

УДК 550.385.4

П. В. Сумарук, Т. П. Сумарук

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України, Київ

## Розділення геомагнітних варіацій в середніх широтах від іоносферних та магнітосферних джерел

*Доповідь на конференції 05.09.05*

Обчислено варіації геомагнітного поля в середніх широтах від магнітосферних та іоносферних джерел під час одинадцяти дуже великих магнітних бур. Оцінено відносні величини цих варіацій.

Геомагнітні варіації  $D$  генеруються магнітосферними та іоносферними струмами:

$$D = S_q + D_{CF} + DR + D_p + D_{PC},$$

де  $S_q$  — спокійна сонячно-добова варіація,  $D_{CF}$  — варіація від струмів на магнітопаузі,  $DR$  — варіація від кільцевого магнітосферного струму,  $D_p$  — варіація, пов'язана зі струмами в авроральній зоні і струмами розтікання їх у середні широти,  $D_{PC}$  — варіація від струмів у полярній шапці.

Іоносферними вважаються  $S_q$ -,  $D_p$ - та  $D_{PC}$ -варіації, а  $D_{CF}$ - та  $DR$ -варіації — магнітосфер-

ними [1]. В середніх широтах  $D_{PC}$ -варіація не проявляється [3, 4].

Для дослідження ми вибрали одинадцять дуже великих магнітних бур, які спостерігалися в роки, близькі до максимумів, або в максимумах сонячної активності на проміжку 1980—1992 рр. (див. таблицю). Використовувались також індекси магнітної активності в авроральній зоні (AE, AL, AU) та в низьких широтах ( $D_{st}$ ).

За рівень відліку варіацій поля вибрані середньогодинні значення  $S_q$  спокійної сонячно-доброї варіації по п'яти міжнародних спокійних днях (МСД) за відповідний місяць.

Доля варіації від магнітосферних та іоносферних струмів для дуже великих бур 21-го і 22-го циклів сонячної активності

Дата	Початок бурі	$D_{st}$ , нТл	DR, %	$D_{CF}$ , %	$D_{PC}$ , %
19—21 грудня 1980 р.	—	249	62	17	21
05—07 березня 1981 р.	05:30	220	71	17	12
11—14 квітня 1981 р.	13:35	291	74	14	12
01—03 березня 1982 р.	11:35	219	72	11	17
13—16 липня 1982 р.	—	338	65	19	16
05—07 вересня 1982 р.	22:50	303	66	20	14
04—06 лютого 1983 р.	16:20	169	55	18	27
13—16 березня 1989 р.	01:27	559	66	18	16
24—27 березня 1991 р.	03:42	298	62	20	18
08—10 липня 1991 р.	—	198	55	23	22
09—12 травня 1992 р.	20:40	297	62	22	16
середнє			65	18	17

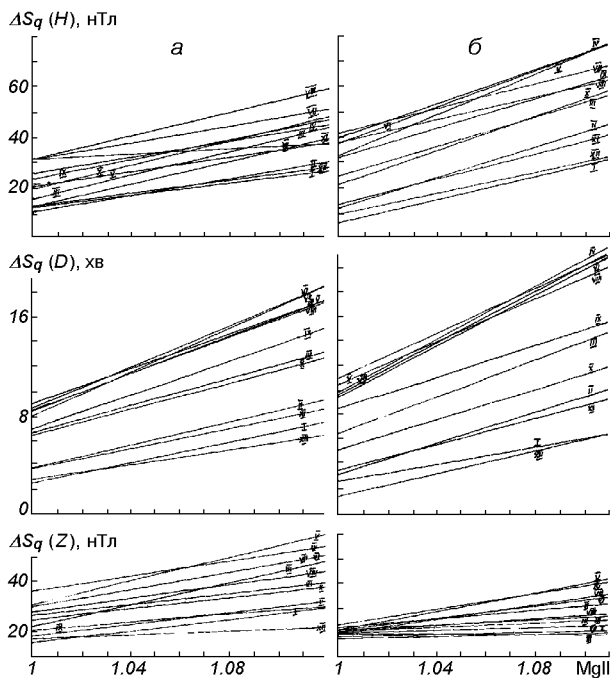


Рис. 1. Зміни амплітуд  $S_q$ -варіацій на магнітних обсерваторіях «Львів» (а), та «Восійково» (б) в залежності від величини індексу Mg II. Римські цифри — відповідні місяці року

Амплітуди  $S_q$ -варіацій змінюються із зміною сезону та сонячної активності. На рис. 1 показані зміни амплітуд  $S_q$ -варіацій на магнітних обсерваторіях «Львів» (а), та «Восійково» (б) в горизонтальній (H), вертикальній (Z) складових та схиленні (D) за кожен місяць в залежності від нормованого на мінімум індексу Mg II [5] (індекс Mg II характеризує інтенсивність ультрафіолетового випромінювання Сонця, яке підсилюється із збільшенням сонячної активності).

Видно, що амплітуди  $\Delta S_q$  лінійно збільшуються із збільшенням сонячної активності, а також з переходом від зими до літа.

Значення варіації під час бурі обчислювалось як різниця абсолютних середньогодинних значень горизонтальної складової поля та відповідних значень поля по п'яти МСД ( $H - S_q$ ). Таким чином була виключена  $S_q$ -варіація. Варіації  $D_{CF}$  поля від струмів на магнітопаузі були знайдені по моделі Міда [7]. На рис. 2 показані зміни  $D_{CF}$ -варіацій на обсерваторії «Львів» в трьох компонентах поля в залежності від місцевого часу для цілих значень  $r_b$ , де  $r_b$  — віддаль до

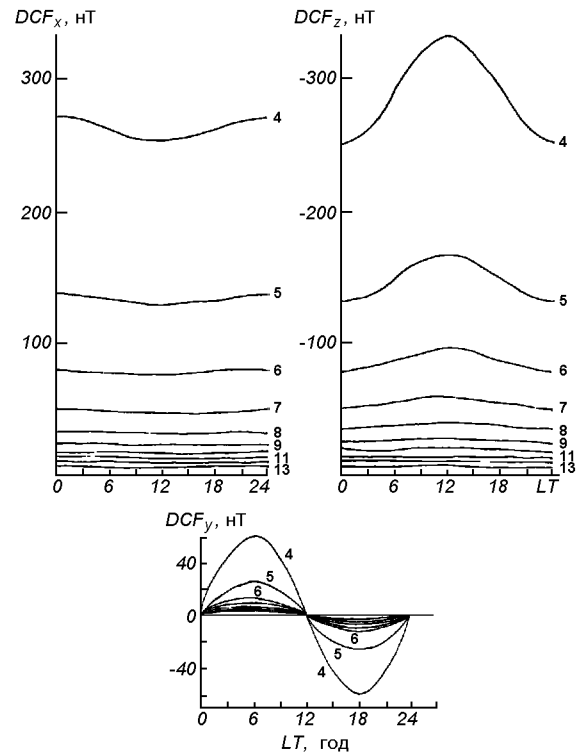


Рис. 2. Залежність величини  $D_{CF}$ -варіацій на магнітній обсерваторії «Львів» від місцевого часу для цілих значень  $r_b$  (числа біля кривих)

підсонячної точки магнітопаузи в радіусах Землі. Величина  $r_b$  визначається за параметрами плазми сонячного вітру. Оскільки параметри плазми сонячного вітру швидкість та густина відомі лише для декількох із досліджуваних нами бур, то величини  $r_b$  були знайдені для них, а для інших визначені методом інтерполяції в припущенні, що  $r_b$  залежить від  $D_{st}$ -індексу лінійно. За обчисленими таким способом  $r_b$  знайдено середньогодинні значення  $D_{CF}$ -варіації. Значення варіацій від кільцевого магнітосферного струму в середніх широтах можна визначити, помноживши  $D_{st}$  на  $\cos\Phi$  ( $\Phi$  — геомагнітна широта обсерваторії; для станції «Львів»  $\Phi = 48^\circ$ ).

На рис. 3 показано зміни  $H - S_q$  (точки),  $D_{st} \cos \Phi$ ,  $D_{CF}$  та різниця  $D_p = (H - S_q) - D_{st} \cos \Phi - D_{CF}$  (хрестики) для дуже великої бурі з раптовим початком (SSC) в 22.50 UT 5—7 вересня 1982 р. Максимальне значення  $D_{st} = 303$  нТл на

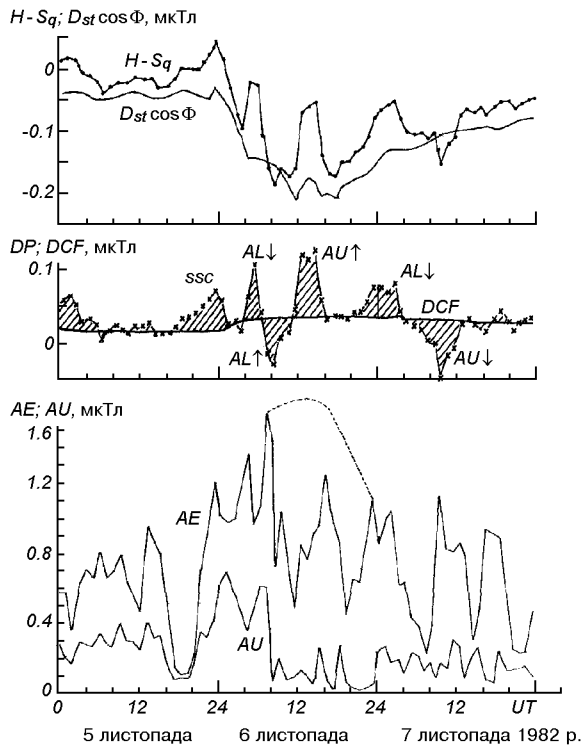


Рис. 3. Зміни  $H - S_q$  (точки),  $D_{st}\cos\Phi$ ,  $D_{CF}$  та  $D_p$ -складових магнітного поля під час дуже великої магнітної бурі 5—7 вересня 1982 р. AE- і AU-індекси — дві нижні криві

екваторі спостерігалось 6 вересня о 12 год UT. Значення  $D_p$  — заштриховані. Варіації  $D_p$  генеруються авроральними іоносферними електроструменями, та їхніми зворотними струмами в середні широти. О 22—24 год UT  $D_p$ -варіація — додатна, а її максимум 55 нТл, очевидно, зв'язаний з SSC бурі. О 03 год UT 6 вересня різко підсилюється західний авроральний електрострум, збільшується AL-індекс, розвивається кільцевий магнітосферний струм. На рис. 3 внизу показані AE- і AU-індекси. AL-індекс можна обчислити, віднявши від AU-індексу AE. Збільшення AL-індексу веде до посилення зворотних струмів від західного іоносферного електроструменя (додатні значення  $D_p$ ). Максимальне значення  $D_p = 77$  нТл спостерігається о 06 год UT (позначено AL з напрямленою вниз стрілкою). Подальше посилення кільцевого струму до

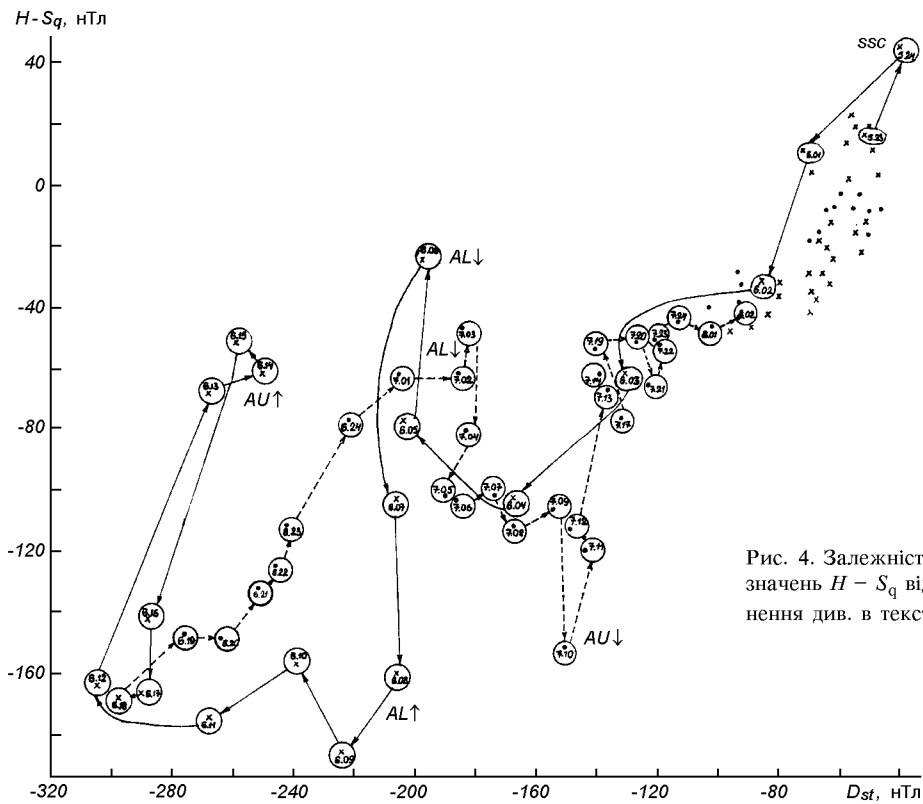


Рис. 4. Залежність середньогодинних значень  $H - S_q$  від  $D_{st}$ -індексу. Пояснення див. в тексті

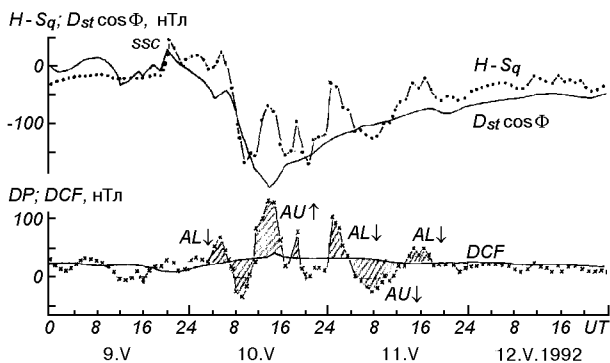


Рис. 5. Зміни  $H - S_q$ ,  $D_{st} \cos \Phi$ ,  $D_{CF}$  та  $D_P$ -складових магнітного поля під час дуже великої бурі 9—12 травня 1992 р. Позначення такі ж, як на рис. 3

303 нТл призвело до зсуву авроральних електроструменів у нижчі широти [2]. О 08—09 год UT  $D_P = -69$  нТл — це результат прямої дії західного аврорального електроструменя (позначено AL і напрямленою вверх стрілкою). В 13—14 год UT спостерігається додатна бухта — генерована східним авроральним електроструменем (позначено AU з напрямленою вгору стрілкою). У цей час значення AE, AU і AL-індексів різко зменшується. Таке зменшення, очевидно, зв'язане не зі зменшенням сили струму в східному електрострумені, а зсувом його на південь, тобто ланцюжок обсерваторій, за даними яких вираховуються індекси, не реєструє максимуму струму, оскільки він перебуває у нижчих широтах [6]. На рис. 3 можливі значення AE і AU в цей час нанесені пунктирною лінією. Надалі кільцевий струм слабне, авроральні електрострумені переміщуються на північ і магнітометри на станції «Львів» реєструють в нічні години (01 год UT 7 вересня) додатну бухту, а в денні — від'ємну.

Такий хід подій під час цієї бурі добре ілюструє рис. 4. На ньому показана залежність середньогодинних значень  $H - S_q$  від відповідних значень  $D_{st}$ -індексу на екваторі. На початковій фазі і фазі розвитку бурі значення  $H - S_q$  взяті в кружки, в які вписані дати і години UT подій. Послідовні події сполучені суцільними стрілками. На фазі спаду бурі події позначені хрестиками, поряд з якими вказано час події. Назви відповідних джерел варіацій нанесені рядом з

моментами їхнього проходження. Послідовні події сполучені пунктирними стрілками. Такий же детальний аналіз зроблено для всіх одинадцяти бур.

На рис. 5 показані результати аналізу для дуже великої бурі 9—12 травня 1992 р. Для цієї бурі не були опубліковані AE-, AU-, AL-індекси, тому можна перевірити достовірність нашої інтерпретації варіацій від різних джерел. Проведений аналіз дозволяє одержати числові значення величин варіацій від магнітосферних та іоносферних джерел. В таблиці показано процентне співвідношення цих величин під час кожної бурі, середні значення їх та максимальні значення  $D_{st}$  під час кожної бурі.

Як бачимо, близько вісімдесяти процентів іррегулярних варіацій магнітного поля в середніх широтах під час магнітних бур генеруються магнітосферними джерелами, і тільки п'ята частина їх має іоносферне походження.

1. Акасофу С.-И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. — М.: Мир, 1975.—231 с.
2. Сумарук П. В., Сумарук Ю. П. Индексы магнитной активности AE во время магнитной бури // Геофиз. журн.—1994.—16, № 4.—С. 51—53.
3. Сумарук П. В., Фельдштейн Я. И. Вариации магнитного поля в полярной шапке. Суббури и возмущения в магнитосфере. — М.: Наука, 1975.—С. 170—188.
4. Фельдштейн Я. И. Вариации магнитных полей в межпланетном пространстве и на поверхности Земли // Вестник АН СССР.—1973.—№ 8.—С. 532—538.
5. DeLand M. T., Gebula R. P. Composite Mg II solar activity index for solar cycles 21 and 22 // J. Geophys. Res.—1993.—98 D, N 7.—P. 12809—12823.
6. Feldstein Y. I., Gromova L. I., Grafe A., et al. Auroral electrojet dynamics during magnetic storms, connection with plasma precipitation and large-scale structure of magnetospheric magnetic field // Ann. Geophys.—1999.—17.—P. 497—507.
7. Mead G. D. Deformation of the geomagnetic field by solar wind // J. Geophys. Res.—1964.—69, N 7.—P. 1181—1196.

#### SEPARATION OF THE GEOMAGNETIC VARIATIONS AT THE MIDDLE LATITUDES PRODUCED BY IONOSPHERIC AND MAGNETOSPHERIC SOURCES

P. V. Sumaruk, T. P. Sumaruk

We calculated middle latitude variations of the geomagnetic field which are generated by ionospheric and magnetospheric sources during eleven great magnetic storms. Related values of the components of these variations are evaluated.