

УДК 523.62

В. М. Решетник

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Про роль GSM-складової геліосферного магнітного поля у формуванні аврорального потоку

Надійшла до редакції 29.06.04

Проведено аналіз варіацій потоку енергії у північний та південний авроральні овали у зв'язку зі змінами напрямку геліосферного магнітного поля в околицях Землі за період 1978—2001 рр. Підтверджено зростання авроральної активності при південному спрямуванні вектора індукції $B_z < 0$. Виявлено асиметричний розподіл середніх значень B_z складової в площині XY GSM-системи. Встановлено, що середня активність полярних сьйв для обох півкуль є вищою, коли $B_x > 0$ при північному спрямуванні міжпланетного магнітного поля (ММП). В різних півкулях зростання авроральної активності спостерігається при різних знаках B_y -складової ММП. Активність авроральних явищ залежить від сезону і досягає максимуму в періоди рівнодень. В зимовий період залежність полярних сьйв від азимутальної складової є меншою, ніж у літній.

ВСТУП

Міжпланетне магнітне поле (ММП) контролює, як відомо, процеси в магнітосферах планет. Полярні сьйва, як невід'ємне явище магнітосфер дуже чутливі до напрямку та величини ММП [4, 8]. Ряд досліджень показали вплив складових ММП на активність полярних сьйв, положення та рух аврорального овалу [4, 6]. Також вказується на сезонний хід отриманих залежностей. Різні частини овалу відчують вплив напрямку міжпланетного поля також дещо різним чином [1, 10].

Полярні сьйва чутливі до впливу B_y (азимутальної) складової ММП [3, 5, 10]. Спостерігається збільшення швидкості руху окремих форм полярних сьйв при збільшенні $|B_y|$ [13]. Більшість дослідників інтерпретують вказані залежності частковим проникненням ММП з сонячного вітру у магнітосферу [12], що призводить до реконструкції магнітосферних струмових систем. Ряд дослідників знайшли вплив B_x (радіальної) складової ММП на авроральні арки [7] та на авроральний овал в цілому [9, 11].

Однак до цього часу переважно вивчалась залежність полярних сьйв від міжпланетного поля без врахування сезону року, або лише як функція B_z складової міжпланетного поля. Слід відзначити також, що більшість робіт стосуються разових подій або окремого конкретного явища в авроральному овалі. Тому детальніше дослідження поведінки аврорального овалу залежно від азимутальної орієнтації ММП на великому спостережному матеріалі залишається актуальним і саме цьому присвячена наша робота.

Складові B_x та B_y ММП чітко антикорелюють в класичній моделі спірального поля, але реально напрям вектора міжпланетного поля суттєво хаотизований, хоча в середньому він і лежить вздовж спіралі з кутом близько 45° до орбіти Землі. Нижче ми досліджуємо поведінку авроральної активності від напрямку азимутальної складової ММП за даними спостережень.

Активність полярних сьйв сильно залежить від провідності іоносфери, яка в свою чергу має помітний сезонний хід. Тому для зменшення впливу сезонних ефектів часто вивчається вплив напрямку

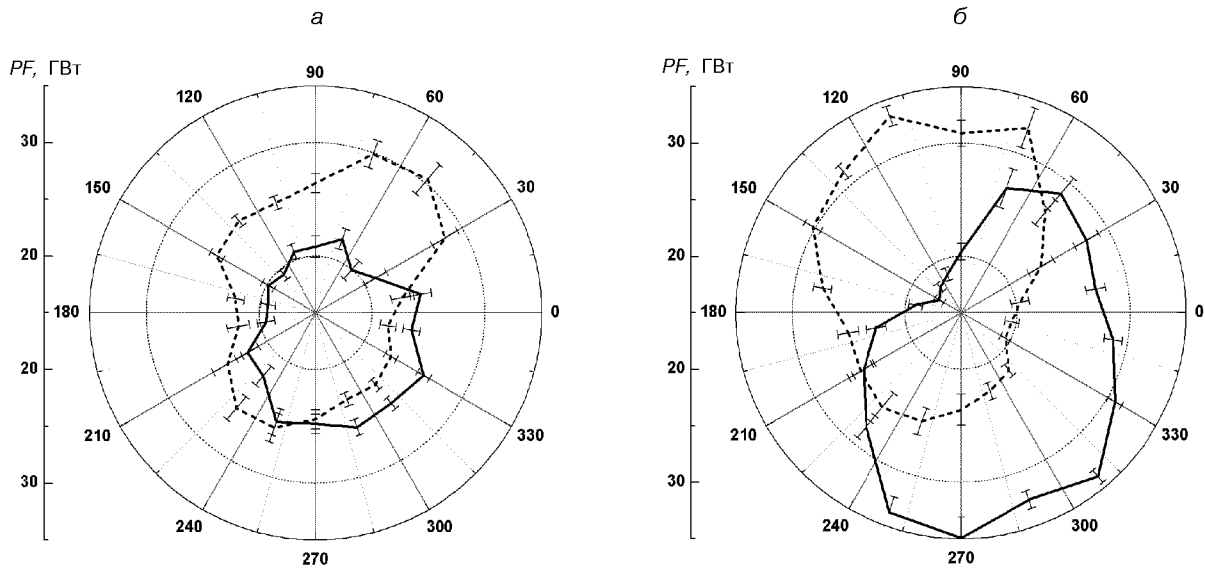


Рис. 1. Енергопотік у північний овал в залежності від азимутального напрямку ММП: *a* — для сонцестоянь (пунктир — зимове, суцільна лінія — літнє), *б* — для рівнодень (пунктир — осіннє, суцільна лінія — весняне)

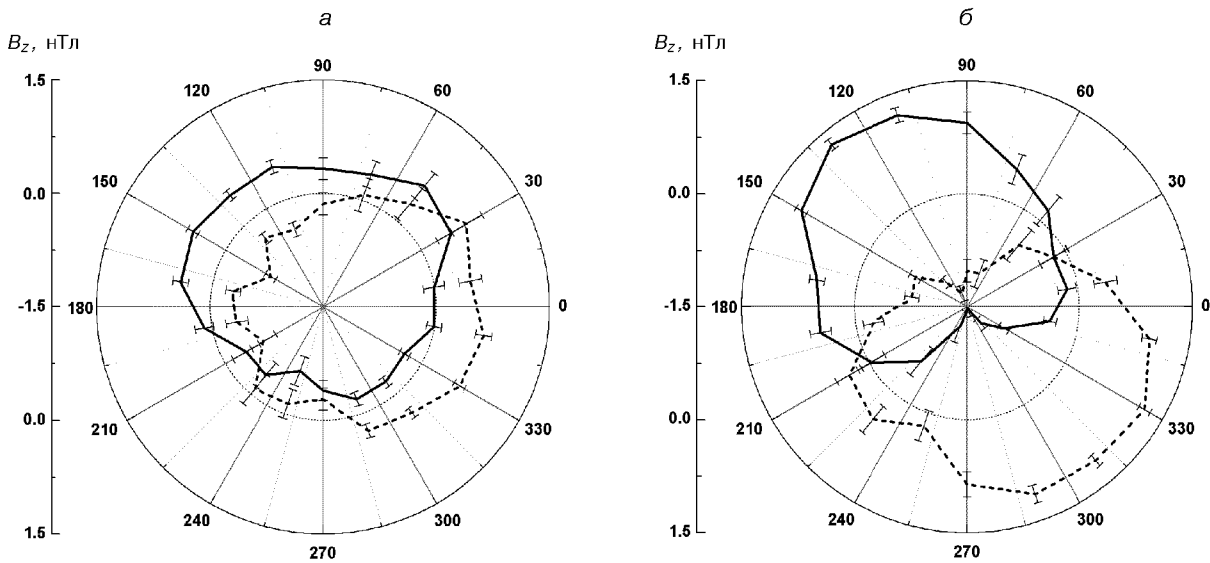


Рис. 2. B_z -складова ММП в залежності від азимутального напрямку ММП: *a* — для сонцестоянь (пунктир — зимове, суцільна лінія — літнє), *б* — для рівнодень (пунктир — осіннє, суцільна лінія — весняне)

ММП на аврору для окремих пір року. Тут ми також провадимо сепарацію за сезонами.

ДАНІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА ЇХНЯ ОБРОБКА

За характеристику авроральних явищ було обрано енергопотік (PF-індекс) у межах північного та

південного овалів. Добре відомо, що активність полярних сьайв пов'язана з енергетичним потоком у межах аврорального овалу (PF), що вноситься частинками, які висипаються. Цей потік, що пропорційний оптичній яскравості овалу на ультрафіолетових зображеннях, визначався на основі спостережень полярних супутників NOAA POES (<http://sec.noaa.gov/ftpdir/lists/hpi/>). Висота по-

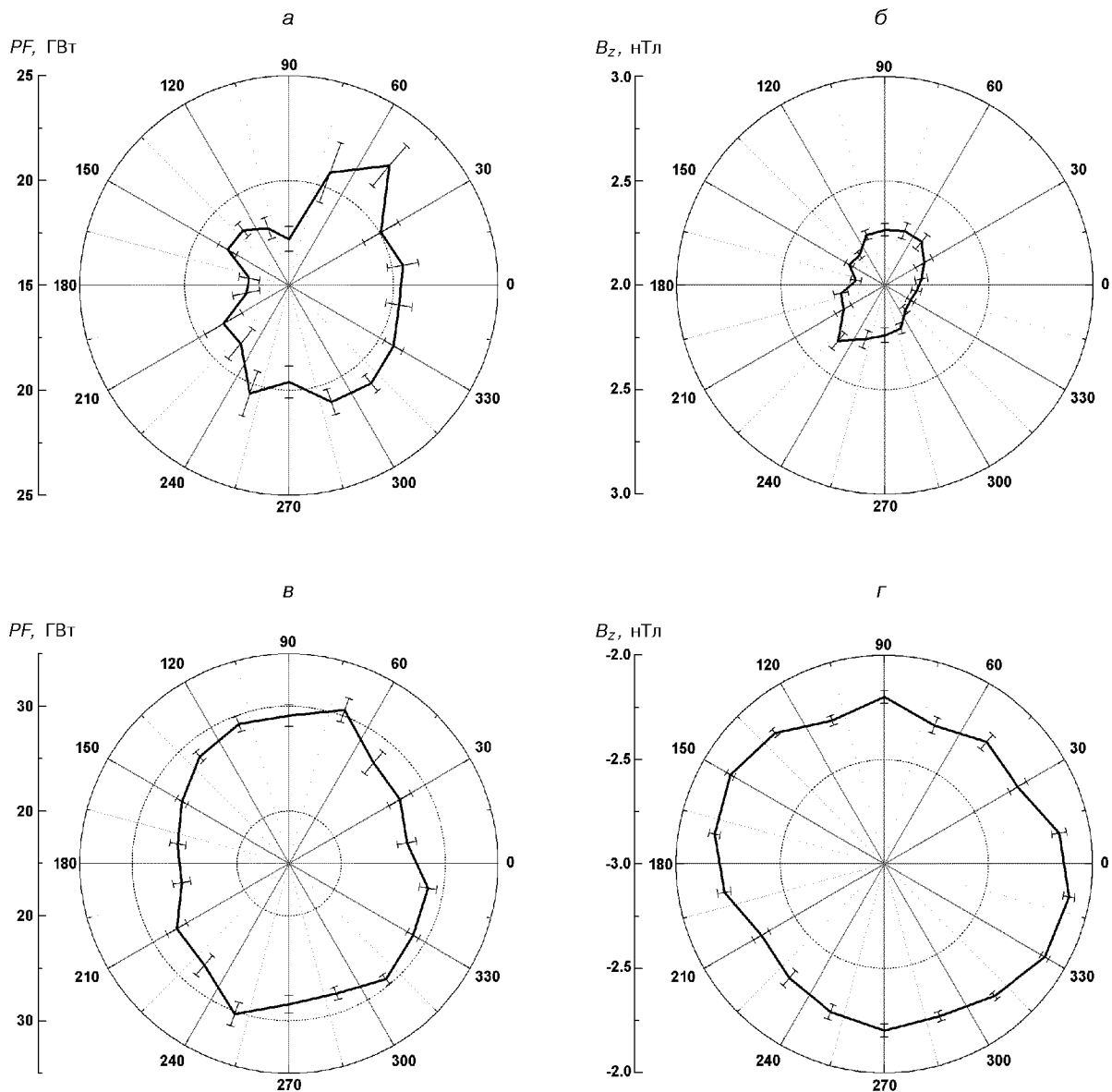


Рис. 3. Енергопотік в північний овал та B_z -складова ММП: а, б — для слабких північних полів ($1 < B_z < 4$ нТл), в, г — для слабких південних полів ($-4 < B_z < -1$ нТл)

лярної орбіти космічних апаратів складає 850 км з нахилом 98° , період обертання 102 хв. Наявні дані для північного та південного овалів надають унікальну можливість порівняння процесів у різних півкулях. Спостереження подаються з інтервалом в одну-дві години, в залежності від моменту проходження супутника над овалом. Використовувались результати вимірювань за період з 1978 по 2001 рр.

Стан міжпланетного магнітного поля був отриманий з електронної бази даних OMNI (<http://dbserv.npi.msu.su/data/release2/omnionline.html>), основою для якої слугували спостереження з IMP8. Супутник IMP8 (Interplanetary Monitoring Platforms) був запущений 26 жовтня 1973 року. Він має орбіту на геоцентричних відстанях від 25 до $45R_3$ із середнім значенням $35R_3$ і проводить вимі-

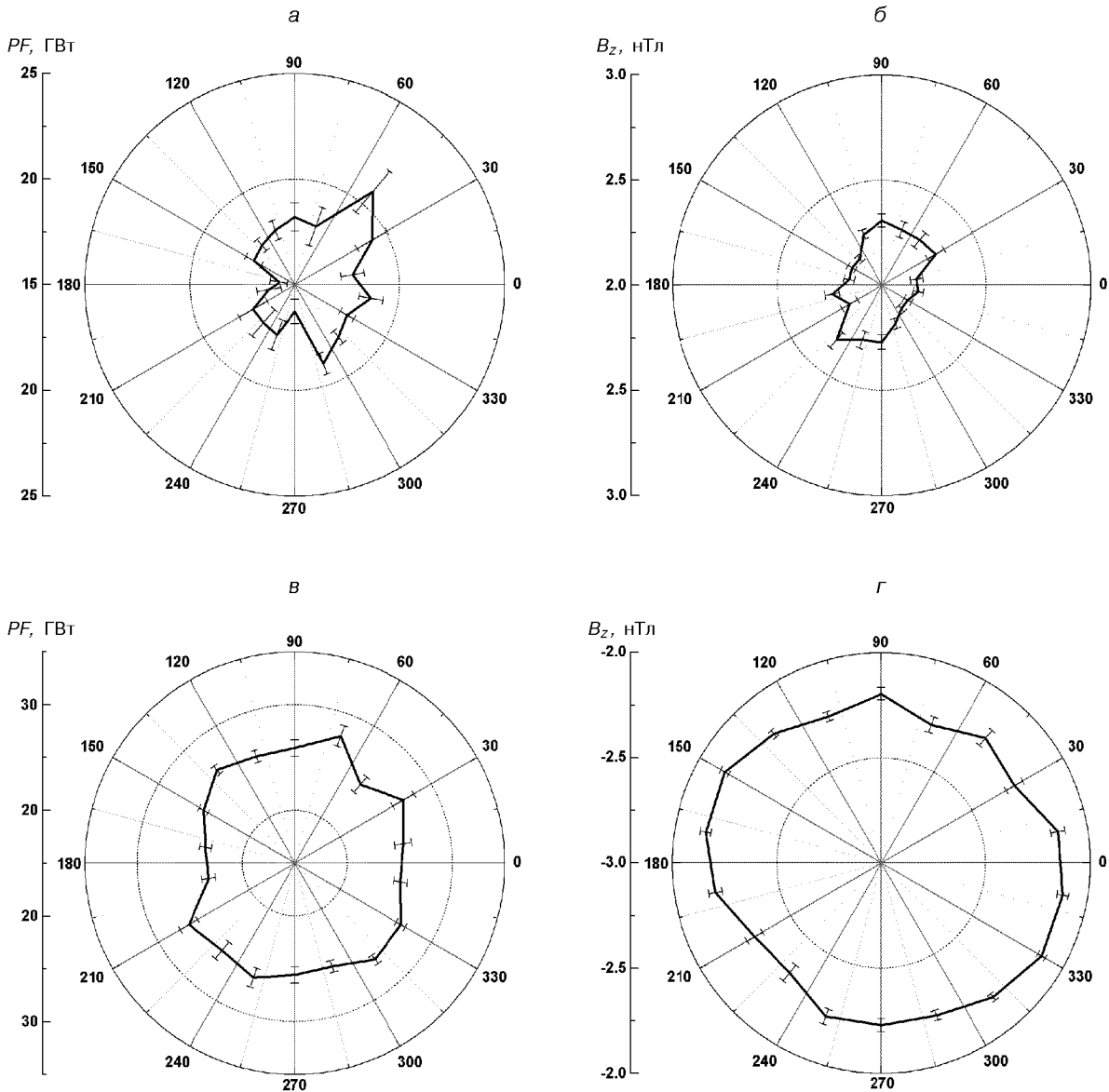


Рис. 4. Енергопотік в південний овал та B_z -складова ММП: а, б — для слабких північних полів ($1 < B_z < 4$ нТл), в, г — для слабких південних полів ($-4 < B_z < -1$ нТл)

рювання стану сонячного вітру поблизу орбіти Землі. Завдяки такій геометрії власної орбіти IMP8 перебуває більше ніж 60 % часу за межами магнітосфери, а решту — у магнітошарі та у внутрішніх частинах магнітосфери. IMP8 є оберально стабілізованим супутником у якого вектор кутового обертання спрямований перпендикулярно до площини екліптики і має період обертання 24 об/хв.

На IMP8 використовувався тривісний котушко-

вий магнітометр. Рівень шумів датчиків складає 0.025 нТл, тоді як рівень дискретизації ± 0.14 нТл. Були використані щогодинні усереднення з центруванням на середину години всесвітнього часу. Компоненти ММП представлені в геоцентричній сонячній магнітосферній системі (GSM). Вісь X спрямована вздовж лінії Земля — Сонце, вісь Z лежить в площині осі X та осі магнітного диполя Землі, вісь Y утворює праву трійку координатних векторів і

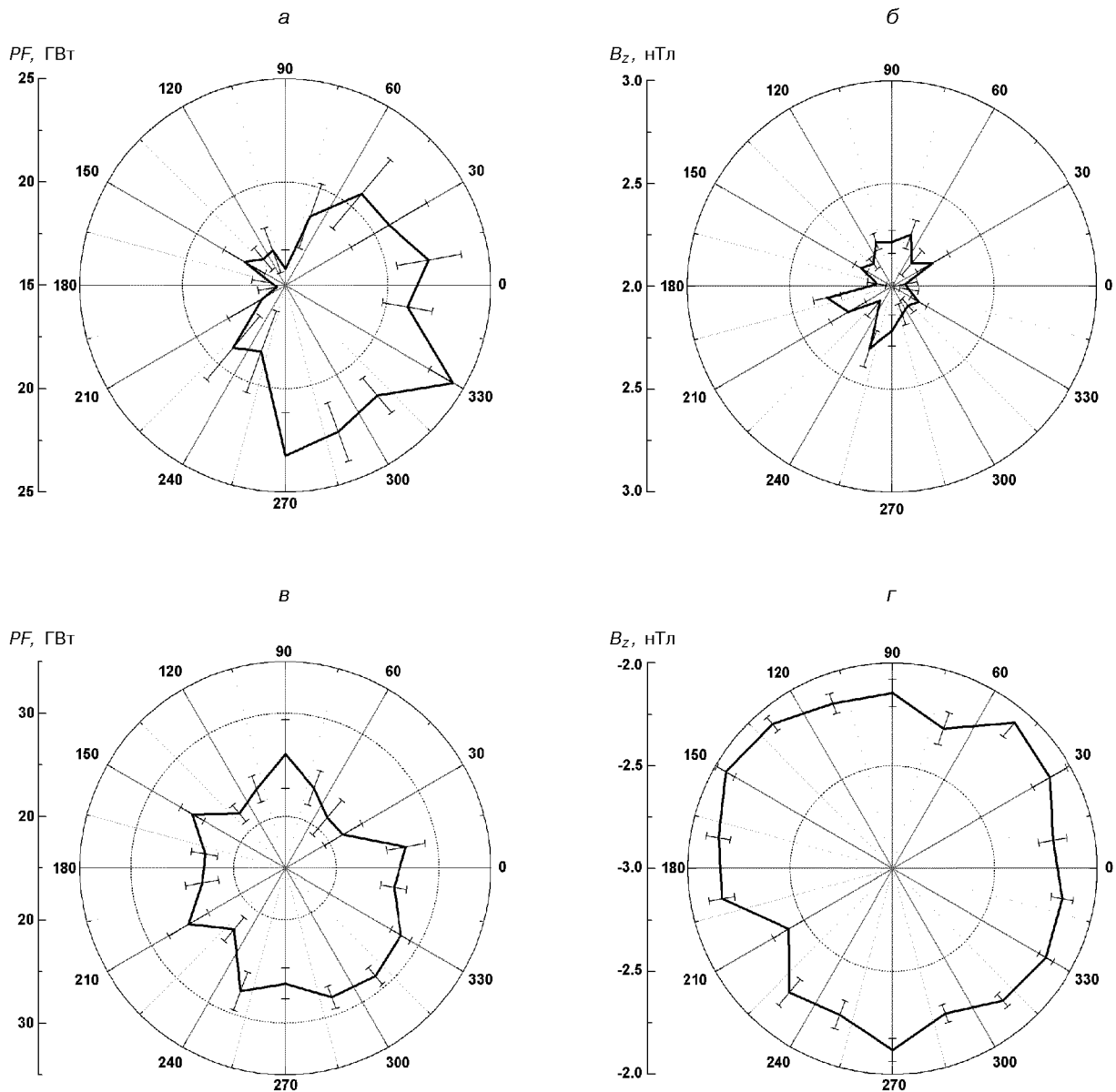


Рис. 5. Енергопотік в північний овал та B_z -складова ММП протягом літнього сонцестояння: а, б — для слабких північних полів ($1 < B_z < 4$ нТл), в, г — для слабких південних полів ($-4 < B_z < -1$ нТл)

лежить у площині, близькій до площини екліптики.

Для кожного виміру вектора \mathbf{B} ми отримали азимутальний кут $\varphi = \arctg(B_y/B_x)$. Кут φ відраховується від напрямку на Сонце ($\varphi = 0$) проти годинникової стрілки в площині XY системи GSM, вид з півночі.

Аналізувались два ряди спостережень: авроральний енергопотік та величина ММП. Вибрані від-

повідні виміри з різницею в часі не більше півгодини. Таким чином отримали набір пар даних: величина азимутального кута φ та енергопотік PF для різних моментів часу. Надалі весь набір даних розбивався за значеннями φ на 18 двадцятиградусних секторів. Усі виміри PF з відповідними азимутальними кутами φ у межах кожного двадцятиградусного сектора усереднювались. Результати пред-

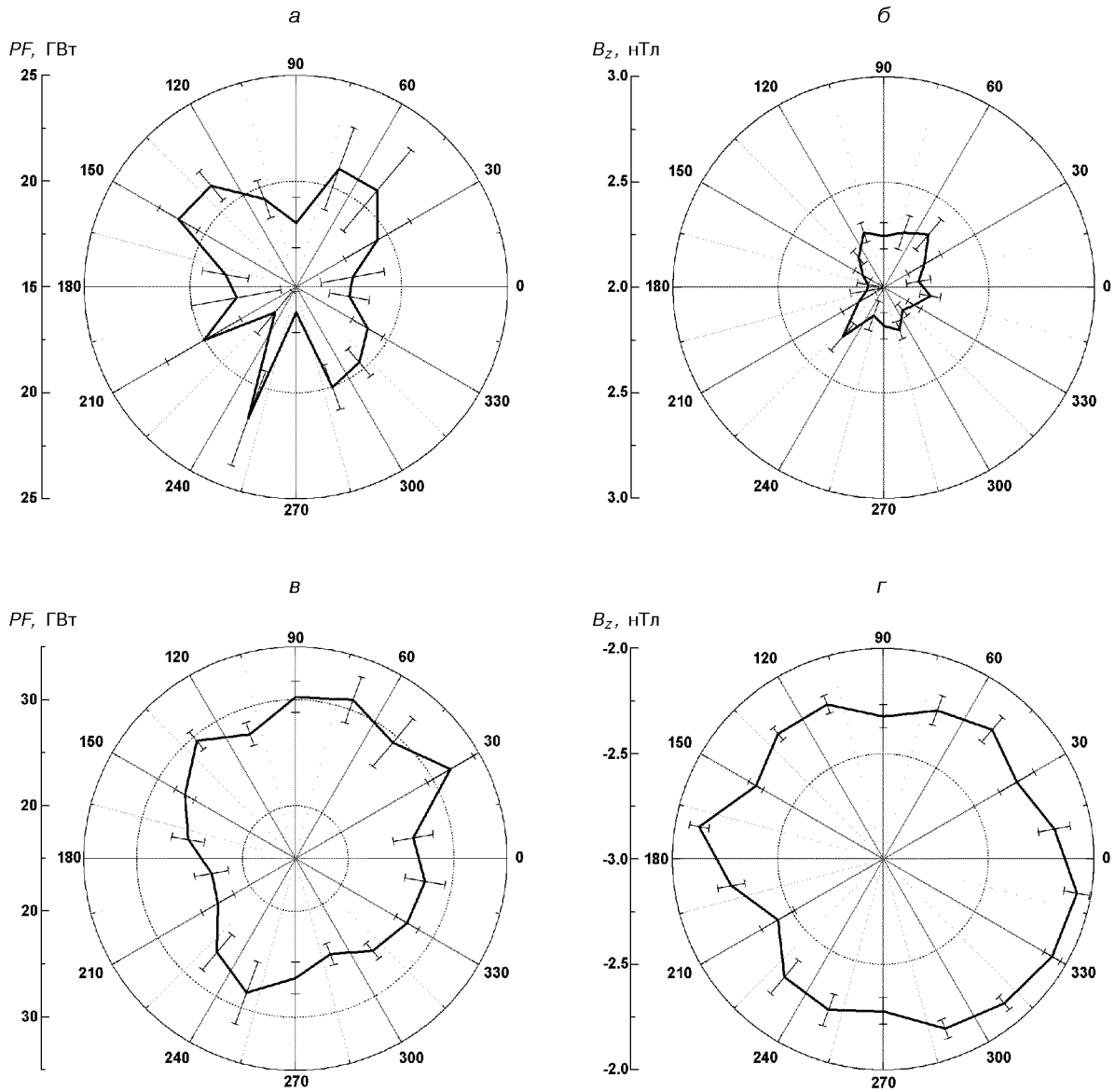


Рис. 6. Енергопотік в північний овал та B_z -складова ММП протягом зимового сонцестояння: а, б — для слабких північних полів ($1 < B_z < 4$ нТл), в, г — для слабких південних полів ($-4 < B_z < -1$ нТл)

ставлені на полярних діаграмах, де полярний кут — азимутальний кут вектора ММП φ , полярний радіус — величина середньої авроральної активності (PF). Нуль-пункт шкали зміщений для виділення варіацій вибраного параметра. Довірчий інтервал, вказаний на графіках, складає $\pm\sigma$ (середня похибка середнього арифметичного). Проводилась сепарація за сезонами з центровою на рівнодення та сонцестояння.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Залежність $PF(\varphi)$ для різних сезонів представлена на рис. 1. Помітна сильна асиметрія може бути пояснена не лише впливом азимутальної складової вектора ММП, а нерівномірним розподілом інших характеристик сонячного вітру.

На рис. 2 наведена залежність B_z -складової ММП від азимутального кута φ за період з 1978 по

2001 рр. Розподіл B_z складової в системі GSM теж не є ізотропним. Як відомо, південне спрямування B_z найбільш геоєфективне; тут воно відповідає від'ємним значенням B_z . Отже, мінімуми середніх значень B_z мають відповідати максимумам авроральних проявів. На рис. 2, б асиметрія розподілу B_z протилежна до асиметрії $PF(\varphi)$ (рис. 1, б) для весняного та осіннього рівнодень. Для зимового та літнього сонцестоянь (рис. 2, а) залежність B_z не є настільки рельєфною, але відповідає невеликій асиметрії PF -індексу (рис. 1, а). Таким чином, можна стверджувати, що залежність $PF(\varphi)$ головним чином спричинена B_z -складовою ММП.

Для зменшення впливу B_z складової ми провели сепарацію вхідних даних: до обробки брались лише виміри у яких B_z -складова лежить в діапазонах $1 < B_z < 4$ нТл та $-4 < B_z < -1$ нТл.

На рис. 3, а, в наведені залежності PF -індексу для північної півкулі від азимутального кута φ для слабких північних та південних полів. Розподіли B_z складової представлені на рис. 3, б, г які є досить симетричними, тому можна стверджувати, що вплив B_z складової майже виключено. Проте залежність $PF(\varphi)$ для північних B_z є суттєво асиметричною, і максимальні потоки PF спостерігаються, коли вектор ММП лежить в четвертому квадранті, тобто коли в середньому $B_x > 0$ та $B_y < 0$. При південних B_z розподіл $PF(\varphi)$ є майже симетричним, хоча і спостерігається слабка тенденція до зростання авроральної активності, коли вектор ММП знаходиться в четвертому квадранті. Подібні залежності спостерігаються і для південної півкулі (рис. 4). Але на відміну від північної півкулі, енергопотік збільшується при середніх $B_y > 0$ та $B_x > 0$. Ефекти впливу B_y складової протилежні в північному та південному овалах, що збігається з теоретичними дослідженнями [2]. Розподіл $B_z(\varphi)$ є симетричним з відхиленнями в межах 0.1 нТл.

Отримані вище залежності є синтетичними, тобто акумулюють усі пори року. Ми провели сепарацію даних за сезонами і отримали залежності $PF(\varphi)$ для двох періодів: літнього (рис. 5) та зимового (рис. 6); на цих рис. також наведена поведінка $B_z(\varphi)$. Асиметрія B_z складової не є великою, що виключає її безпосередній вплив. Для літнього сонцестояння при слабких північних полях (рис. 5, а) спостерігається явна асиметрія $PF(\varphi)$. Коли вектор ММП лежить в четвертому квадранті, PF -індекс збільшується майже на 50 %. Подібна, але не настільки велика асиметрія є для південних полів (рис. 5, в), що може вказувати на вплив азимутальної складової ММП навіть при невеликих

південних B_z для літнього періоду. Для зимового сонцестояння авроральна активність зростає, коли вектор ММП спрямований у перший квадрант, особливо для слабких південних полів (рис. 6, в). Можна підкреслити сезонну зміну асиметрії залежності $PF(\varphi)$, яка змінюється симетрично відносно осі X . Протягом зими PF -індекс зростає при $B_y > 0$, для літа маємо збільшення при $B_y < 0$. Але ступінь асиметрії в зимовий період є меншим.

Ці результати узгоджуються з теоретичними роботами [2]. Оскільки деформація полярного каспу при фіксованому значенні поля B_y максимальна в літні місяці і мінімальна в зимові, це може бути пов'язане із сезонним ходом провідності іоносфери, бо інтенсивність струмових систем у кожній півкулі пропорційна добутку електричного поля, пов'язаного з B_y -складовою, та провідності іоносфери.

ВИСНОВКИ

1. Отримано середній розподіл B_z -складової ММП у залежності від азимутального кута вектора міжпланетного поля за період з 1978 по 2001 рр. Виявлена асиметрія розподілу B_z , яка проявляє сезонні зміни.

2. Проведено статистичне дослідження варіацій аврорального енергопотіку в залежності від напрямку азимутальної складової ММП в обмежених інтервалах B_z індукції. Встановлено, що при невеликих північних полях середня авроральна активність для обох півкуль є вищою, коли $B_x > 0$. В північній та південній півкулях відносно збільшення аврорального енергопотіку відповідає протилежним знакам B_y -складової.

3. Активність авроральних явищ залежить не лише від напрямку та величини ММП, але і від пори року. Загальна активність мінімальна у періоди сонцестоянь і максимальна — у періоди рівнодень. У період літнього сонцестояння середня активність полярних сьйв зростає на 25 % при $B_x > 0$ та $B_y < 0$, тоді як під час зимового сонцестояння збільшення активності на 15 % спостерігається при $B_x > 0$ та $B_y > 0$. При цьому ступінь асиметрії середньої авроральної активності у представленні на полярних діаграмах $PF(\varphi)$ взимку є меншою, ніж влітку. Асиметрію сезонних проявів, пов'язану з B_y -складовою, можна пояснити відповідною реконструкцією систем струмів у магнітосфері.

1. Воробьев В. Г., Зверев В. Л. Влияние компонентов межпланетного магнитного поля на положение овала сияний в

- днемном секторе // Полярные сияния и свечение ночного неба.—1981.—№ 28.—С. 21—24.
2. Леонтьев С. В. Влияние Y-составляющей межпланетного магнитного поля на положение полярных каспов // Геомагнетизм и аэрномия.—1975.—15, № 3.—С. 569—571.
 3. Решетник В. М., Дзюбенко М. І., Івченко В. М. Морфологія геліосферного магнітного поля і авроральний енергопотік // Кинематика и физика небес. тел.—2003.—19, № 6.—С. 560—568.
 4. Старков Г. В. Планетарная динамика аврорального свечения // Физика околоземного космического пространства. — Апатиты, 2000.—С. 409—499.
 5. Старков Г. В., Фельдштейн Я. И., Шевнина Н. Ф. Связь секторной структуры межпланетного магнитного поля с активностью полярных сияний // Геомагнетизм и аэрномия.—1973.—13, № 5.—С. 949—951.
 6. Cumnock J. A., Sharber J. R., Heelis R. A., et al. Evolution of the global aurora during positive IMF B_z and varying IMF B_y conditions. // J. Geophys. Res.—1997.—102, N A8.—P. 17489—17497.
 7. Elphinstone R. D., Jankowska K., Murphree J. S., Cogger L. L. The configuration of the auroral distribution for interplanetary magnetic field B_z northward. I IMF B_x and B_y dependencies as observed by the Viking satellite // J. Geophys. Res.—1990.—95, N 5.—P.5791—5804.
 8. Lassen K., Danielsen C. Quiet time pattern of auroral arcs for different directions of the interplanetary magnetic field in the Y-Z plane // J. Geophys. Res.—1978.—83, N 11.—P. 5277—5284.
 9. Liou K., Newell P. T., Meng C.-I, et al. Characteristics of the solar wind controlled auroral emissions // J. Geophys. Res.—1998.—103, N 8.—P. 17543—17558.
 10. Shue J.-H., Newell P. T., Liou K., Meng C.-I. Influence of interplanetary magnetic field on global auroral patterns // J. Geophys. Res.—2001.—106, N A4.—P. 5913—5926.
 11. Shue J.-H., Newell P. T., Liou K., et al. Interplanetary magnetic field B_x asymmetry effect on auroral brightness // J. Geophys. Res.—2002.—107, N A8.—P. 1197—1208.
 12. Wing S., Newell P. T., Sibeck D. G., Baker K. B. A large statistical study of the entry of interplanetary magnetic field Y-component into the magnetosphere // Geophys. Res. Lett.—1995.—22.—P. 2083—2086.
 13. Zhang Y., McEwen D. J., Cogger L. L. Interplanetary magnetic field control of polar patch velocity // J. Geophys. Res.—2003.—108, N A5.—P. 1640—1649.

**THE ROLE OF THE GSM-COMPONENTS
OF THE GELIOSPHERIC MAGNETIC FIELD
IN THE FORMATION OF AURORAL POWER FLUX**

V. M. Reshetnyk

We analysed variations of the polar flux in northern and southern ovals in connection with changes of the direction of the geliospheric magnetic field near the Earth from 1978 to 2001. The increase of the auroral activity at southern orientation of the interplanetary magnetic field ($B_z < 0$) is confirmed. An asymmetric distribution of average values of the B_z -component in the XY-plane of the GSM-system is revealed. We found that the average activity of polar lights for both hemispheres is higher when $B_x > 0$ under the northern orientation of the interplanetary magnetic field. For different hemispheres, the increase of the auroral activity is observed under different signs of the B_y -component of the interplanetary magnetic field. The seasonal variations of the auroral activity is revealed, namely, auroral power flux is maximum during equinoxes. The dependence of the auroral activity on azimuthal component of the interplanetary magnetic field decreases in winter and increases in summer.