

14. Токий В.В., Ефименко В.М., Токий Н.В. Возмущения общего магнитного поля, вызванные горизонтальными приливными силами в экваториальной плоскости солнечной короны // Труды Першої наукової конференції «Науки про Землю та Космос – Суспільству». Київ, 25-27 червня 2007 р. – К., 2008.
15. Токий В.В., Ефименко В.М., Токий Н.В. Электричні потенціали та поля, обумовлені тахоклином, в плазмових прошарках однорідно намагніченого Сонця // Зб. наук. статей ІУ Міжвуз. науково-практичної конф. «Сучасні тенденції наукової парадигми географічної освіти України». – Донецьк., 2008.
16. Хундхаузен А. Расширение короны и солнечный ветер. – М., 1976.
17. Crow J.E., Auer P.L., Allen J.E. The expansion of a plasma into a vacuum // J. Plasma Phys. – 1975.– Vol. 14. – P. 65–76.
18. Davis L. Jr. Stellar Electromagnetic Fields // Phys. Rev. – 1947. – Vol. 72, N 7. – P. 632-633.
19. Efimenko V.M., Tokiy V.V., Tokiy N.V. Stationary electrical polarizing field and charge in plasma of the solar atmosphere // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl. Ser. – 2005. - № 5. – P. 169-171.
20. Geiss J., Hirt P., Leutwyler H. On acceleration and motion of ions in corona and solar wind // Sol. Phys. – 1970. – Vol. 12. – P. 458-483.
21. Lie-Svendsen O., Hansteen V.H., Leer E., Holzer T.E. The effect of transition region heating on the solar wind from coronal holes // Astrophys.J.-2002. – Vol. 566. – P. 562–576.
22. Pannekoek A. Ionization in stellar atmospheres //Bull. Astron. Inst. Neth. – 1922. – Vol. 1. – P. 107-118.
23. Parker E.N. Dynamics of the interplanetary gas and magnetic fields // Astrophys. J. – 1958. – Vol. 128, N 3. – P. 664–676.
24. Parker E.N. The Alternative Paradigm for Magnetospheric Physics // J. Geophys. Res. – 1996. – Vol. 101, N 10. – P. 587-597.
25. Parks G.K. Why Space Physics Needs to go Beyond the MHD // Space Sci. Rev. – 2004. – Vol. 113. - P. 97-125.
26. Rosseland S. Electrical state of a star // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. –1924. – Vol. 84. – P. 720-728.
27. Tanberg K. On the cathode of an ARC drawn in vacuum // Phys. Rev. – 1930. – Vol. 35. – P. 1080-1085.

Надійшла до редколегії 29.04.09

УДК-523.9-337

У. Лейко

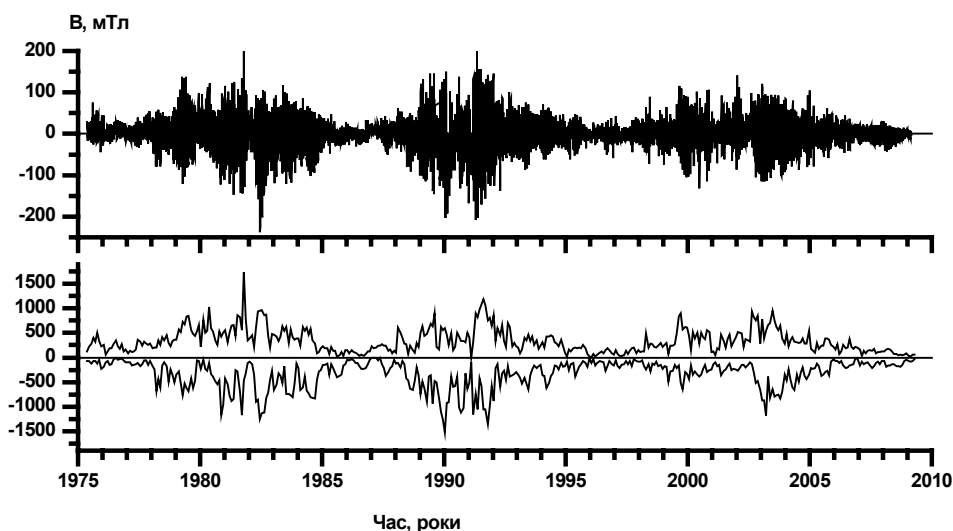
## ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАЦІЙ ЗАГАЛЬНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ СОНЦЯ

*Підсумовано результати досліджень загального магнітного поля Сонця, що проводилися в Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Наведено деякі особливості еволюції загального магнітного поля Сонця напередодні очікуваного довготривалого мінімуму сонячної активності.*

*We review selected results of investigation of large-scale solar magnetic field which have been made at the Astronomical Observatory of Taras Shevchenko Kiev National University. Some features of evolution of solar mean magnetic field before expected long-term minimum of solar activity are presented.*

**Вступ.** Загальне магнітне поле Сонця (ЗМПС), що характеризує Сонце як зірку, є інтегроване по видимому диску Сонця значення поздовжньої компоненти поверхневого магнітного поля. По суті, це розбаланс магнітного потоку видимої півсфери Сонця (переважання потоку однієї із полярностей). ЗМПС є глобальною характеристикою магнітної змінності Сонця, корелює зі структурою фотосферного та міжпланетного магнітних полів, числами Вольфа та іншими індексами сонячної активності.

Виміри ЗМПС (магнітографічні спостереження Сонця у паралельному пучку) були започатковані у 1967 р. в Кримській астрофізичній обсерваторії [15]. Регулярні спостереження ЗМПС виконувалися також в обсерваторіях Маунт Вілсон (1972–1982 рр.), сонячній обсерваторії імені Уілкса Станфордського університету (1975–2009 рр.), епізодичні – у Саянській обсерваторії. Ще на початковій стадії вивчення ЗМПС дослідниками КрАО було показано (а в подальшому підтверджувалося і іншими дослідниками), що визначальний внесок у сигнал магнітографа при вимірюванні ЗМПС дають слабкі фотосферні магнітні поля [3].



**Рис. 1.** Верхня панель: часовий ряд добових вимірів напруженості  $B$  ЗМПС (Станфорд, 5.1975–4.2009); Нижня панель: сумарні місячні значення напруженості компонент ЗМПС позитивної та негативної полярності (верхній і нижній графіки відповідно)

Ряди вимірів ЗМПС, що на сьогодні мають загальну довжину близько 42 років, дають змогу дослідити магнітну змінність Сонця у різних частотних діапазонах та впродовж різних часових інтервалів, обертання, просторово-часовий розподіл великомасштабних магнітних структур. З'ясування динаміки великомасштабних полів, що є першою причиною багатьох явищ сонячної активності, наближає нас до розуміння природи сонячної активності.

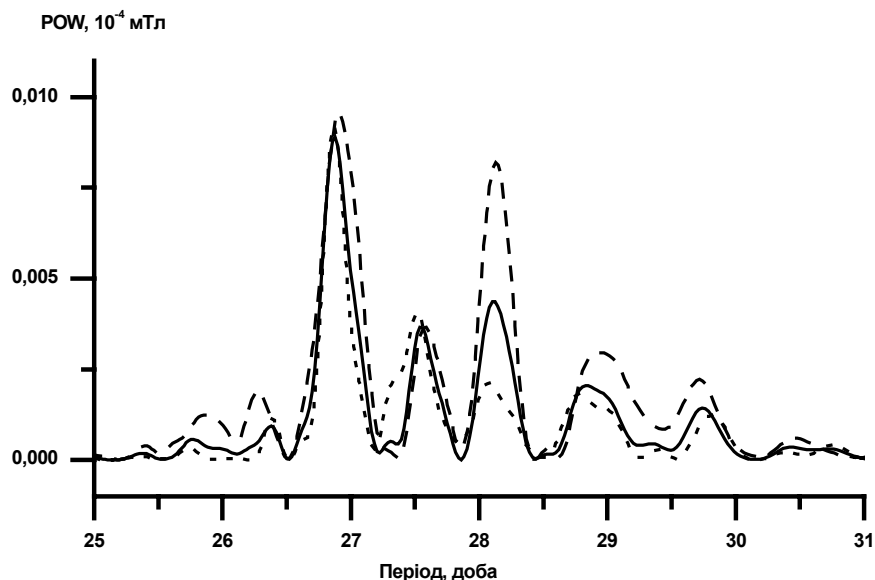
У представленій роботі підсумовано деякі результати дослідження особливостей великомасштабних сонячних магнітних полів, що були отримані в результаті обробки часових рядів ЗМПС методами спектрального аналізу та викладені у роботах [4–6, 12, 15], а також деякі особливості його еволюції напередодні очікуваного довготривалого мінімуму сонячної активності.

**Просторово-часова організація та обертання великомасштабних магнітних полів.** Вперше інформацію про обертання великомасштабних магнітних структур отримав Северний [8], визначивши відстань між екстремумами значень магнітного поля різного знаку за часовим рядом вимірів ЗМПС, отриманих у КрАО впродовж 1968-1969 рр. Отримані у такий спосіб періоди 26.8 та 27.6 діб були проінтерпретовані автором або швидшим обертанням полів позитивної полярності або ближчим розташуванням їх зони концентрації до екватора. Таким чином, аналіз часового ряду вимірів ЗМПС дає можливість визначити швидкість обертання магнітних структур та їх просторово-часовий розподіл. Після накопичення спостережних даних такої інформації почали отримувати, використовуючи різноманітні методи спектрального аналізу [2, 4, 7, 10, 11].

У спектрах рядів ЗМПС в області періодів обертання спостерігаються кілька груп значимих дискретних піків. Наявність виділених періодів квазіжорсткого обертання магнітних структур на фоні диференційного обертання Сонця свідчить про існування стійких структур, що існують від кількох обертів Сонця до десятків років. Найпотужніший пік з періодом  $\sim 27$  діб, на думку багатьох дослідників відображає обертання приекваторіальних магнітних полів, групи піків з довгими періодами (наприклад  $\sim 28.1$  діб,  $\sim 30$  діб) – обертання високоширотних зон концентрації великомасштабних магнітних структур.

Ряди вимірів ЗМПС нерівномірні – мають місце пропуски спостережень, зумовлені в основному метеорологічними умовами. Тому для обробки рядів вимірів ЗМПС була застосована методика Барнінга для обчислення LS-спектрів нерівномірних часових рядів [9]. Аналіз LS-спектрів рядів ЗМПС для 21 та 22 циклів [4–6] виявив, що просторово-часова організація великомасштабних магнітних полів була суттєво відмінною для цих циклів: впродовж 21 циклу великомасштабні магнітні поля мали п'ять зон переважної концентрації, а впродовж 22 циклу – три.

Просторово-часова організація великомасштабних магнітних полів суттєво відмінна на фазах росту та спаду обох циклів. Спектри фази росту мають малопотужні піки і суттєво відмінні від спектрів ЗМПС за весь цикл. Водночас, спектри фази спаду циклів майже ідентичні спектрам ЗМПС всього циклу. Тобто, зони переважної концентрації великомасштабних магнітних структур виявляються сформованими лише на фазах спаду циклів.



**Рис. 2.** LS- спектри в області періодів обертання рядів усіх вимірів ЗМПС (суцільна лінія) та позитивних і негативних значень ЗМПС (лінії з великими та дрібними штрихами відповідно) для 21 циклу (1975–1986 рр.). По осі ординат приведено період у добах

Для визначення часових варіацій обертання великомасштабних магнітних структур була розроблена спеціальна методика обробки часових рядів [7]. В кожному вікні вибраної довжини (що коває з вибраним кроком), обчислюється спектр як для всієї області періодів обертання, так і для окремих діапазонів цієї області. В цьому спектрі визначається значення періоду найпотужнішого піку та середньозваженого періоду. Таким чином отримуємо ряд цих характеристик. В подальшому досліджується зміна цих характеристик з часом. За такою методикою був оброблений часовий ряд станфордських вимірів ЗМПС (1975–2004 рр.) в області періодів обертання та в окремих діапазонах, що містять групи дискретних домінуючих піків [7]. Виявилось, що впродовж досліджуваного інтервалу часу швидкість

приекваторіальних магнітних полів зростала, в той час як швидкість магнітних полів в зонах концентрації на вищих широтах зменшувалася.

Обертання магнітних полів протилежної полярності. Однією із головних особливостей ЗМПС, як було вказано Северним [8], є магнітна асиметрія, яка проявляється у внутрішній часовій поведінці та різній статистиці елементів "+"- і "-"- полярності. На верхній панелі рис. 1 наведено часовий ряд добових вимірів ЗМПС, виконаних в Станфордській обсерваторії, на нижній – сумарні місячні значення ЗМПС "+"- і "-"-полярності. Крива ходу добових значень ЗМПС несиметрична. Виникає враження, що цей ряд складається з двох рядів з незалежною внутрішньою поведінкою, що і підтверджують дві нижні криві. Коефіцієнт кореляції між рядами позитивних та негативних значень ЗМПС становить 0.55, між рядами ЗМПС та позитивною компонентою 0.34, між рядом ЗМПС та негативною компонентою - 0.60 (маються на увазі сумарні місячні ряди).

Окреме дослідження спектрів рядів компонент ЗМПС позитивної та негативної полярності [4, 6] показало, що магнітна асиметрія впродовж 21 та 22 циклів в області періодів обертання проявилась в різній кількості піків в спектрах компонент ЗМПС різної полярності, а також в різних їх формах та значеннях їх потужності. В області довготривалих періодів в спектрах компонент ЗМПС окремих полярностей виявились потужні піки зі значеннями періодів, що відповідають тривалості циклів активності. Таких піків немає в спектрі повного ряду ЗМПС. Квазірічна компонента спостерігається лише в спектрі негативної компоненти ЗМПС впродовж 21 циклу. Наведені результати дослідження підтверджують гіпотезу Северного про різну просторово-часову організацію та внутрішню статистику великомасштабних магнітних структур позитивної та негативної полярності.

**Особливості еволюції ЗМПС напередодні очікуваного довготривалого мінімуму сонячної активності.** У зв'язку з пониженням загального рівня сонячної активності та очікуванням довготривалого мінімуму сонячної активності, подібному маундерівському, з'явилася низка робіт, в яких висвітлюються особливості еволюції великомасштабних магнітних полів та інших індексів сонячної активності останніх десятиріч [1, 14]. Автори роботи [1], дослідивши конфігурацію і сумарний магнітний потік фотосферного магнітного поля останніх двох (22 і 23) циклів, виявили суттєві відмінності в протіканні мінімумів перед 23 та 24 циклами. На основі своїх досліджень вони підтвердили довготривалу тенденцію зниження рівня сонячної активності.

Тривалість станфордського ряду добових вимірів ЗМПС, що регулярно виставляються на сайті обсерваторії імені Уілкокса Станфордського університету <http://WSO.Stanford.edu> на сьогодні становить майже 34 роки (15.05.1975-30.04.2009).

На верхній панелі рис. 1 наведено станфордський ряд добових вимірів напруженості ЗМПС за весь інтервал спостережень. Він включає три цикли – 21, 22 та 23. Тривалість перших двох циклів становить приблизно ~10.5 років, останнього, 23 –  $\geq 13$  років. Напруженість ЗМПС цього циклу також нижча, ніж у двох попередніх циклах. Епоха мінімуму перед 23 циклом триваліша, ніж перед 22 циклом, що підтверджує результати авторів роботи [1]. Епоха мінімуму перед 24 циклом також довготривала. Отже аналіз ряду добових вимірів ЗМПС також підтверджує тенденцію загального зниження рівня сонячної активності.

**Висновки.** В Астрономічній обсерваторії Київського національного університету імені Тараса Шевченка були розроблені оригінальні методики обробки часових рядів та проведені дослідження великомасштабних магнітних полів, зокрема, за часовими рядами загального магнітного поля. В результаті таких досліджень були визначені просторово-часові характеристики великомасштабних магнітних полів та їх обертання для 21 і 22 циклів. Отримані результати дослідження підтверджують гіпотезу Северного про різну просторово-часову організацію та внутрішню статистику великомасштабних магнітних структур позитивної та негативної полярності.

Дослідження майже 34-річного станфордського ряду ЗМПС підтвердили загальну тенденцію зниження рівня сонячної активності.

1. *Іванов К.Г., Харшиладзе А.Ф.* Начало нового, 24-го, цикла солнечной активности в крупномасштабном открытом магнитном поле Солнца // Геоматнезизм. и аэрономия. – 2008. – Т. 48, N 3. – С. 291–296.
2. *Котов В.А.* Общее магнитное поле Солнца как звезды // Изв. Крым. астрофиз. обсерв. – 1994. – Т. 91. – С. 5–24.
3. *Котов В.А., Степанян Н.Н., Щербакова З.А.* Роль фонового магнитного поля и полей активных областей в общем магнитном поле Солнца // Изв. Крым. астрофиз. обсерв. – 1977. – Т. 56. – С. 75–83.
4. *Лейко У.М.* О вращении солнечных крупномасштабных магнитных полей противоположной полярности // Кинематика и физика небес. тел. – 2004. – Т. 20, №1. – С. 34–42.
5. *Лейко У.М.* Вращения секторных структур системы Солнце – гелиосфера. // Кинематика и физика небес. тел. – 2004. – Т. 20, №4. С. 328–348.
6. *Лейко У.М.* Общее магнитное поле Солнца: вращение магнитных полей противоположной полярности // Изв. Крым. астрофиз. обсерв. – 2004. – Т. 100. – С. 47–51.
7. *Лейко У.М.* Вращение магнитных полей Солнца и циклы активности в XX столетии // «Солнечная активность как фактор космической погоды». Тр. IX Пулковской конф. по физике Солнца. Санкт-Петербург, ГАО РАН. – 2006. – С. 411–416.
8. *Северный А.Б.* Некоторые проблемы физики Солнца – М., 1988. – 221 с.
9. *Теребиз В.Ю.* Анализ временных рядов в астрофизике – М., 1992. – 399 с.
10. *Ханейчук В.И.* Вариации общего магнитного поля Солнца: вращение и 22-летний цикл // Изв. Крым. астрофиз. обсерв. – 2000. – Т. 96. – С. 176–187.
11. *Haneychuk V. I., Kotov V. A., Tsap, T. T.* On stability of rotation of the mean magnetic field of the Sun // Astronomy and Astrophysics. – 2003. – Vol. 403. – P. 1115–1121.
12. *Leiko U.M.* Large-scale magnetic fields of Sun-heliosphere magnetic system // Spec. Iss. "Kinematika and Fizika Nebes. Tel" – Kyiv, 2005. – P. 187–188.
13. *Leiko U.M.* Rotation variations of large-scale solar and interplanetary magnetic fields // Proc. IAU Symposium No 223. – IAU, 2004. – P. 117–118.
14. *Obridko V.N., Shelting B.D.* Anomalies in the evolution of global and large-scale solar magnetic fields as the precursor of several upcoming low solar cycle // Astronomy Lett. – 2009. – Vol. 35, N 4. – P. 279–285.
15. *Severny A.B.* The polar fields and time fluctuations of the general magnetic field of the Sun // Solar magnetic fields: Proc. IAU Symposium No 43. – Dordrecht, 1971. – P. 675–695.