

УДК: 550.385

## ДІАГНОСТИКА АЗИМУТАЛЬНОЇ КОМПОНЕНТИ МІЖПЛАНЕТНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗА ДАНИМИ АНТАРКТИЧНОЇ МАГНІТНОЇ ОБСЕРВАТОРІЇ

Ю.П. Сумарук, канд. ф.-м. наук

*Інститут геофізики ім. Субботіна НАН України, геомагнітна обсерваторія, Львів*

**Реферат.** Розроблено методику діагностики азимутальної компоненти міжпланетного магнітного поля за даними антарктичної магнітної обсерваторії Восток. Співставлення вимірених та обчислених за даною методикою середнього даних значень азимутальної компоненти дає задовільні результати.

**Ключові слова:** азимутальна компонента, міжпланетне магнітне поле, геомагнітні варіації.

**Реферат.** Разработана методика диагностики азимутальной компоненты межпланетного магнитного поля по данным антарктической магнитной обсерватории Восток. Сопоставление измеренных и рассчитанных по данной методике среднего данных значений азимутальной компоненты даёт удовлетворительные результаты.

**Abstract.** Methods of the diagnosis of the interplanetary magnetic field azimuthal component by means of the Antarctic magnetic observatory Vostok data are proposed. Comparison of the calculated and observed data show satisfactory results.

**Key words:** azimuthal component, interplanetary magnetic field, geomagnetic variations.

### Вступ

Міжпланетне магнітне поле (ММП) відіграє ключову роль у процесах взаємодії сонячного вітру з магнітосферою Землі, передавання енергії в магнітосферу та збудження геомагнітних варіацій.

Одним із прикладів впливу ММП на геомагнітні варіації є відкритий Свальгардом (Svalgaard, 1968) та Мансуровим (Мансуров, 1969) зв'язок секторної структури ММП (середньодобові напрями радіальної  $V_x$  компоненти ММП) з особливим типом варіацій у приполюсних регіонах Землі. Більш детальні дослідження (Сумарук і др., 1973) показали, що даний тип варіацій з'являється за наявності в ММП азимутальної  $V_y$  компоненти, а раніше виявлено його зв'язок із секторною структурою, обумовлений високою кореляцією між  $V_y$  та  $V_x$  внаслідок спіральної структури ММП на орбіті Землі. Коефіцієнти кореляції між вертикальною  $Z$  складовою магнітного поля на обсерваторіях Восток ( $\Phi=89,09^\circ$ ,  $\Lambda=157,68^\circ$ ) в Антарктиді та Туле ( $\Phi=88,13^\circ$ ,  $\Lambda=1503^\circ$ ) в Гренландії і  $V_y$  складовою ММП у приполюсній годині в літній період сягають значень 0,98, тобто кореляційний зв'язок практично переходить у функціональний.

Джерелом варіацій даного типу є іоносферний електрострум, який протікає на широтах денного каспу у вигляді замкнутого вихора. Напрямок струму залежить від знаку  $V_y$  компоненти ММП.

У статті (Сумарук та ін., 2000) знайдено рівняння лінійної регресії між середньодобовими значеннями складових геомагнітного поля й азимутальною компонентою на антарктичних обсерваторіях Восток, Дюмон-д'Юрвіль, Скот Бейс, Мирний і Амундсен-Скотт, які мають вигляд:

$$\begin{aligned} X &= K_x \cdot B_y + X_0 \\ Y &= K_y \cdot B_y + Y_0 \\ Z &= K_z \cdot B_y + Z_0 \end{aligned} \quad (1)$$

Кутові коефіцієнти  $K_x$ ,  $K_y$  і  $K_z$  показують величину варіації складових  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  при зміні  $B_y$  компоненти ММП на 1 нТл, а вільні члени описують зміни поля на відповідній обсерваторії, не пов'язані з  $B_y$ . Максимальних значень досягають  $K_z$  коефіцієнти на обсерваторії Восток з 0 до 18 години світлового часу (СЧ). Даний інтервал часу трохи звужується в рівнодення і дорівнює нулю в зимові місяці. Тісний зв'язок між варіаціями  $Z$  складової магнітного поля на обсерваторії Восток та  $B_y$  компонентою дозволяє з досить високою точністю визначати  $B_y$  за варіаціями  $Z$ .

Дану роботу присвячено розробці методики діагностики  $B_y$  компоненти ММП за даними варіацій абсолютних значень магнітного поля у південній полярній шапці Землі.

### Матеріали та метод досліджень

Для дослідження використано абсолютні середньогодинні значення вертикальної  $Z$  компоненти на антарктичній приполюсній обсерваторії Восток. Значення азимутальної  $B_y$  та радіальної  $B_x$  компонент ММП обчислено за даними каталогу Кінга (King, 1975). Використано метод регресійного аналізу, який полягає у знаходженні коефіцієнтів кореляції між абсолютними значеннями складових наземного поля та компонентами ММП. На основі коефіцієнтів кореляції виводились відповідні лінійні рівняння зв'язку.

### Методика визначення $B_y$ компоненти ММП

Інтенсивність наземного збурення можна вважати пропорційною електричному полю, яке переноситься із сонячного вітру в денний касп, де течуть струми, що генерують дані варіації, та геометричному факторові, який залежить від положення обсерваторії відносно системи струмів та орієнтації геомагнітного диполя відносно напрямку швидкості сонячного вітру.

Для визначення середньогодинних значень  $B_y$  із третього рівняння системи (1) необхідно знати значення коефіцієнта  $K_z$  та вільного члена  $Z_0$ , який є рівнем відліку поля варіацій, залежних від  $B_y$ . У таблиці 1 показано рівняння лінійної регресії  $Z$  та  $B_y$  для обсерваторії Восток за грудень 1965 року. Зміни величини коефіцієнта при  $B_y$  та значень  $Z_0$  за циклом сонячної активності залежать від варіацій інтегральної провідності іоносфери в денному каспі, які, як показано у (Фельдштейн та ін., 1974), пов'язані лінійними співвідношеннями з інтенсивністю радіовипромінювання Сонця  $S$  на частоті 2800 МГц. Оскільки величини  $K_z$  та  $Z_0$  суттєво залежать від положення обсерваторії відносно електроструменя, то були обчислені рівняння зв'язку між  $K_z$  та  $S$  для кожної години за кожен місяць з січня до березня та з жовтня до грудня (тобто враховувався сезонний фактор). У таблиці 2 показано ці рівняння.

Процедура визначення величини  $Z_0$  більш складна і зводиться до наступного. Інтенсивність варіацій, пов'язаних з  $B_y$  компонентою, як було показано вище, в зимові місяці зменшується, і в нічні години під час спокійних періодів варіації практично зникають. Тому припускаємо, що значення поля у спокійні дні зимового сезону дорівнюють напруженості головного магнітного поля, тобто вільні від варіацій зовнішнього походження. Інтерполяцією зимових значень визначаємо величину головного магнітного поля для будь-якого місяця року, враховуючи вікові варіації. Але виявилось, що на приполюсних обсерваторіях інтерпольовані на літо з зимових місяців значення  $Z_0$  більші, аніж опівнічні значення  $Z_0'$  літніх місяців, причому ця різниця  $\Delta Z_0 = Z_0 - Z_0'$  змінюється в циклі сонячної активності і лінійно пов'язана з величиною  $S$ . Спостерігається чітке

збільшення  $\Delta Z_0$  із зростанням  $S$ . За відомими величинами  $\Delta Z_0$  в роки, для яких  $V_y$  відомі, можна обчислити цю величину в будь-який рік.

Таблиця 1. Рівняння лінійної регресії між значеннями вертикальної складової на обсерваторії Восток та  $V_y$  компонентою ММП

Z=60300+табличне значення	
СЧ	грудень 1965
0-1	7,6 $V_y$ +343
1-2	8,3 $V_y$ +353
2-3	8,4 $V_y$ +353
3-4	14,2 $V_y$ +363
4-5	14,0 $V_y$ +357
5-6	17,5 $V_y$ +364
6-7	18,8 $V_y$ +370
7-8	22,6 $V_y$ +367
8-9	22,8 $V_y$ +368
9-10	27,0 $V_y$ +377
10-11	25,5 $V_y$ +368
11-12	22,0 $V_y$ +367
12-13	19,0 $V_y$ +367
13-14	14,2 $V_y$ +358
14-15	16,3 $V_y$ +361
15-16	8,0 $V_y$ +352
16-17	4,6 $V_y$ +349
17-18	4,0 $V_y$ +350

Таблиця 2. Лінійні рівняння залежності коефіцієнтів  $K_z$  від інтенсивності радіовипромінювання Сонця на частоті 2800 Гц (S) (в одиницях  $10^{-22}$  Вт/м<sup>2</sup>•Гц)

СЧ	Січень	Лютий	Березень	Жовтень	Листопад	Грудень
0-1	0.019S+5.5	5.3	0	0.041S-0.7	0.087S-1.5	0.098S+0.3
1-2	0.027S+6.2	6.5	0	0.041S+0.5	0.098S-1.3	0.111S+0.6
2-3	0.037S+4.4	7.0	0	0.063S+1.2	0.098S-0.5	0.076S+2.6
3-4	0.043S+5.5	7.9	0	0.063S+2.7	0.098S+0.6	0.077S+8.5
4-5	0.030S+9.0	9.8	6.7	0.070S+3.0	0.176S-3.6	0.069S+9.3
5-6	0.017S+13.4	12.1	7.5	0.064S+5.9	0.176S-2.3	0.064S+11.2
6-7	0.025S+13.7	13.6	7.6	0.072S+5.0	0.176S-1.7	0.074S+13.8
7-8	0.016S+17.1	13.8	8.7	0.074S+5.8	0.176S-0.5	0.090S+15.9
8-9	0.014S+18.8	0.046S+9.3	8.3	0.050S+9.5	0.176S+0.7	0.136S+14.0
9-10	0.021S+18.0	0.041S+10.6	9.6	0.081S+6.4	0.234S-3.0	0.075S+21.4
10-11	0.025S+16.7	0.061S+8.5	7.0	0.099S+0.3	0.205S-1.8	0.067S+22.5
11-12	0.025S+16.5	0.048S+16.5	-	0.099S+1.4	0.177S-3.0	0.088S+12.1
12-13	0.010S+15.0	0.054S+4.2	-	0.089S-2.6	0.106S+2.8	0.110S+5.6
13-14	0.006S+15.7	0.054S+3.8	-	0.060S-1.9	0.098S+1.1	0.097S+6.9
14-15	14.8	0.054S+0.3	-	0.052S-3.2	0.098S-0.4	0.081S+4.8
15-16	0.009S+11.2	0.057S+1.2	0	3.7	0.098S-2.3	0.074S+3.5
16-17	0.018S+7.1	0.057S+1.6	0	4.4	0.120S-8.4	0.076S-1.1
17-18	0.012S+8.1	0.051S+2.3	0	3.0	0.120S-8.4	0.067S-1.0

У таблиці 3 наведено значення  $Z_0'+\Delta Z_0$  для обсерваторії Восток за січень–березень та жовтень–грудень на фазі спаду 20-го циклу сонячної активності, одного з найактивніших у ХХ столітті (1958–1964 роки).

Як можна бачити з рівнянь регресії  $Z$  та  $V_y$  для обсерваторії Восток (див. табл.1), величина  $Z_0$  (абсолютні значення  $Z$  при  $V_y=0$ ) має добовий хід ( $\Delta Z_n$ ), амплітуда якого також змінюється лінійно зі зміною величини  $S$ . Вважаючи, що добовий хід  $Z_0$  змінюється протягом циклу сонячної активності тільки по амплітуді й не змінює фази, можна визначити  $Z_0$  для всіх годин у добі за будь-якої фази циклу сонячної активності. У таблиці 4 наведено  $\Delta Z_n$  за ті ж місяці й роки, що і в таблиці 3. Кінцева формула для знаходження рівня відліку поля варіацій, по'язаних з  $V_y$  компонентою ММП, буде такою:

Таблиця 3. Значення  $Z_0' + \Delta Z_0$  для обсерваторії Восток

Роки	1958	1959	1960	1961	1963	1964
Місяці						
1	61645	61525	61315	61215		60865
2	61660	61550	61355	61215		60870
3	61670	61575	61365	61190		60880
10	61610	61490	61278	61160	60945	60810
11	61575	61470	61265	61126	60905	60770
12	61540	61445	61240	61114	60885	60750

Таблиця 4. Добовий хід  $Z_0$  на обсерваторії Восток

Роки	1958	1959	1960	1961	1963	1964
Місяці						
1	50	53	45	35	31	30
2	31	33	30	27	25	25
3	13	12	7	6	4	4
10	16	16	16	16	16	16
11	34	32	27	19	18	16
12	53	46	40	34	32	32

$$Z_0 = Z_0' + \Delta Z_0 + l \cdot \Delta Z_n \quad (2)$$

Величина  $l$  враховує зміну амплітуди  $\Delta Z_n$  протягом доби і плавно змінюється від нуля в опівнічні години до одиниці в полуденні години.

Підставивши вираз (2) у третє рівняння системи (1), одержимо формулу для знаходження середньогодинних значень від  $V_y$  компоненти ММП.

Співставлення виміряних на супутниках та обчислених за нашою методикою середньогодинних значень  $V_y$  компоненти ММП дає задовільні результати.

На рисунку показано розподіл відхилень, що становлять різницю між значеннями  $V_y$ , обчисленими за даними обсерваторії Восток, та виміряними у грудні 1963 р., де  $n$  – число подій,  $\Delta V_y$  – відхилення поля в нТл.

Причини обчислених відхилень від спостережених значень  $V_y$  такі:

1. Вплив джерел варіацій інших типів.
2. Недостатньо точне визначення варіацій  $K_z$  та  $Z_0$  протягом доби, сезону та циклу сонячної активності.

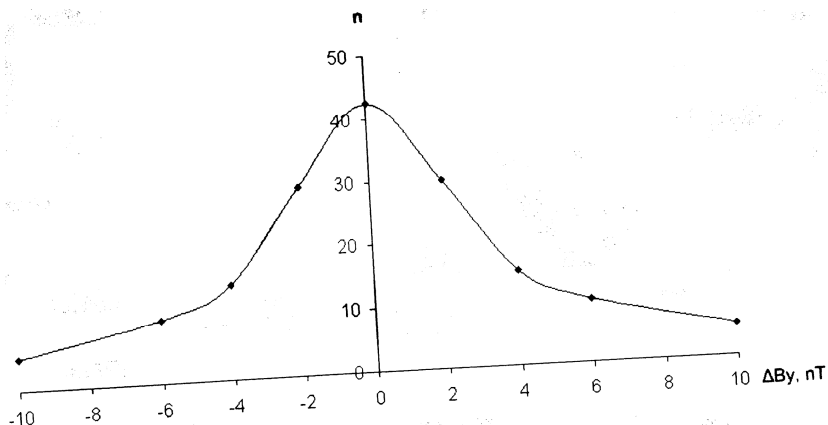


Рисунок. Розподіл відхилень обчислених значень  $V_y$  компоненти ММП за даними обсерваторії Восток від вимірених за грудень 1963 року.

### Висновки

Діагностику азимутальної компоненти міжпланетного магнітного поля можна проводити за допомогою лінійного рівняння регресії виду:

$$Z = K_z \cdot V_y + Z_0,$$

де  $Z$  – абсолютні значення вертикальної компоненти магнітного поля на антарктичній обсерваторії Восток, а  $Z_0$  – рівень відліку поля варіацій, залежних від азимутальної компоненти. Коефіцієнти  $K_z$  лінійно пов'язані з активністю Сонця, вираженою інтенсивністю випромінювання Сонця на частоті 2800 МГц. Рівень відліку поля варіацій  $Z_0$  можна обчислювати, інтерполюючи нічні абсолютні значення  $Z_0$  в зимові місяці, на будь-який місяць, враховуючи вікову варіацію поля і добову зміну  $Z_0$  та їх залежність від активності Сонця.

Діагностика найкраще справджується у приполюденні години місцевого літа. Діапазон часу, коли методика дає задовільні результати, обмежений 0–18-ма годинами СЧ в літній сезон і звужується з переходом у сезон рівнодення, а в зимовий сезон дорівнює нулю.

### Література

**Мансуров С.М.** Новые доказательства связи между полями космического пространства и Земли // Геомагнетизм и аэрономия. – 1969. – Т.9, №4. – С. 768–769.

**Сумарук П.В.,** Фельдштейн Я.И. Секторная структура межпланетного магнитного поля и вариаций в приполюсной области // Космические исследования. – 1973. – Т.11. – С. 155–160.

**Сумарук Ю.П.,** Сумарук П.В., Бахмутов В.Г. Варіації магнітного поля в Антарктиді і міжпланетне магнітне поле // Бюл. УАЦ. – 2000. – Вип.3. – С. 176–187.

**Фельдштейн Я.И.,** Ляцкая А.М., Сумарук П.В., Шевнина Н.Ф. Ионизация E-слоя ионосферы и вариации магнитного поля в приполюсной области // Геомагнетизм и аэрономия. – 1975. – Т.15, №6. – С. 1021–1027.

**King J.H.** Interplanetary magnetic field data 1963–1974 // WDC-A for STP. – 1975. – 385 P.

**Svalgaard L.** Sector structure of the interplanetary magnetic field and daily variation of the geomagnetic field of high latitudes // Danish Meteor. Inst. Geophys. papers R-6. – 1968. – P. 1–11.