

УДК 521.937
PACS number(s): 96.60 Tf

ВИВЧЕННЯ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ АКТИВНІСТЮ 23-ГО СОНЯЧНОГО ЦИКЛУ ТА ГЕОМАГНІТНИМИ ЗБУРЕННЯМИ

М. Ковальчук, М. Стоділка, М. Гірняк, І. Лаба, О. Баран

*Астрономічна обсерваторія
Львівського національного університету імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія, 8, 79005 Львів, Україна
e-mail: hirnyak@astro.franko.lviv.ua*

У статті комплексно проаналізовано спостережувані дані про варіації складових геомагнітного поля Землі та синхронних спостережень активності Сонця в 23-му циклі (1996–2007 рр.). Досліджено часові закономірності варіацій параметрів геліогеопроектів. Частина матеріалу в оптичному діапазоні спостережень отримана на телескопах Астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка, решту ми взяли із бази цих спостережень в Інтернеті.

Ефективним методом одержання інформації про зв'язок між параметрами варіацій сонячної активності та геомагнітними індексами є статистичний аналіз їх часових рядів. Для реалізації поставленого завдання ми використали щоденні значення кількості та площ сонячних плям, дані про спалахи в оптичному діапазоні, рентгенівські сплески, середньодобові потоки рентгенівського та радіовипромінювання Сонця на довжині хвилі 10,7 см і зіставили їх із середньодобовими планетарними геомагнітними індексами. Дані центровані та нормовані на середньоквадратичне відхилення. Були обчислені коефіцієнти кореляції між планетарними геомагнітними А-індексами та кількістю плям, площами плям, потоками радіо- та рентгенівського випромінювання. Крім того, особливу увагу звертали на дні, в які відбулись оптичні спалахи і сплески в радіо- та рентгенівському діапазонах; було відслідковано залежність геомагнітних збурень від фази сонячного циклу.

Ключові слова: параметри сонячної активності, геомагнітні індекси, статистичний аналіз.

Ключовою проблемою сонячно-земної фізики є дослідження зв'язків між варіаціями випромінювання від активних областей на Сонці з геофізичними явищами. Такі дослідження набувають дедалі важливішого значення як для вивчення природи процесів на Сонці, так і для розв'язку низки практичних задач в геофізиці.

Вибір даних, що використовуються у вивченні зв'язків між різними явищами на Сонці і на Землі, повинен ґрунтуватися на таких вимогах: 1) джерела даних є надійними і придатними для досліджень; 2) висока якість і однорідність даних; 3) репрезентативність даних в просторі і часі; 4) фізична відповідність даних, адже

© Ковальчук М., Стоділка М., Гірняк М. та ін., 2010

багато видів даних, що належать або до Сонця, або до земних проявів є лише ознаками (корелятами чи індексами) фізичних процесів, але не є параметрами самих фізичних процесів [1]. Наявність таких даних дає змогу вирішити низку завдань щодо проблеми сонячно-земних зв'язків.

Якщо питання про зв'язок сонячної активності з процесами в іоносфері і геомагнітним полем вирішене позитивно і існують навіть задовільні кількісні теорії різних явищ, то в проблемі Сонце-тропосфера недостатньо доведена сама можливість впливу активності на процеси в тропосфері [2]. Таке положення спричинене тим, що навіть якщо такий зв'язок наявний, то він завуальований важливими додатковими факторами суто земного походження. Такими факторами, що ускладнюють шуканий зв'язок, можуть бути такі: неможливість характеризувати стан тропосфери одним індексом, велика роль місцевих, географічних особливостей, що пов'язані з фізико-географічними умовами цього району, тобто з характером наземної поверхні тощо. У зв'язку з цим тропосферні явища в одному географічному районі можуть бути тісніше зв'язані з сонячною активністю, ніж в іншому. Неврахування або врахування цієї обставини може бути однією з причин невизначеності результатів деяких сонячно-тропосферних зіставлень.

Що стосується геомагнітних та іоносферних явищ, фактори, пов'язані з географічним положенням, відіграють набагато меншу роль.

З огляду на це у статті проведено комплексний аналіз простежуваних даних про варіації складових геомагнітного поля Землі та синхронних спостережень активності Сонця у 23-у циклі.

Метою роботи було дослідження часових закономірностей у варіаціях параметрів геліогеопроектів.

Для обробки було обраний матеріал спостережень, що охоплює період 23-го циклу сонячної активності (1996–2007 рр.) Частина матеріалу в оптичному діапазоні спостережень отримана на телескопах Астрономічної обсерваторії Львівського національного університету ім. І. Франка, а решта взята із спостережуваної бази даних в Інтернеті [3].

Наявність багатющого спостережуваного матеріалу, який є у нашому розпорядженні, внаслідок використання даних з Інтернету, потребує обов'язкового проведення його попередньої класифікації як першочергового етапу аналізу, тобто поділу цього розмаїття даних за якимось чітко вираженими ознаками. Ефективність цього процесу суттєво підвищується при використанні методів, що застосовуються в астрономії і геофізиці.

Основним інструментом вивчення сонячно-земних зв'язків залишаються статистичні методи [4, 5].

Ефективним методом отримання інформації про зв'язок між параметрами варіацій сонячної активності і геомагнітними індексами є статистичний аналіз їх часових рядів. Для реалізації поставленого завдання ми використали щодобові значення кількості і площ сонячних плям, дані про спалахи в оптичному діапазоні, рентгенівські сплески, середньодобові потоки рентгенівського та радіовипромінювання Сонця на довжині хвилі 10,7 см, та зіставили їх із середньодобовими планетарними геомагнітними індексами.

Дані центровані та нормовані на середньоквадратичне відхилення. Були порашовані коефіцієнти кореляції між планетарними геомагнітними А-індексами (рис. 1) та площами плям (рис. 2), потоками радіовипромінювання (рис. 3) і рентгенівського випромінювання Сонця (рис. 4). Крім того, особлива увага приділялась дням, в які відбулися оптичні спалахи та сплески в радіо- та рентгенівському діапазоні.

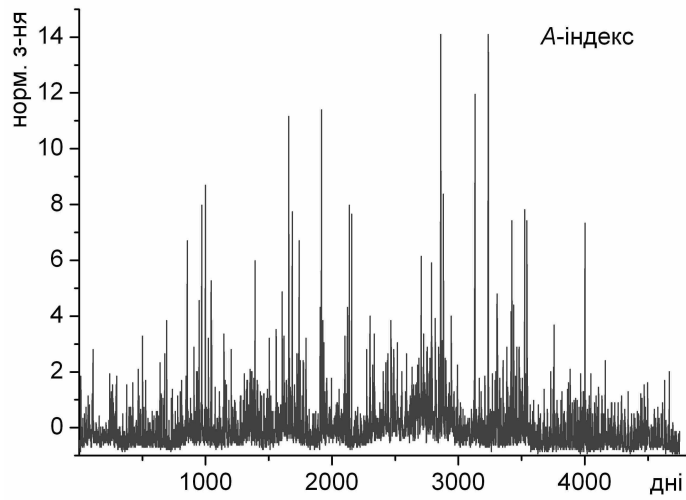


Рис. 1. Часові варіації геомагнітного A-індексу (23-й цикл)

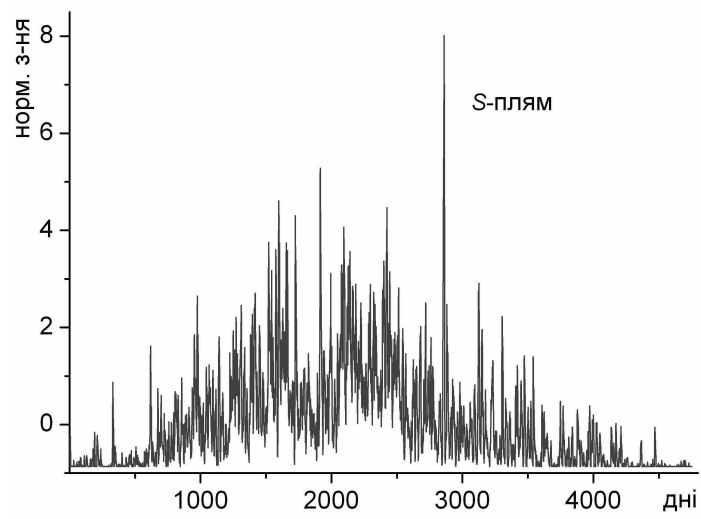


Рис. 2. Часові варіації площі сонячних плям (23-й цикл)

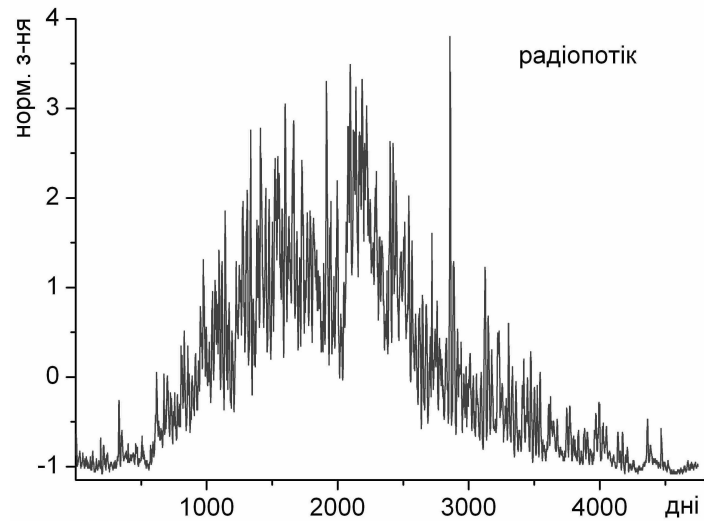


Рис. 3. Часові варіації потоку радіовипромінювання (23-й цикл)

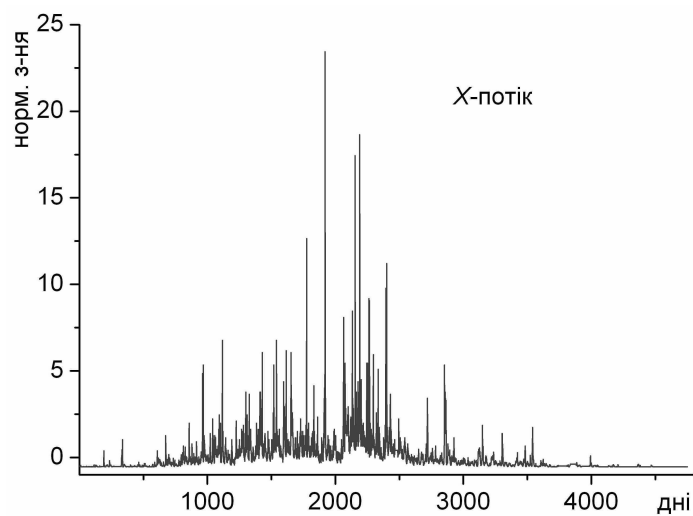


Рис. 4. Часові варіації потоку рентгенівського випромінювання (23-й цикл)

Результати отримані на основі порівняно великої статистики (охоплено понад 11 років) і можуть вважатися цілком типовими:

1. Безумовно, чітко виділяються відомі рекурентні геомагнітні збурення А-індексу, що повторюються через 27 діб. Окремі збурення зберігають свою структуру протягом кількох сонячних обертів.
2. Крива сонячних плям має два максимуми в 11-літньому циклі сонячної активності (2000 і 2002 рр.), крива геомагнітної активності (А-індекс) теж характеризується двома

максимумами, що відділені один від одного на 2–3 роки. Приблизно за рік до максимуму сонячної активності геомагнітна активність різко знижується, хоча потім, в епоху спаду плямотворчої діяльності, залишається високою.

3. Між сонячними явищами, що виникають в I-му та II-му максимумах, існують характерні відмінності: високі числа Вольфа в I-му максимумі пов'язані з появою значної кількості малих плям, тоді як у II-му максимумі збільшується процент великих плям.

4. Максимум кривої А-індексу настає через 2–3 доби після дня, що відповідає найбільшій площі сонячних плям. Для згладжених даних ($T < 6$ міс.) коефіцієнт кореляції дорівнює 0,78.

5. Поряд з довготривалим ходом геомагнітного параметра простежуються його короточасні варіації, що досягають кількох відсотків за час порядку тижня. Ці окремі варіації можна зв'язати з появою конкретних активних утворень (спалахи, сплески).

6. У роки високої сонячної активності після проходження активної області через центральний меридіан за одну–дві доби настає геомагнітне збурення (коефіцієнт кореляції 0,88).

7. У роки низької сонячної активності зв'язок між різними проявами активних процесів і геомагнітними збуреннями набагато слабший; є багато випадків, коли магнітні збурення виникають без всяких видимих проявів сонячної активності.

Непевність функціонального зв'язку між незгладженими індексами сонячної активності і геомагнітними збуреннями в роки низької активності Сонця спонукала нас розпочати вивчення зв'язку останніх з іншими елементами сонячної активності, а саме зі спалахами і потоками радіо- та рентгенівського випромінювання. Крім того, ми простежували залежність рекурентних геомагнітних збурень від фази сонячного циклу:

1. У період максимуму сонячного циклу з'являються інтенсивні геооефективні спалахи балу ≥ 2 , що супроводжуються сильними радіо- та рентгенівськими сплесками та магнітними бурями.

2. Інтенсивні бурі, спричинені потужними спалахами, наступають приблизно через добу–дві після спалаху (коефіцієнт кореляції $> 0,75$), однак ці бурі не є рекурентними.

3. Підвищені потоки радіо- та рентгенівського випромінювання зазвичай викликають сильні магнітні бурі, які тривають кілька днів (коефіцієнт кореляції 0,69).

4. Спалахи, що не супроводжуються сильними сплесками, показують нижчу кореляцію із геомагнітними збуреннями (коефіцієнт кореляції 0,54).

5. Зв'язок між спалахами, що супроводжуються сильними радіо- та рентгенівськими сплесками, і геомагнітними збуреннями, є значний (коефіцієнт кореляції 0,82), і слабо залежить від дислокації спалахів.

Отже, магнітні збурення частково збігаються з появою активних областей на Сонці, частково з їхніми проходженням через центральний меридіан, найбільше – з раптовою появою спалахів в активній області, незалежно від її положення на сонячному диску та підвищеними потоками (сплесками) радіо- та рентгенівського випромінювання.

1. *Акасофу С.-И.* Солнечно-земная физика; [пер. с англ. В.П. Головкова, К.И. Никольской, Л.А. Юдович] / С.И. Акасофу, С. Чепмен. – М.: Мир, 1974. – 384 с.
2. *Галкин А.И.* Солнечно-земная физика – новая наука / А.И. Галкин, Г.В. Куклин, Е.А. Пономарев // Исследование по геомагнетизму, аэронауки и физике Солнца. – 1986. – Вып. 76. – С. 21–25.
3. National Weather Service Space Weather Prediction Center. Data and Products. Instruments Measurements. SWPC. Historical SWPC Products. SWPS. Historical SWPC Products. SWPS Anonymous FTP Server Historical SWP Products from 1996 // www.swpc.noaa.gov/_DGD.txt
4. *Крамер Г.* Математические методы статистики / пер. с англ. А.С. Мониной и А.А. Петрова. – М.: Изд. “Мир”, 1975. – 648 с.
5. *Симон П.* Обзор современных прогностических центров / П. Симон, П.С. Мак-Интош // Наблюдения и прогноз солнечной активности. – 1976. – С. 289–300.

STUDY OF CONNECTIONS BETWEEN ACTIVITY OF 23-TH SOLAR CYCLE AND GEOMAGNETIC PERTURBATIONS

M. Koval'chuk, M. Stodilka, M. Hirnyak, I. Laba, O. Baran

*Astronomical observatory
of Ivan Franko National University of Lviv
Kyryla & Mephodia Str., 8, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: hirnyak@astro.franko.lviv.ua*

In article the complex analysis of observational data about variations of earth's geomagnetic field and synchronous observations of solar activity in 23-th cycle (1996–2007 yy.) is investigated. The time regularities of parameters variations of heliogeoprocesses were investigated. Part of data in optical spectral band of observations is received on telescopes of Astronomical observatory of Ivan Franko National University of Lviv. The other part we obtained from basis data of observations in INTERNET. The effective method of obtaining of information about connections between parameters of solar activity variations and geomagnetic indexes is statistical analysis of their temporal series.

For realization of the formulated task we used daily values of numbers and areas of solar spots, data about flashes in optical spectral band, X-ray bursts, daily averaged streams of X-ray and radio emission on 10,7 cm length and we compared them with daily planetary geomagnetic indexes. Data were centered and normalized on mean-square deviation. The correlative coefficients between planetary geomagnetic A-indexes and numbers of spots, areas of spots, bursts of radio- and X-ray emission were calculated. Special attention was paid heed to days, when optical flashes and bursts in radio- and X-ray diapazons were occurred; the dependence of geomagnetic perturbations caused on solar cycle phase was studied.

Key words: solar activity parameters; geomagnetic indexes; statistical analysis.

**ИЗУЧЕНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АКТИВНОСТЬЮ 23-ГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА
И ГЕОМАГНИТНЫМИ ВОЗМУЩЕНИЯМИ****М. Ковальчук, М. Стоділка, М. Гірняк, И. Лаба, А. Баран**

*Астрономическая обсерватория
Львовского национального университета имени Ивана Франко
ул. Кирилла и Мефодия, 8, 79005 г. Львов, Украина
e-mail: hirnyak@astro.franko.lviv.ua*

В работе проведен комплексный анализ наблюдательных данных о вариациях составляющих геомагнитного поля Земли и синхронных наблюдений активности Солнца в 23-м цикле (1996–2007 гг.). Исследовались временные закономерности вариаций параметров гелиогеопроецессов. Часть материала в оптическом диапазоне наблюдений получена на телескопах Астрономической обсерватории Львовского национального университета имени Ивана Франко, остальные взяты из наблюдательной базы данных в Интернете.

Эффективным методом получения информации о связи между параметрами вариаций солнечной активности и геомагнитными индексами есть статистический анализ их временных рядов. Для реализации поставленной задачи мы использовали ежедневные значения количества и площадей солнечных пятен, данные о вспышках в оптическом диапазоне, рентгеновские всплески, среднесуточные потоки рентгеновского и радиоизлучения Солнца на длине волны 10,7 см и сопоставили их со среднесуточными планетарными геомагнитными индексами. Данные центрированы и нормированы на среднеквадратическое отклонение. Были вычислены коэффициенты корреляции между планетарными геомагнитными А-индексами и количеством пятен, площадями пятен, потоками радио- и рентгеновского излучения. Кроме того, особое внимание уделялось дням, в которые состоялись оптические вспышки и всплески в радио- и рентгеновском диапазоне; была прослежена зависимость геомагнитных возмущений от фазы солнечного цикла.

Ключевые слова: параметры солнечной активности, геомагнитные индексы, статистический анализ.

Стаття надійшла до редколегії 17.07.2009

Прийнята до друку 07.06.2010