эти закономерности могут отличаться в северной и южной частях магнитосферы, и соответственно, на наземных проекциях в противоположных полушариях земной поверхности. К примеру, локальное кратковременное искривление силовых линий геомагнитного поля в результате суббуревых возмущений магнитного поля 200 нТл в высоких широтах могут вызывать северо–южную асимметрию неоднородностей распределения в потоках солнечных космических лучей.

Особенности исследования геомагнитных вариаций на обсерватории Академик Вернадский определяются ее положением относительно высокоширотных авроральных электроструй и овала полярных сияний. Они также связаны с тонкими структурами в неоднородных плазменных областях и токами во внутренней магнитосфере (плазменный слой, кольцевой ток, продольные токи Биркеланда и др.), динамика которых определяется уровнем локальной геомагнитной возмущенности и разная в северном и южном полушариях Земли.

Данная работа является продолжением исследований внешних источников изменений магнитного поля на ст. Академик Вернадский во время магнитной бури 6–7 апреля 2000 г, начатых в (Максименко и др., 2007/2008). В ней представлены результаты анализа пространственного распределения полного магнитного поля возмущений и магнитных полей некоторых токовых источников. Определены количественные характеристики северо–южной асимметрии магнитного поля бури для широты обсерватории АИА по данным расчетов, проведенных по эмпирической модели магнитного поля возмущений Цыганенко Т01 (Tsyganenko, 2002), и получены вековые изменения за последние 20 лет.

## **2. Результаты модельного изучения эффектов северо–южной асимметрии возмущений геомагнитного поля**

### **2.1. Распределение полного магнитного поля возмущений во внутренней магнитосфере**

Изучение эффектов солнечно–земного взаимодействия и, в частности, северо–южной асимметрии в вариациях магнитосферного магнитного поля в умеренных и высоких широтах обычно проводят в солнечно–магнитосферной системе координат (GSM), где учтены ориентация геомагнитного диполя и взаимное расположение Земли и Солнца. В GSM системе ось  $Z$  находится в плоскости, образованной осью диполя и прямой Солнце–Земля; ось  $X$  направлена к Солнцу, ось  $Y$  – на вечер.

Для расчета магнитных полей отдельных магнитосферных токовых источников используется эмпирическая модель магнитного поля магнитосферных возмущений

Цыганенко T01, созданная на базе данных измерений семи искусственных спутников Земли за период 1984–1999. Входными параметрами модели являются величины  $V_y$  и  $B_z$  компонент межпланетного магнитного поля (ММП), характеристики солнечного ветра (СВ): динамическое давление  $P_{dyn}$ , скорость  $V_{sw}$ , коэффициенты взаимодействия магнитосферы с солнечным ветром  $G1$ ,  $G2$  (Tsyganenko, 2002), угол наклона геодиполя, индекс геомагнитной возмущенности  $Dst$ .

По результатам модельных расчетов распределение величины полного магнитного поля бури  $BzG0$  в магнитосфере на расстояниях до  $\pm 10R_E$  (рис. 1) выявляет северо–южную асимметрию. Наблюдаемое расширение отрицательной области значений  $BzG0$  в Северном полушарии по сравнению с Южным при удалении от Земли на  $2.5 R_E$  является следствием наклона оси геодиполя на  $19^\circ$  (рис. 1в). Азимутальные различия изменения поля в северной и южной частях магнитосферы хорошо видны на картах распределения полного поля  $BzG0$  на плоскостях  $ZGSM=\pm 2R_E$  (рис. 1б), параллельных экваториальной  $ZGSM=0R_E$  (рис. 1а) Северо–южная асимметрия проявляется также в сдвиге центра дневного каспа: в южной части он расположен на  $2.3R_E$  ближе к экватору ( $X=5.5R_E$ ,  $Z=-6.5R_E$ ), чем в северной ( $X=7.8R_E$ ,  $Z=4.5R_E$ ) (рис. 1в). В северной части область отрицательных значений  $BzG0$  простирается дальше, примерно на  $1.5 R_E$  (до  $8.5 R_E$ ), на полуденном меридиане и значительно больше, на  $2.5 R_E$ , на сумеречном (рис. 1г). Следствием наклона оси геодиполя относительно экватора магнитосферы является также северо–южная разница утро–вечерних максимумов депрессии поля величиной  $-140$  нТл и  $-200$  нТл соответственно при углах наклона  $0.27$  рад (рис. 1г).

Таким образом, были выявлены следующие характеристики северо–южной асимметрии депрессии магнитного поля во внутренней магнитосфере в главную фазу бури 06.04.2000 в 19:00UT:

- южный дневной касп смещен дальше от экватора на  $2 R_E$ , чем северный, при углах наклона оси геодиполя  $19^\circ$ ;
- северо–южное различие структур пространственного распределения магнитного поля увеличивается с удалением от экватора на  $\pm 2 R_E$  и имеет азимутальные особенности: вечерний максимум депрессии магнитного поля бури ( $-220$  нТл) зафиксирован к северу от экватора ближе к ночному сектору;
- величина депрессии при удалении от экваториальной плоскости в разных направлениях имеет неодинаковое перераспределение с небольшим, порядка  $0.1 R_E$ , расширением внешней дневной границы области отрицательного поля в северной части магнитосферы и преимущественным перемещением максимума величины депрессии поля до  $-3.6X$ ;  $-1.8Y$ , дальше от поверхности Земли, чем в южной части ( $Z=-2R_E$ ).

## 2.2. Северо–южная асимметрия в наземных вариациях модельного магнитного поля бури

Структурные различия в глобальном распределении магнитного поля возмущений, которые были показаны выше (рис. 1) для внутренней магнитосферы, отражаются при их проектировании на земную поверхность.

Северо–южная асимметрия наблюдается в пространственном распределении величины депрессии магнитного поля на умеренно-высоких широтах. Области усиления депрессии поля выделены в вечернем (18:00–19:00 MLT) и утреннем (6:00–9:00 MLT) секторах. Район максимальной депрессии ( $BzG0=-210$  нТл) смещен на  $30^\circ$  к западу в северном (сопряженном) полушарии по отношению к ее положению в южном (вблизи  $\lambda=70^\circ$  в. д.) (рис. 2а). Для ночного периода характерно развитие мелких структур с ростом широты, особенно в Южном полушарии. При этом очень устойчивый слабый широтный градиент величины поля сохраняется до широт  $56^\circ$  того же знака (рис. 2а). Наблюдаемый на рис. 2а изгиб линии сопряженных широт на долготе  $280^\circ$ , по–видимому, повторяет положение линии магнитного

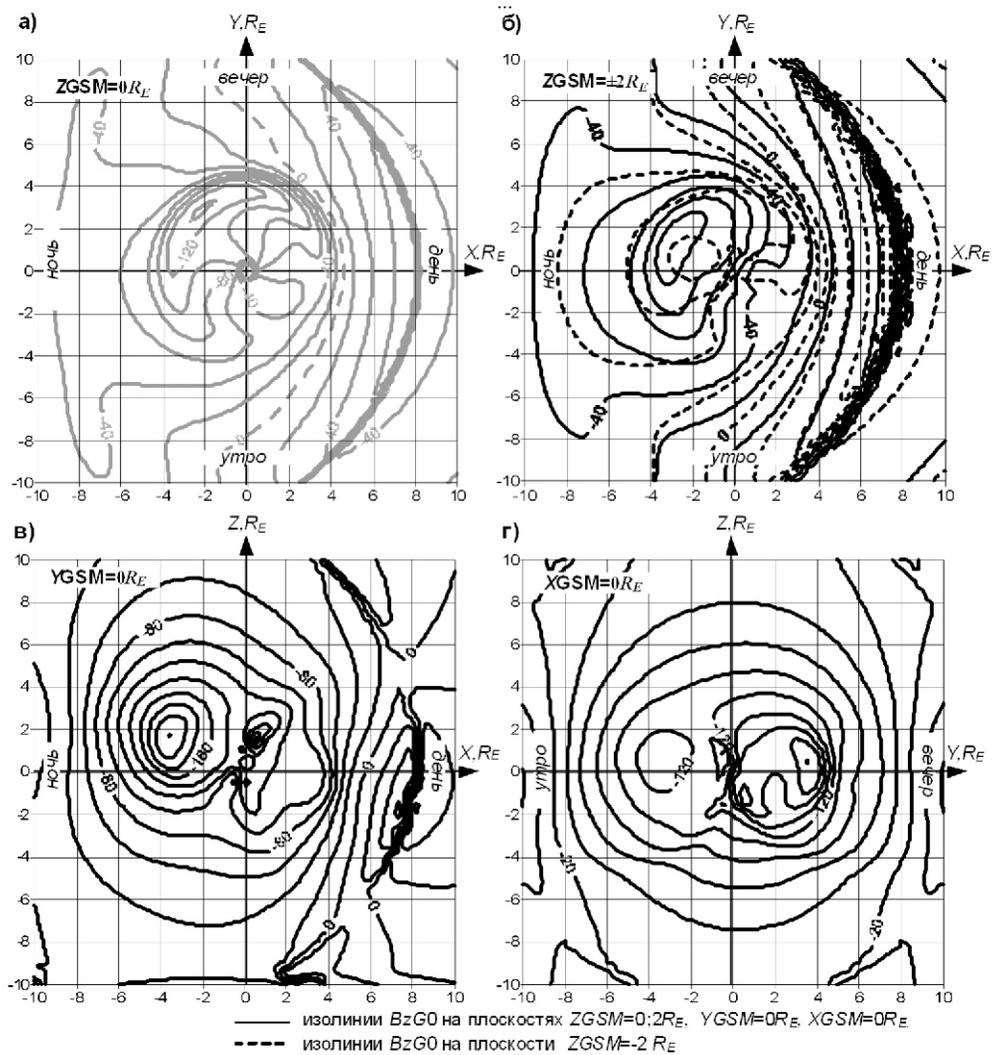


Рис. 1. Распределение величины полного магнитного поля бури  $BzG0$  в экваториальной и вертикальных плоскостях магнитосферы на расстояниях до  $\pm 10 R_E$ .

экватора на меридиане Бразильской магнитной аномалии. Для анализа причин северо-южной асимметрии построены графики изменений полного магнитного поля и его составляющих в магнитосопреженных точках вдоль магнитных широт  $\pm 54$  и  $\pm 60^\circ$  (рис. 2б).

На рис. 2аб хорошо подтверждается азимутальный сдвиг на 2 часа (к западу на  $30^\circ$ ) области максимальной депрессии полного поля в сопряженной (северной) полусфере. Так же отмечается несовпадение областей экстремумов полного и поля КТ, смещающихся в Южном полушарии к западу вблизи полудня и к востоку в ночное время, при соответствующем уменьшении амплитуды долготных вариаций для поля КТ. При этом несовпадение положений долготных максимумов  $BzG0$   $BzG4$  объясняется наложением полей других источников на указанной широте. Вклад магнитного поля КТ в полное поле в обоих полушариях значительно превосходит вклады полей других токовых источников.

### 2.3. Северо–южный эффект в системе GSM

В связи с тем, что процессы в магнитосфере обусловлены явлениями на Солнце, то для выяснения внешних причин северо–южной асимметрии магнитного поля бури сопоставим пространственное положение кривых проекций магнитосопряженных точек на экваториальную ( $XY$ ) и вертикальную ( $XZ$ ) плоскости системы GSM (рис. 3). Следует отметить смещение к востоку и к экватору точек, сопряженных относительно исходных, в южной стороне магнитосферы в дневном секторе. Кроме этого отметим, что в ночном секторе магнитосферы сопряженные точки, напротив, находятся ближе к Земле. Для обсерватории AIA в 15:00 MLT (локальное магнитное время) разнос сопряженных точек вдоль оси  $X$  составил  $0.44 R_E$ , а вдоль оси  $Z$  меньше  $-0.3 R_E$ , и только  $0.02 R_E$  – по оси  $Y$ . При этом обратим внимание на

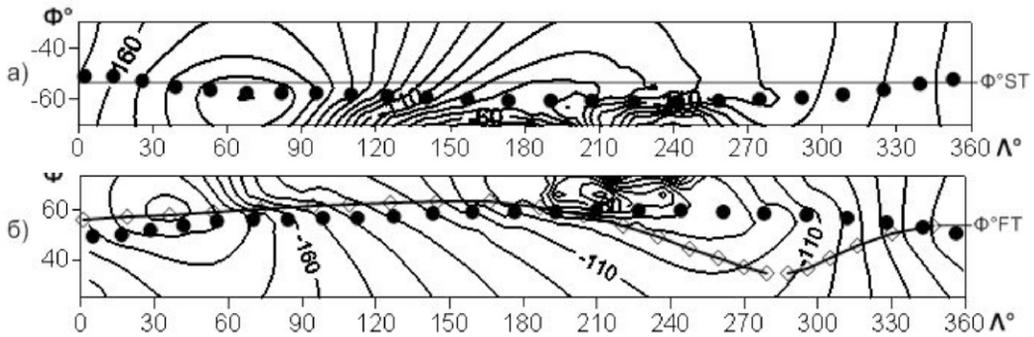


Рис. 2а. Карты изолиний полного магнитного поля  $BzG0$  для области  $\Phi=40 \div 60^\circ$  в Южном полушарии (а) и для сопряженной области в Северном (б) в магнитных координатах.

- $\Phi^\circ ST$  параллель  $54^\circ$  ю. ш. (стартовые точки в Южном полушарии);
- ◇  $\Phi^\circ FT$  соответствующая сопряженная кривая в Северном полушарии (финальные точки);
- положение исправленных геомагнитных широт.

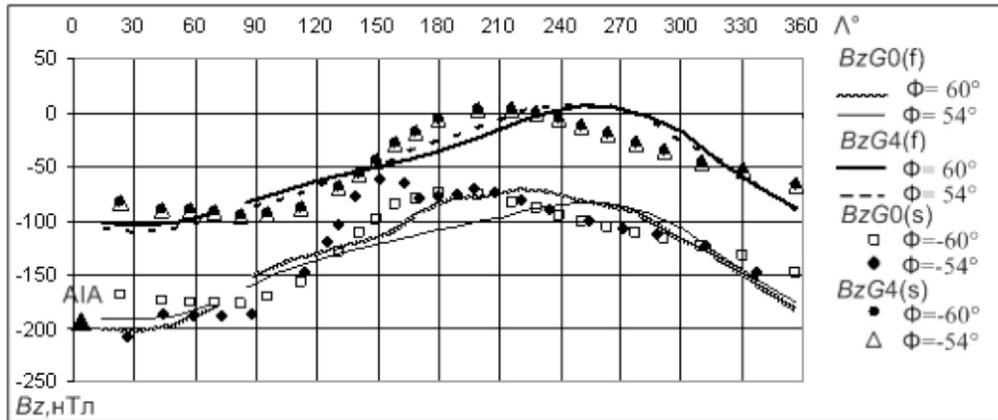


Рис. 2б. Кривые долготного хода для полного магнитного поля  $BzG0$ , поля кольцевого тока  $BzG4$ , вдоль магнитных широт  $\Phi= -54^\circ$  и  $-60^\circ$  ю.ш. (s) и для сопряженных точек в Северном полушарии (f).

некоторое азимутальное изменение величины разноса ближе к Земле с ростом широты и искажение формы линий проекций сопряженных точек (разброс) относительно исходных. По наклону линии проекций в вертикальной плоскости можно определить угол наклона геодиполя к экватору.

Согласно проведенному анализу магнитоcопряженных точек, северо–южная асимметрия магнитного поля возмущений, наблюдаемая на широтах более  $\Phi=54^\circ$  ю.ш., отчасти обусловлена или сопровождается пространственным разномом точек вдоль оси XGSM или оси ZGSM. На рис. 3 хорошо видны азимутальные изменения величины отклонений (кривая XY(f)) проекций сопряженных точек геомагнитной параллели  $\Phi= -54^\circ$  от исходных точек на геомагнитной широте  $\Phi=54^\circ$  (кривая XY).

Для обсерватории AIA смещение составляет  $0.44 R_E$  вдоль оси XGSM и  $0.3 R_E$  вдоль ZGSM, т.е. 1580 км и 1089 км соответственно. Вдоль оси XGSM (направление Солнце–Земля) сопряженная точка AIA была связана с более глубокими слоями дневной магнитосферы и находилась дальше от экватора в Южном полушарии. В ночном полушарии сопряженные точки, напротив, сдвигаются ближе к Земле, чем их исходные. Как видно на рисунке, азимутальные изменения положения точки вдоль постоянной магнитной широты охватывают пространственный диапазон YGSM= $\pm 0.59 R_E$  и XGSM= $0.36 \div -0.78 R_E$ , несколько смещенный в сопряженном полушарии YGSM= $\pm 0.52 R_E$  и XGSM= $-0.39 \div 0.79 R_E$ . В вертикальной плоскости диапазон пространственных изменений сужен до ZGSM= $0.62 \div 0.92 R_E$  в Южном полушарии и меньше, ZGSM= $0.59 \div 0.93 R_E$ , в сопряженной северной части магнитосферы.

Ниже в таблице приведены характеристики северо–южной асимметрии магнитного поля вблизи широты обсерватории AIA ( $\Phi = -54^\circ$ ) во время магнитной бури ( $Dst = -125$  нТл) для 19:00 UT в равноденствие. Наземные координаты исходной (ST) и магнитосопряженной (FT) точек в геоциклических (GEO) и геомагнитных (MAG) системах, их разницы в сопряженных точках (FT–ST) по широтам и долготам показаны в градусах. Там же даны величины расчетных магнитных полей кольцевого тока  $BzG4$  и полного поля  $BzG0$  бури и их различия в сопряженных и исходных точках в нТл.

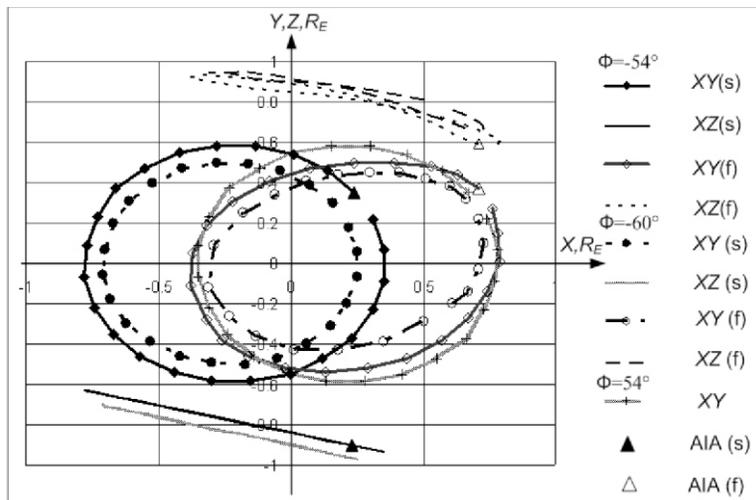


Рис. 3. Наземные проекции траекторий магнитных силовых линий в горизонтальной (XY) и вертикальной (XZ) плоскостях координатной системы GSM для постоянных геомагнитных широт  $-54^\circ$  (сплошная линия) и  $-60^\circ$  (пунктир). Заполненные кружки соответствуют исходным точкам силовых линий в Южном полушарии, пустые – сопряженным в Северном. Кривая XY показывает положение проекций исходных точек вдоль геомагнитной широты  $\Phi=54^\circ$ . Черным треугольником отмечено положение обсерватории AIA, пустым – положение ее сопряженной точки на овалах (плоскость XY) и наклонных линиях (плоскость XZ) в северной и южной частях магнитосферы.

Во-первых, укажем, что обсерватория AIA с исправленными магнитными координатами ( $-50.13^\circ$ ;  $9.13^\circ$ ), которые экваториальнее на  $4.74^\circ$  и восточнее на  $4.2^\circ$ , чем геомагнитные, находится на оболочке  $L=2.44$  в 4:00 MLT в 2000 г. При этом географические координаты магнитосопряженной точки AIA в Северном полушарии равны ( $40.36^\circ$ ;  $290.04^\circ$ ) и смещены к экватору на  $25^\circ$  и к западу на  $5^\circ$ , а геомагнитные смещены на  $4.1^\circ$  к экватору и на  $3.5^\circ$  к западу. В результате, вследствие увеличения зенитного угла Солнца в сопряженной точке AIA поток ультрафиолетового излучения, поступающего в атмосферу, значительно больше, что и является одной из причин северо–южной асимметрии поля регулярных магнитных вариаций.

Таблица

**Характеристики северо–южной асимметрии магнитного поля возмущений на широте обсерватории AIA и их вековые изменения**

Год	FT GEO		ST MAG		FT MAG		FT–ST MAG		BzG0, нТл			BzG4, нТл		
	$\Phi^\circ$	$\lambda^\circ$	$\Phi^\circ$	$\Lambda^\circ$	$\Phi^\circ$	$\Lambda^\circ$	$\Phi^\circ$	$\Lambda^\circ$	ST	FT	FT–ST	ST	FT	FT–ST
2000	40.36	290.04	-54.92	5.32	50.80	1.81	-4.12	-3.51	-153.9	-178.9	26.00	-71.70	-91.90	20.20
2008	41.37	289.54	-55.25	5.61	51.50	1.60	-3.75	-4.01	-155.5	-179.4	23.90	-72.81	-92.10	19.29
1990	39.17	290.75	-54.51	4.95	50.02	2.14	-4.49	-2.81	-154.4	-177.6	23.20	-72.20	-91.04	18.84
1990–2000	-1.19	0.71	0.41	0.37	-0.78	0.33	-0.37	0.70	-0.50	1.30	2.80	-0.50	0.86	1.36
2000–2008	-1.01	0.50	0.33	0.29	-0.70	0.21	-0.37	0.50	1.60	0.50	-2.10	1.11	0.20	-0.90
1990–2008	-2.20	1.21	0.74	0.66	-1.48	0.54	-0.74	1.20	1.10	1.80	0.70	0.61	1.06	0.45

Во-вторых, выделим вековые вариации положения обсерватории AIA. Уменьшение со временем величины экваториального смещения (FT–ST) – от  $4.49^\circ$  в 1990 до  $3.75^\circ$  в 2008 при росте восточного сдвига, по-видимому, обуславливает вековые вариации геомагнитного поля за 18 лет (с 1990 по 2008) вследствие изменений координат геомагнитных полюсов. При одинаковой магнитной возмущенности уменьшение величины разности между исходной и сопряженной точками составило  $0.37^\circ$  по широте и  $1.2^\circ$  по долготу. Одновременно был определен сдвиг геомагнитной широты AIA за этот же временной интервал на  $0.74^\circ$  и на  $0.41^\circ$  от максимума 22 цикла к максимуму 23 цикла солнечной активности. При этом обсерватория AIA смещалась к востоку на  $0.7^\circ$  (для 19:00 UT) и на  $0.37^\circ$  к магнитному экватору за 10 лет.

В-третьих, область максимального погружения в магнитосферу магнитной силовой линии (в приближении модели T01) тоже сместилась по оси XGSM на  $0.06 R_E$  за десятилетие и на  $0.11 R_E$  от максимума в 1990 до минимума в 2008 при той же магнитной возмущенности.

Согласно оценкам, вековые вариации магнитных координат исходной точки AIA характеризовались смещением в полночь к полюсу от ( $49.48^\circ$ ;  $9.03^\circ$ ) в 1990 г. до ( $50.13^\circ$ ;  $9.13^\circ$ ) в 2000 г., от ( $50.48^\circ$ ;  $9.14^\circ$ ) в 2008 г. до ( $50.57^\circ$ ;  $9.13^\circ$ ) в 2011 г.

Разница модельных величин магнитного поля в сопряженных точках обсерватории AIA в 14:42 MLT составила 26 нТл для полного поля  $BzG0$  и 20.2 нТл для поля КТ  $BzG4$  с превышением величины депрессии в Северном полушарии в 19:00 UT в 2000 г. ( $BzG0 = -178$  нТл;  $BzG4 = 91.9$  нТл) при незначительном уменьшении северо–южной асимметрии на 2.1 нТл и 0.9 нТл соответственно для  $BzG0$  и  $BzG4$  в 2008 г. (за 8 лет). При этом отметим, что знак северо–южной асимметрии поля может изменяться в вековых колебаниях и, по-видимому, в зависимости от локальных неоднородностей поля.

Как следует из таблицы, существуют вековые вариации поля в 19:00 UT в виде изменения знака временного тренда отклонений магнитных полей в сопряженных точках в течение 18 лет при разнесении на 8 и 18 лет. Одновременно отмечается рост  $L$ -оболочки обсерватории AIA в полночь от  $L=2.39$  в 1990 г.,  $2.43 R_E$  в 2000 г. до  $2.47 R_E$  в 2008 г. при сдвиге к полюсу

исправленных магнитных координат на  $1.18^{\circ}$  за 22 года (1990–2011 гг.). Выделены также слабые (менее 3 нТл для полного и 1.4 нТл для поля КТ) вековые вариации модельного магнитного поля виртуального возмущения (с постоянными характеристиками СВ и ММП и *Dst*-индексом) во временном секторе 15:00 MLT (19:00 UT). Последние, как и изменение знака тренда разницы величины магнитных полей в сопряженных точках обсерватории АІА в течение 18 лет с положительного при разнесении на 10 лет с переходом на отрицательный тренд в последующие 8 лет, отчасти могут быть отражением локальных аномалий геомагнитных вариаций поля.

### 3. Выводы

Современные модели магнитного поля бури используются для определения глобального распределения магнитного поля магнитосферы в виде картин пространственного распределения магнитных силовых линий для различных приближений его внутренней и внешней части (Максименко и др., 2008). Применение эмпирической модели магнитного поля магнитосферных возмущений Цыганенко (Т01) позволило получить количественные характеристики северо–южной асимметрии полей геомагнитных вариаций в магнитосфере и на широтах  $\Phi \sim 54^{\circ}$  на примере анализа полей в главную фазу магнитной бури 6 апреля 2000 г. на обсерватории АІА.

Расчеты выявили различия модельных полей в сопряженных точках обсерватории АІА величиной 20 нТл для поля кольцевого тока *BzG4* и 26 нТл для полного магнитного поля бури *BzG0*. В равноденствие северо–южная асимметрия полей обусловлена усилением депрессии поля возмущений в сопряженной полусфере, которая увеличивается с ростом широты. Для 19 UT 6 апреля 2000 г. северо–южный эффект составил в исходной точке АІА для *BzG0* 14% и 26% для *BzG4*, в сопряженной точке 8% и 22% соответственно.

Показано существование долготных колебаний величин северо–южного эффекта магнитного поля вдоль постоянных магнитных широт ( $-54^{\circ}\Phi$ ) с максимумом 40 нТл на  $\Lambda=150^{\circ}$  для полного поля. Азимутальные вариации северо–южного эффекта магнитного поля сопровождаются долготными вариациям разницы широт в сопряженных точках с экстремумами на  $\Lambda=150^{\circ}$  и  $\Lambda=210^{\circ}\div 240^{\circ}$  и периодом порядка  $85^{\circ}$ .

Получены данные о долготных вариациях разницы между координатами сопряженных точек в разных координатных системах: в геомагнитных широтах величина северо–южного эффекта изменялась от  $-4.7$  до  $3.84^{\circ}$ , в географических от  $-25^{\circ}$  до  $+18^{\circ}$  и для исправленных магнитных широт от  $-4.21^{\circ}$  на  $L=2.36$  в 4:00 MLT до  $+3.56^{\circ}$  на  $L=3.44$  в 17:30 MLT.

Во время бури был выделен пространственный сдвиг максимума порядка  $30^{\circ}$  к западу в северном сопряженном полушарии полного поля, а также относительное смещение максимумов поля кольцевого тока и полного поля в диапазоне  $40^{\circ}\div 60^{\circ}$ .

Определены вековые вариации магнитных полей бури в равноденствие, которые были больше в 1.5 раза в сопряженной области, но и не превышали 1%, т.е. 1.8 нТл и меньше, 1.06 нТл соответственно для *BzG0* и *BzG4* на АІА в равноденствие в интервале 1990–2008 гг.

При этом северо–южный эффект вековых вариаций оставался положительным ( $0.45\div 0.61$  нТл) в среднем за весь интервал, но обнаружена смена знака северо–южного эффекта во второй части 2000–2008 гг. с одновременным увеличением величины эффекта в 3 раза, например, для полного поля.

С другой стороны, вековые вариации величины северо–южного эффекта составляли 0.03 для *BzG0* и 0.027 для *BzG4* за 18 лет и тоже показали смену знака на  $(-)$  во второй части интервала 2000–2008 гг., когда величина северо–южной асимметрии в 2 раза больше для полного поля ( $-0.09$ ).

Согласно расчетам, на земной поверхности смещение геомагнитной широты АІА за временной интервал 1990–2011 гг. равнялось  $0.74^{\circ}$  ( $0.41^{\circ}$  от максимума 22 цикла к максимуму

О.И. Максименко. СЕВЕРО–ЮЖНАЯ АСИММЕТРИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВАРИАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ...

23 цикла солнечной активности). При этом AIA смещалась к большим MLT, т.е. к востоку на  $0.7^\circ$ , и на  $0.37^\circ$  к магнитному экватору за десятилетие (для 19:00 UT). Величина наземной северо–южной асимметрии магнитного поля бури увеличивается с широтой, начиная с  $\Phi=54^\circ$ .

В магнитосфере северо–южный эффект был определен по величине расхождений GSM проекций магнитосопряженных точек на осях X, Y, Z GSM вдоль одинаковых геомагнитных широт обоих полушарий. Величина разноса для магнитосопряженных точек AIA вдоль линии Солнце–Земля, оси X GSM, составил  $0.44 R_E$ , а вдоль оси Z GSM меньше,  $0.3 R_E$ , и только  $0.02 R_E$  по оси Y GSM. Но при этом величина суточных азимутальных изменений проекций в вертикальной плоскости достигала  $0.3 R_E$  в 15:00 MLT и несколько больше в сопряженном полушарии, тогда как на экваториальной плоскости пространственный диапазон суточных изменений расширился до  $1.18 R_E$ .

Вековые вариации поля отражались в виде роста величины L-оболочки обсерватории AIA в полночь в пределах от  $L=2.39$  в 1990 г.,  $2.43 R_E$  в 2000 г. до  $2.47 R_E$  в 2008 г., сопровождаемых сдвигом к высоким широтам исправленных магнитных широт на  $1.18^\circ$  за 22 года, с 1990 по 2011 г., вследствие вековых изменений положений магнитных полюсов.

Таким образом, полученные свойства вековых вариаций поля геомагнитных возмущений и положения обсерватории AIA и их северо-южных эффектов требуют уточнения и интерпретации с привлечением результатов модельного анализа полей остальных составных токовых источников в течение длительного интервала времени.

## Литература

**Максименко О.И., Мельник Г.В., Яременко Л.Н. и др.** Геомагнитные возмущения на станции Академик Вернадский во время магнитных облаков в 1997 г. // Український Антарктичний Журнал. – 2005. – № 3. – С. 19–26.

**Максименко О.И., Бахмутов В.Г., Мельник Г.В. и др.** О внешних источниках изменений магнитного поля на ст. Академик Вернадский во время магнитной бури 6-7 апреля 2000 г. // Український Антарктичний Журнал. – 2007/2008. – № 6-7. – С. 59–65.

**Яременко Л.Н., Максименко О.И., Мозговая Т.А. и др.** Магнитно–ионосферные эффекты, создаваемые приходом к Земле солнечного магнитного облака // Геофизический журнал. – 2005. – 27, № 2. – С. 290–298.

**Яременко Л.Н., Мельник Г.В.** Магнитные бури в экваториальном поясе и полярных областях // Космічна наука і технологія. – 2004. – 10, № 5/6. – С. 106–110.

**Tsyganenko N.** A new magnetospheric magnetic field model. 1. Mathematical structure 2. Parameterization and fitting to observations // J. Geophys. Res. – 2002. – V107, A8 – 10.1029/2001JA000220.