

ДИНАМІКА СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ ТА ВАРІАЦІЙ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ І ЙОГО ЕКОЛОГІЧНОЇ ЗБУРЕНОСТІ

В роботі аналізується динаміка сонячної активності та пов'язаних з нею варіацій геомагнітного поля і його екологічної збуреності на території України. Показано, що сонячна активність стосовно циклів з періодами у 100–200 років сьогодні знаходиться у стані переходу до спаду. Досліджено взаємозв'язок квазидворічних варіацій сонячної та геомагнітної активностей. Показано, що величина екологічної збуреності геомагнітного поля на території України не перевищує норму.

Ключові слова: сонячна активність; геомагнітне поле; квазидворічні варіації; екологічна збуреність.

Вступ

Сонце є найпотужнішим джерелом енергії у сонячній системі. Однак, зважаючи на те, що кількість сонячної енергії, яка падає на одиницю площі земної поверхні, є майже постійною (сонячна стала), середовище, що нас оточує, дуже змінне. Це означає, що існує об'єктивний агент, крім сонячного світла, який визначає такі зміни.

Головним агентом, що керує сигналами від Сонця до Землі, є намагнічений сонячний вітер, хоча він переносить лише одну мільйонну частку тієї енергії, яку посилає Сонце на Землю. Параметри сонячного вітру змінюються в дуже широких межах [Космическая ..., 1976]. Швидкість сонячного вітру змінюється від 300 км/с до 2000 км/с, концентрація частинок мінімальна 5 см^{-3} , що відповідає потоку частинок $1,6 \times 10^8 (\text{см}^2 \text{с})^{-1}$, максимальна концентрація $\sim 30 \text{ см}^{-3}$. Властивості сонячного вітру залежать від сонячної активності. Сама сонячна активність, яка найчастіше характеризується числами Вольфа, дуже змінюється в часі (рис. 1). Подані на цьому рисунку зміни середньорічних чисел Вольфа за період з 1740 р. одержані за інструментальними спостереженнями за плямами на Сонці і взяті нами з

<http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/sunspot/YEARLY>. У спектрі сонячної активності, вираженої числами Вольфа, виділяють періоди близько 11, 22, 80–100, 200–210, 350–360 років та інші [Комитов, Кафтан, 2003].

Аналіз деяких циклів сонячної активності

Зараз спостерігається довгостроковий ріст сонячної активності, який розпочався приблизно з 1700 р. Цей ріст виражається збільшенням амплітуд 11-річних циклів (див. рис. 1). Він двічі переривався мінімумами: на початку дев'ятнадцятого і на початку двадцятого століть. Ці мінімуми є наслідками вікових та двовікових циклів.

Деякі числові дані про діючі зараз періоди сонячної активності наведено в таблиці. Тут показані роки початку останнього циклу певного періоду, роки максимуму та характер змін у циклі в даний час. Як бачимо, тільки 11-річний та 80-річний цикли знаходяться зараз у фазі росту активності, більш потужні 200-річний та 360-річний цикли перебувають у фазі спаду. Відзначимо, що відповідно до правила Гнев'єшева-Оля [Гнев'єшев, Оля, 1948], непарні 11-річні цикли повинні мати амплітуди, вищі за парні.

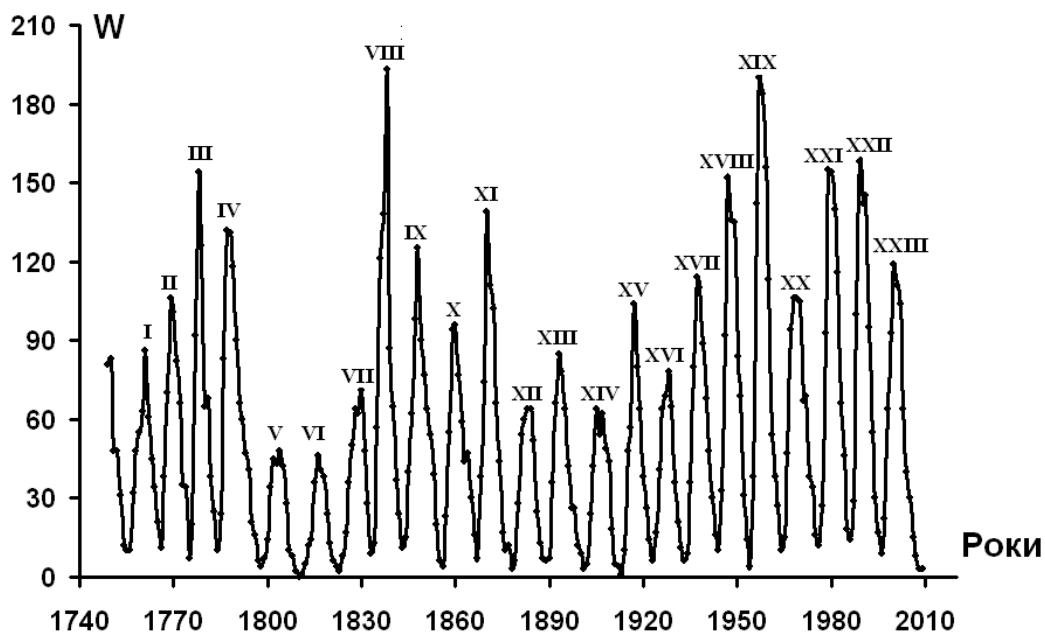


Рис. 1. Сонячна активність (виражена числами Вольфа) за період 1740–2010 рр. (за даними <http://www.wdcb.ru/stp/data/solar.act/sunspot/YEARLY>)

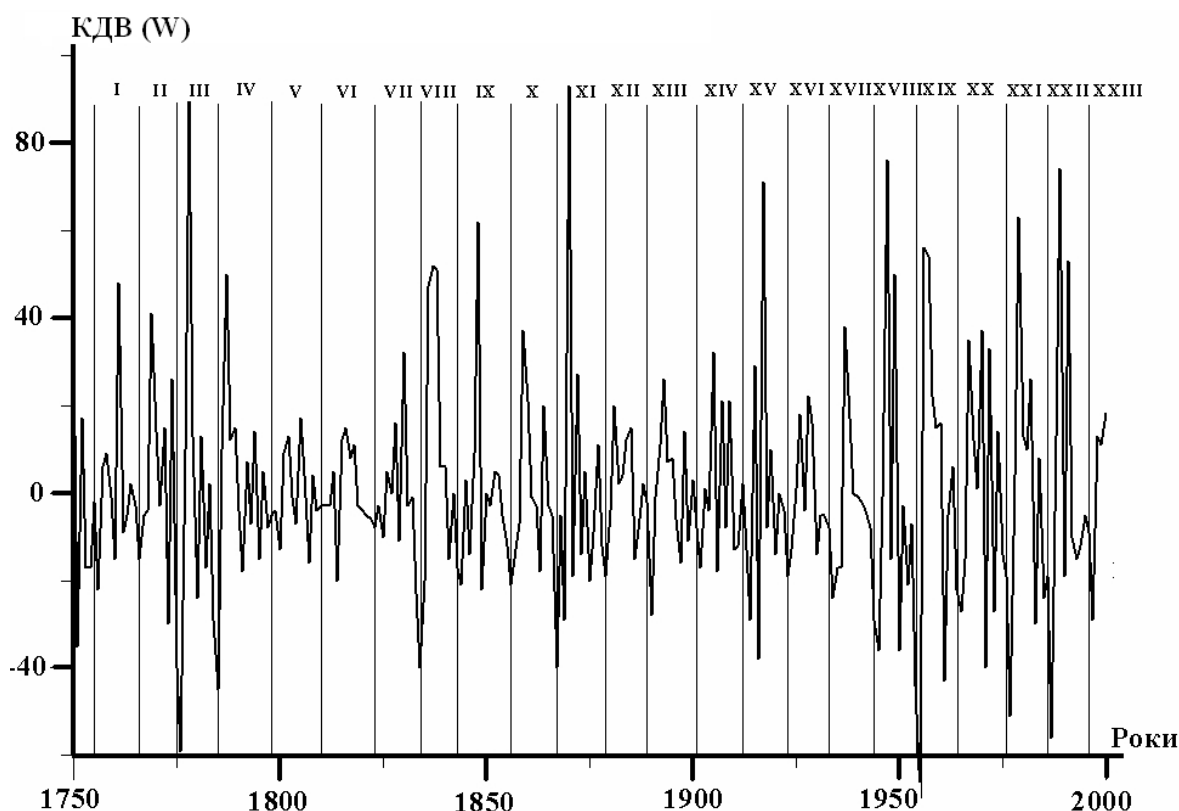


Рис. 2. Квазидворічні варіації сонячної активності (вертикальні лінії проведені в роки 11-річних мінімумів, римські цифри – номер 11-річного сонячного циклу)

Періоди сонячної активності та характер їх змін

| Період (роки) | Рік початку | Рік максимуму | Характер змін |
|---------------|-------------|---------------|---------------|
| 11 | 2008 | 2013 | Ріст |
| 80-100 | 1976 | 2020 | Ріст |
| 200-210 | 1850 | 1956 | Спад |
| 350-360 | ~1750 | ~1900 | Спад |

Окрім названих вище циклів, у сонячній активності виділяються квазидворічні варіації (КДВ) [Gnevyshev, 1977, Apostolov, 1985]. КДВ найчіткіше проявляються на початку кожного одинадцятирічного сонячного циклу у вигляді загасаючого цугу коливань. Амплітуда першого коливання цугу найбільша на початку циклу і швидко зменшується до його кінця [Кононович, Шефов, 2003]. У початковій фазі сонячної активності період окремих коливань більший, ніж три роки, а в мінімумі – менший, ніж два роки. На рис. 2 показано КДВ сонячної активності за увесь період інструментальних спостережень за Сонцем.

У кожному 11-річному циклі спостерігається від трьох до п'яти коливань. Амплітуда коливань максимальна на початку циклу і спадає до його кінця. У непарних сонячних циклах амплітуда КДВ значно більша від амплітуди у парних. Амплітуди КДВ показують також ~80-річну циклічність. Мінімальні амплітуди спостерігалися у циклах № 5, № 12, № 20. Починаючи з циклу

№ 14, сонячна активність зростала, такий самий характер змін і амплітуд КДВ.

Аналіз квазидворічних циклів геомагнітної активності

Як показано в [Сумарук, Сумарук, 2009], у геомагнітних варіаціях у середніх широтах також є КДВ. Під час їх аналізу вихідними даними міри магнітної активності ми вибрали місячні суми відхилень горизонтальної складової магнітного поля ($\sum(H-S_q)$) за даний рік на магнітній обсерваторії “Львів” від спокійного рівня поля. За спокійний рівень вибрані значення поля за п'ятьма міжнародно-спокійними днями за місяць. Горизонтальна складова поля вибрана тому, що в ній найкраще відображаються зміни в магнітосферно-іоносферній системі струмів, які пов'язані з сонячною активністю.

На рис. 3 показані КДВ геомагнітної активності за даними обсерваторії “Львів”. У кожному 11-річному циклі сонячної активності спостерігаються три-чотири коливання КДВ. Амплітуди КДВ змінюються від циклу до циклу і в самому циклі сонячної активності. Вони найменші в роки мінімумів сонячної активності і зростають з її збільшенням. Залежність між амплітудами КДВ і сонячною активністю нелінійна. Так, у 19-му циклі сонячної активності середньорічне значення чисел Вольфа $W=190$ у 1957 р. і амплітуда другого найбільшого коливання $\Delta\sum(H-S_q)=4080$ нТл, а в двогорбому 22-му циклі максимальне $W=158$ у 1989 р., амплітуда ж $\Delta\sum(H-S_q)=7080$ нТл.

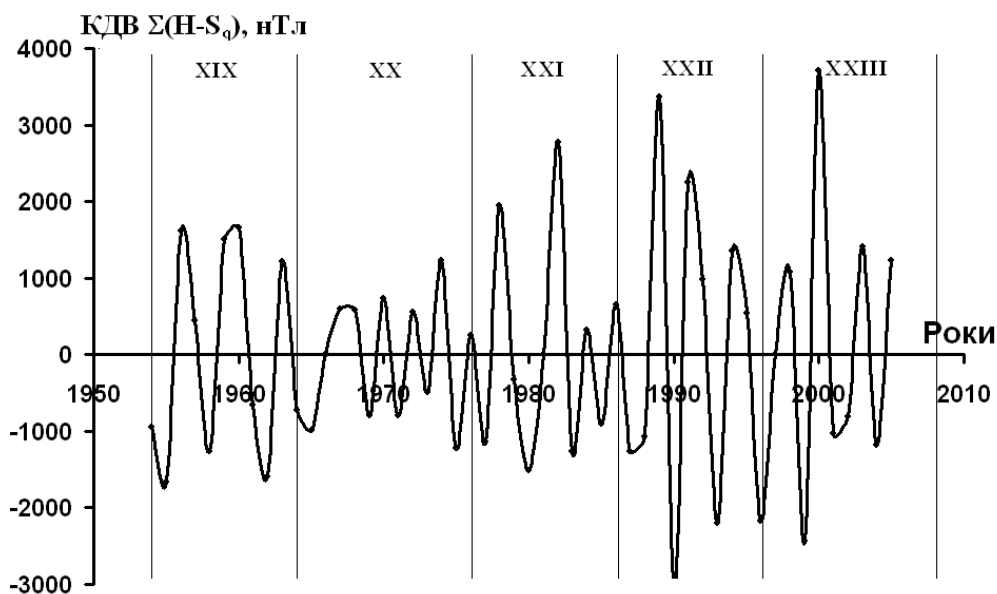


Рис. 3. Квазівдворічні варіації геомагнітної активності на магнітній обсерваторії “Львів”

Порівняння КДВ(W) та КДВ($\Sigma(H-S_q)$) показало, що вони змінюються у тій самій фазі і добре корелюють між собою.

Про екологічну збуреність геомагнітного поля

Сонячна активність через змінне магнітне поле впливає на природу і процеси в Землі.

Просторово-часова структура магнітного поля Землі визначається сумою полів від різних джерел:

$$B = B_n + \Delta B + \delta B, \quad (1)$$

де B_n – нормальне (головне) магнітне поле; ΔB – аномальне магнітне поле; δB – зовнішнє магнітне поле Землі. Для розв’язання екологічних задач в [Орлюк, Сумарук, 2002; Орлюк, Роменець, 2005] запропоновано новий критерій оцінки збуреності магнітного поля Землі:

$$\Delta D = (B - N) / 2N, \quad (2)$$

де ΔD – просторова збуреність геомагнітного поля; B – модуль відповідної компоненти поля; N – величина норми поля, яке аналізується. Оцінка збуреності геомагнітного поля виконується для окремих епох з використанням як норми величини $N = B_{IGRF}$. Екологічний аспект збуреності будується на введенні екологічної норми величини геомагнітного поля B_{ecol} . Априорі беремо $B_{ecol} = 45000$ нТл. Екологічну збуреність геомагнітного поля визначаємо як

$$\Delta D_{ecol} = (B - B_{ecol}) / 2B_{ecol}. \quad (3)$$

Величина $\Delta D_{ecol} = 0D$ (дісторшин) є нормою для людини, а границі $D_{ecol} = 0 \pm 10000D$ – нормальні для її проживання.

На рис. 4 [Орлюк, Роменець, 2003] показано рельєфні зображення модуля індукції геомагнітного поля B та його екологічної збуреності ΔD_{ecol} на епоху 2000 р. для території України. Зауважи-

мо, що цей параметр характеризується позитивними значеннями, оскільки значення модуля B більше від прийнятої нами величини B_{ecol} . Величина екологічної збуреності на 2000 рік змінюється у межах $\Delta D_{ecol,2000} = 3246 - 19017D$ [Орлюк и др., 2007]. У регіональному плані збуреність ΔD_{ecol} зростає з південного заходу на північний схід, сягаючи максимальних значень на північному сході Харківської області (в районі південно-східного продовження Курської магнітної аномалії). Мінімальними величинами $\Delta D_{ecol,2000}$ характеризуються АР Крим і Закарпатська область ($\Delta D_{ecol,2000} = 3500 - 3700D$), а максимальними значеннями ($\Delta D_{ecol,2000} = 5900 - 6300D$) характеризуються північно-східні області України. На такому регіональному фоні спостерігаються відхилення величин ΔD_{ecol} у бік збільшення або зменшення, відповідно до величини аномального магнітного поля, яке визначається переважно магнітною неоднорідністю земної кори. Джерела магнітних аномалій формувалися циклічно на активних етапах геодинамічного розвитку Землі і зазвичай приурочені до зон палео- або сучасних глибинних розломів [Орлюк, 2000]. Сьогодні ΔD_{ecol} є вищою від джерел так званих регіональних магнітних аномалій (РМА). Тут спостерігаються величини екологічної збуреності геомагнітного поля на кілька сотень одиниць більш порівняно з іншими місцями. Зокрема, такими районами є (рис. 4, а) зони зчленування тектонічних структур різних рангів: Сарматії і Фенноскандії (Новоград-Волинська РМА), Східноєвропейської і Західноєвропейської платформ (Львівська РМА), Ігульського та Придніпровського мегаблоків Українського щита (Західно-Ігулецька РМА) та ін.

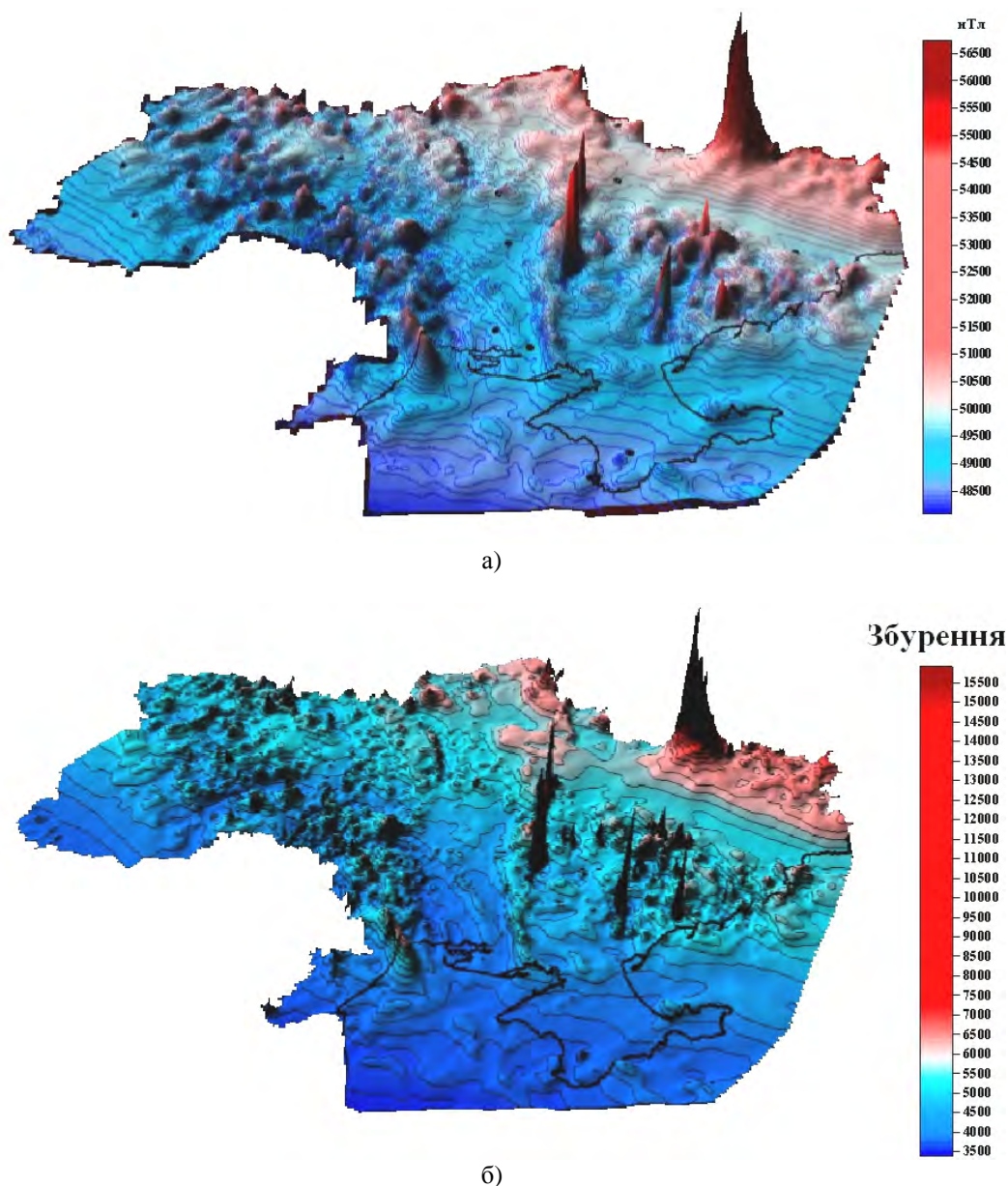


Рис. 4. Модуль індукції магнітного поля Землі (а) та його екологічної збуреності (б) на епоху 2000 року для території України

У часовому аспекті за останні 50 років збуреність збільшилася в середньому на 1200–1300 одиниць. Оскільки напруженість геомагнітного поля B змінюється з часом залежно від сонячної активності та процесів усередині Землі, то з врахуванням викладеного вище максимальна сумарна збуреність геомагнітного поля ΔD спостерігатиметься в геодинамічно активних на тих чи інших етапах розвитку зонах Землі. Отже, наведений аналіз геомагнітного поля Землі свідчить про його істотні зміни впродовж досить короткого часового інтервалу. Виявлена певна циклічність цього процесу зумовлена суперпозицією полів, породжених внутрішніми процесами у земному ядрі і літосфері, та зовнішніми процесами в іоносфері та магнітосфері. Сьогодні можна стверджувати, що збуреність магнітного поля Землі прямо залежить

від сонячної активності, проте магнітна активність має певний часовий зсув по відношенню до сонячної активності. Варіації магнітного поля Землі і відповідно його екологічна збуреність змінюються з чітко встановленими за даними експериментальних спостережень закономірностями, з їх максимальним проявом у геодинамічно активних зонах Землі.

Висновки

Враховуючи викладене, можна стверджувати, що аналіз просторово-часової структури магнітного поля Землі дає змогу зробити висновки щодо його збуреності:

1. Цикли сонячної активності з періодами у 100–200 років сьогодні знаходяться в зоні перегину і переходу від максимуму до спаду.

2. Спостерігаються квазидворічні варіації як у сонячній, так і в геомагнітній активності. Амплітуди таких варіацій у геомагнітній активності зростають з ростом сонячної активності.
3. Величина екологічної збуреності магнітного поля на території України знаходиться у межах екологічної норми.
4. Максимальні величини екологічної збуреності геомагнітного поля зумовлюються, з одного боку, процесами на Сонці, і відповідно в магнітосфері та іоносфері, а з іншого, – тяжіють до певних зон в літосфері Землі.

Література

- Гневисhev М., Оль А. О 22-летнем цикле солнечной активности // *Астроном. журн.* – 1948. – Т. 38. – С. 18–20.
- Комитов Б.П., Кафтан В.И. Изменения солнечной активности последних тысячелетий. Возможен ли очередной долгопериодический минимум? // *Геомагн. и аэрон.* – 2003. – Т. 43, № 5. – С. 592–601.
- Кононович Э.В., Шефов Н.Н. Тонкая структура одиннадцатилетней цикличности солнечной активности // *Геомагн. и аэрон.* – 2003. – Т. 43, № 2. – С. 166–173.
- Космическая геофизика. – М.: Мир, 1976. – 544 с.
- Орлюк М.И., Роменец А.А. Новый критерий оценки пространственно-временной возмущенности магнитного поля Земли и некоторые аспекты её использования // *Геофиз. журн.* – 2005. – Т. 27, № 6. – С. 1023–1032.
- Сумарук Т.П., Сумарук П.В. Квазидворічні варіації магнітного поля Землі // *Доповіді НАН України.* – 2009. – № 1. – С. 114–116.
- Орлюк М.И., Фролов А.Ф., Задорожная В.И., Роменец А.А. Возмущенность магнитного поля Земли и некоторые аспекты инфекционных заболеваний // *Геофиз. журн.* – 2007. – Т. 29, № 6. – С. 148–156.
- Орлюк М.И. Пространственные и пространственно-временные магнитные модели разно-ранговых структур литосферы континентального типа // *Геофиз. журн.* – 2000. – Т. 22, № 6. – С. 148–165.
- Орлюк М.И., Роменец А.О. Геомагнітне поле України: екологічний аспект // *Геолог України.* – 2003. – № 1. – С. 64–71.
- Орлюк М.И., Роменец А.О. Сумарук Т.П. Оцінка та прогноз збуреності магнітного поля Землі // *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики.* – К, 2005. – С. 246–260.
- Apostolov E.M. Quasi-biennial oscillation in sunspot activity // *Bull. Astron. Inst. Czechosl.* – 1985. – V. 36, № 2. – P. 97–102.
- Gnevyshev M.N. Essential features of the 11-years solar cycle // *Solar Phys.* – 1977. – V. 51, № 1. – P. 173–175.

ДИНАМИКА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ И ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМУЩЕННОСТИ

Т.П. Сумарук

В работе анализируется динамика солнечной активности и связанных с ней вариаций геомагнитного поля и его экологической возмущенности на территории Украины. Показано, что солнечная активность касательно циклов с периодами 100–200 лет в данное время находится в состоянии перехода к спаду. Исследована взаимосвязь квазидвухлетних вариаций солнечной и геомагнитной активности. Показано, что величина экологической возмущенности геомагнитного поля на территории Украины не превышает нормы.

Ключевые слова: солнечная активность; геомагнитное поле; квазидвухлетние вариации; экологическая возмущенность.

DYNAMICS OF SOLAR ACTIVITY AND VARIATIONS OF GEOMAGNETIC FIELD AND IT'S ECOLOGICAL DISTARBENCE

T.P. Sumaruk

In the paper the dynamic of solar activity and connected to it the geomagnetic field variations and its ecological disturbance on Ukrainis territory is analyzed. It is shown that solar activity concerning to the cycles with 100–200 years periods is in the state of transition to decreasing. Interconnection of the quasibiennial variations of solar and geomagnetic activities is studied. It is shown that ecological disturbance of geomagnetic field on Ukrainis the Ukrainis territory do not exceed of the quota.

Key words: solar activity; geomagnetic field; quasibiennial variations; ecological disturbance.