

## ВІКОВИЙ ХІД ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ТЕРИТОРІЇ ЄВРОПИ ЗА ПЕРІОД 1995–2005 РР.

Досліджено просторову структуру вікового ходу геомагнітного поля на території Європи. За даними магнітних обсерваторій побудовано серію карт вікової варіації (SV) для X, Y, Z, D – компонент геомагнітного поля для п'ятирічних інтервалів 1995–2000 і 2000–2005 рр. Виконано їхнє порівняння з міжнародними моделями IGRF. У полі вікового ходу на території Європи виділено глобальні структури – фокуси SV та досліджено їхню кінематику.

**Ключові слова:** геомагнітне поле; віковий хід; просторова структура; Європа; фокуси SV.

### Вступ

Основним джерелом інформації про вікові варіації магнітного поля Землі (**secular variation – SV**) є магнітні обсерваторії та дані періодичних спостережень на **пунктах вікового ходу (ПВХ)**. Використовуючи середньорічні значення компонент геомагнітного поля на магнітних обсерваторіях, а також редуковані значення поля на ПВХ, будують карти вікового ходу для п'ятирічних інтервалів – карти ізопор. Карти ізопор дають уявлення про морфологію поля вікового ходу для досліджуваних регіонів, а їхнє порівняння в різні епохи дає змогу виявити так звані фокуси вікового ходу, їхнє зародження, дрейф та розпад, розділяти поле вікових варіацій на дрейфуючу і стабільні компоненти. Цей метод досліджень має обмеження, пов'язані з нерівномірним розподілом магнітних обсерваторій і ПВХ на поверхні Землі.

### Постановка проблеми

З початком космічної ери з'явилась можливість виконувати геомагнітні знімання з використанням штучних супутників Землі. Застосування теорії Гаусса під час аналізу результатів спостережень на космічних апаратах з використанням реперних обсерваторських даних дозволяє будувати **аналітичні моделі геомагнітного поля (International Geomagnetic Reference Field – IGRF)** на епоху спостережень, а також здійснювати прогноз часових змін поля на декілька років наперед.

Міжнародні моделі геомагнітного поля IGRF при  $n=m=10$  дають змогу описати поле з точністю в декілька десятків нТл, що є для багатьох випадків цілком задовільним. При цьому віковий хід, який, як правило, не перевищує  $\pm 50$  нТл/рік, описується цими моделями з  $n=m=8$ . Для території Європи, з її доволі щільною, хоч і нерівномірною мережею магнітних обсерваторій, відкривається можливість не лише побудувати карти вікового ходу за даними магнітних обсерваторій, але і виконати їх порівняння з моделлю IGRF та здійснювати в перспективі їхню кореляцію, що і є основною метою нашої роботи. Для цих досліджень використано дані магнітних обсерваторій та параметри міжнародної аналітичної моделі IGRF для відповідних інтервалів часу.

### Основні характеристики

#### вікових варіацій геомагнітного поля

Зміни середньорічних значень того чи іншого елемента магнітного поля Землі впродовж року називаються **віковим ходом**. Середньорічні значення магнітного поля Землі можна отримати лише на магнітних обсерваторіях. Однак, оскільки їхня кількість на земній кулі обмежена, для знаходження вікового ходу в інших точках земної поверхні використовують епізодичні спостереження складових поля в цих пунктах через певні проміжки часу (до 5 років). У такому разі віковий хід визначається як різниця між двома такими спостереженнями, поділена на проміжок часу між ними, виражений у роках. Пункти, в яких періодично виконуються визначення елементів земного магнетизму, називаються пунктами вікового ходу.

Варіації внутрішнього походження або варіації головного магнітного поля – найпомітніші зміни геомагнітного поля, які генеруються джерелами, локалізованими в зовнішній частині земного ядра. На поверхні Землі реєструються, зумовлені цими джерелами, варіації лише з періодами більше 10 років. Варіації з меншими періодами загасають у надрах Землі за рахунок високої електропровідності мантиї. Просторові розміри аномалій SV коливаються в межах від кількох сотень до 1000 км. Саме завдяки відмінностям просторових розмірів аномалій SV та структурних особливостей вікових варіацій головного магнітного поля, які проявляються на поверхні Землі у вигляді фокусів (центрів) вікового ходу, виникає можливість їх розділення.

#### Спектральний склад вікових варіацій та вікового ходу геомагнітного поля

Вікові варіації головного магнітного поля, а також вікові варіації зовнішнього походження в основному мають квазіперіодичний або імпульсний характер. Діапазон періодів вікових варіацій головного магнітного поля коливається від 10 років до 10000 років. Найбільш характерними і яскраво вираженими в спектрі SV є варіації з періодами 10000 (8000), 1800, 1200, 600, 360, 60, 30, 20 і 10 років. Варіації з періодами понад 360 років досліджуються на основі архео- та палеомагнітних даних [Бурлацкая, 1991; Калинин,

1984]. Спектральний склад вікових варіацій, отриманий на основі аналізу цих даних та даних магнітних обсерваторій [Бурлацкая, 1991], показано на рис. 1, а локалізацію їх джерел – на рис. 2 [Nevanlinna, Mundt, 1987]. Найпотужнішим є період  $10^4$  (8000) років, який має амплітуду 20–25  $\mu\text{Tл}$  та віковий хід близько 20 нТл/рік [Бурлацкая, 1991]. Варіації геомагнітного поля з періодами 1200, 1800, 8000 років мають глобальний характер і генеруються механізмом динамо в земному ядрі. Період  $10^4$  (8000–9000)

років багато авторів вважають основним періодом геомагнітного динамо. Період 1200 років пов'язується з прецесією ексцентричного диполя. За [Пудовкин, Валуева, 1972] тривалість періоду дрейфу ексцентричного диполя в площині великого круга, нахиленого до екватора під кутом  $30^\circ 08'$ , оцінюється близькою до 1200 років. Крім того, як показано в [Загний, 1981], 1200-річні варіації мають періодичний характер, в той час, як більш короткоперіодні 500–600-річні мають циклічний характер.

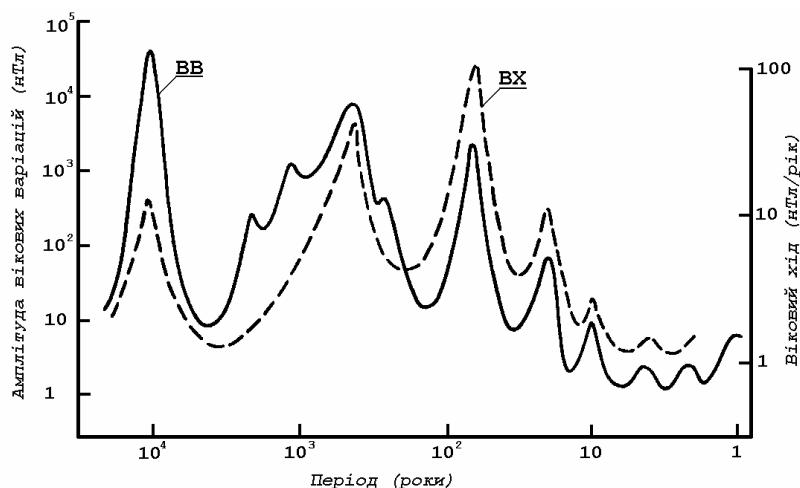


Рис. 1. Спектр вікових варіацій геомагнітного поля (ВВ – вікова варіація, ВХ – віковий хід)

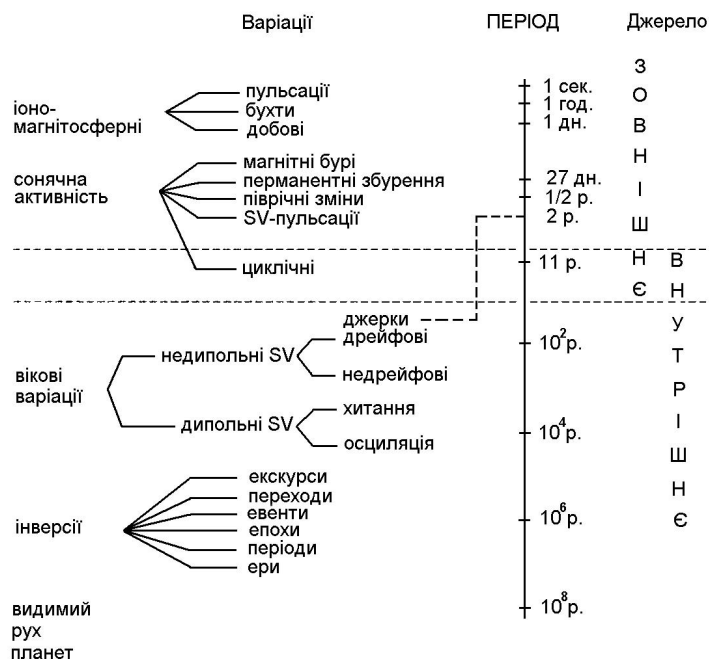


Рис. 2. Схема спектрального розподілу варіацій геомагнітного поля та локалізація їх джерел

Періоди 450, 600, 900, 1800 років виявлені у варіаціях магнітного моменту Землі [Marton, 1970]; в коливаннях коефіцієнтів  $g_0^0$ ,  $g_1^1$  міжнародної сферично-гармонічної моделі (IGRF) помітна 900-річна періодичність, а в  $h_1^1$  – 600-річна. Коливання цих періодів, на думку В.Головкова

[Головков и др., 1989], спричиняються великомасштабною нестійкістю глобальної системи конвекції в рідкому ядрі Землі.

Найдостовірніші спектральні характеристики вікових варіацій магнітного поля Землі отримуються на основі аналізу часових рядів його

компонент за даними магнітних обсерваторій. Оскільки найбільша довжина такого ряду не перевищує 160 років, то очевидно, що максимальні періоди вікових варіацій, які можна отримати з аналізу обсерваторних даних, не перевищують 80 років. Саме варіації в такому діапазоні періодів, які в літературі часто називають короткоперіодними, становлять найбільший інтерес у зв'язку з завданнями вивчення та інтерпретації регіональних і локальних аномалій SV. Варіації цього діапазону групуються, в основному, в чотирьох інтервалах: 60–70, 30–40, 18–25, 10–11 років. Найхарактернішими для кожного інтервалу різні автори вважають такі величини періодів: для 60-річного інтервалу – 58, 67, 74 роки [Ротанова и др., 1982; Curric, 1973; Janackova, 1983], для 30-40-річного – 35, 40 років [Папаташвили и др., 1982], для 20-річного – 18, 22 і 26 років [Головков, 1989; Головков, Ривин, 1976; Ривин, 1976; Curric, 1973; Yukutake, Kain, 1979], і для 11-річного – два максимуми в інтервалі 10–12 років [Ривин, 1975; Ротанова и др., 1979]. Така неоднозначність зумовлюється як самою природою поля, так і недосконалістю методів аналізу вікових варіацій. Питання, які піки в спектрі для вказаних діапазонів є найдостовірнішими, залишаються нез'ясованими.

Варіації з періодами в діапазоні 1–20 років займають особливе місце в геомагнетизмі, оскільки в цьому діапазоні спектри варіацій внутрішнього і зовнішнього походження перекриваються. Варіації з періодом 20 років впевнено виділяються під час аналізу рядів обсерваторських спостережень. Багатьма дослідниками природа 20-річних вікових варіацій пов'язується як з внутрішнім, так і з зовнішнім джерелом. Про дві складові цього типу варіацій говорять також Т. Юкутакі і Д. Кейн [Curric, 1973], які дійшли такого висновку на основі аналізу низки сферичних коефіцієнтів для зовнішнього і внутрішнього джерел, вони знайшли в  $g_1^{0e}$  (зовнішній частині першої зональної гармоніки) варіацію з періодом 18 років, а у внутрішній частині ( $g_1^{0i}$ ) – 19 років. Просторова структура 11-річних варіацій описується в основному зональною гармонікою  $g_1^0$ . Відношення амплітуд зовнішньої і внутрішньої частини становить 0,316. Внутрішню частину цих варіацій автори пояснюють індукцією. До вікових варіацій зовнішнього походження зараховують квазидворічні варіації, виявлені Ю. Рівніним та Т. Зверевою на основі аналізу середньомісячних даних магнітних обсерваторій методом вузькосмугової фільтрації [Калинин, 1961].

Характерний період – 11 років, який виділяється у вікових варіаціях, добре відомий для сонячної і геомагнітної активності. На основі аналізу середньорічних даних магнітних обсерваторій можна стверджувати наявність причинного зв'язку між 11-річною циклічністю Сонячної активності і короткоперіодними віковими варіаціями [Mundt, Nevanlinna, 1986; Yukutake, Kain, 1987].

Окрім вищезгаданих типів вікових варіацій багато дослідників виділяють так звані аномалії вікового ходу, або тектономагнітні аномалії, до яких зараховують часові зміни локального магнітного поля, зумовлені процесами в корі та верхній мантії Землі. Діапазон тектономагнітних аномалій охоплює інтервал від хвилин і годин до кількох десятків років. Амплітуда їх може досягати десятків нТл [Максимчук та ін., 2000]. У цьому діапазоні, очевидно, має місце перекриття спектрів варіацій геомагнітного поля літосферного походження та поля SV-варіацій. Це істотно ускладнює задачу розділення тектономагнітних аномалій і SV-варіацій на основі лише спектрального аналізу і зумовлює потребу дослідження просторової структури та часових морфологічних особливостей поля SV-варіацій.

### *Морфологія вікових варіацій геомагнітного поля*

Термін “морфологія” під час вивчення просторової структури магнітного поля Землі використовується для позначення його залежності від широти і довготи. Як і головне магнітне поле, просторова структура вікового ходу описується за допомогою сферичних гармонік. Вичерпна бібліографія з морфології поля SV та аналізу карт вікового ходу наведена в монографії Ю.Д. Калініна [Калинин, 1984]. Розглянемо лише принципові моменти побудови таких карт, а також висновки, які випливають з аналізу карт SV стосовно структури та природи вікового ходу геомагнітного поля.

Широке застосування для опису структури геомагнітного поля та його вікових варіацій має теорія Гаусса, яка ґрунтується на апроксимації поля набором сферичних гармонічних функцій (моделі СГА):

$$\mathbb{W}_n^m = r \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^n (g_n^m \cos m\lambda + h_n^m \sin m\lambda) P_n^m(\cos\varphi),$$

де  $\mathbb{W}_n^m$  – віковий хід магнітного поля;

$r, \lambda, \varphi$  – сферичні координати;

$P_n^m(\cos\varphi)$  – приєднані поліноми Лежандра другого роду;

$g_n^m$  і  $h_n^m$  – швидкості змін сферичних гармонічних коефіцієнтів.

Моделі, побудовані на основі СГА, дають можливість подати в аналітичному вигляді розподіл вікових варіацій залежно від географічних координат  $\lambda$  і  $\varphi$ . Аналітичне поле, синтезоване на основі коефіцієнтів СГА, які і становлять ядро моделей IGRF, доволі детально і здебільшого достатньо точно описує варіації головного магнітного поля Землі. Однак питання оптимальної довжини сферичного гармонічного ряду залишається нез'ясованим. Так, для епохи 1965–1970 рр. міжнародне аналітичне поле (МАП) представлено рядом  $n=m=10$ , для епохи 1975–1980 рр. –  $n=m=8$ , для епохи 1977,5–1982,5 рр. –  $n=m=9$ . Для моделі МАП 1990–1995 рр.  $n=m=10$ , а для моделі вікового

ходу до  $n=m=8$  [Langel, 1992]. В останні роки з'явилися сегментні моделі СГА, які дозволяють розраховувати коефіцієнти СГА для обмежених територій.

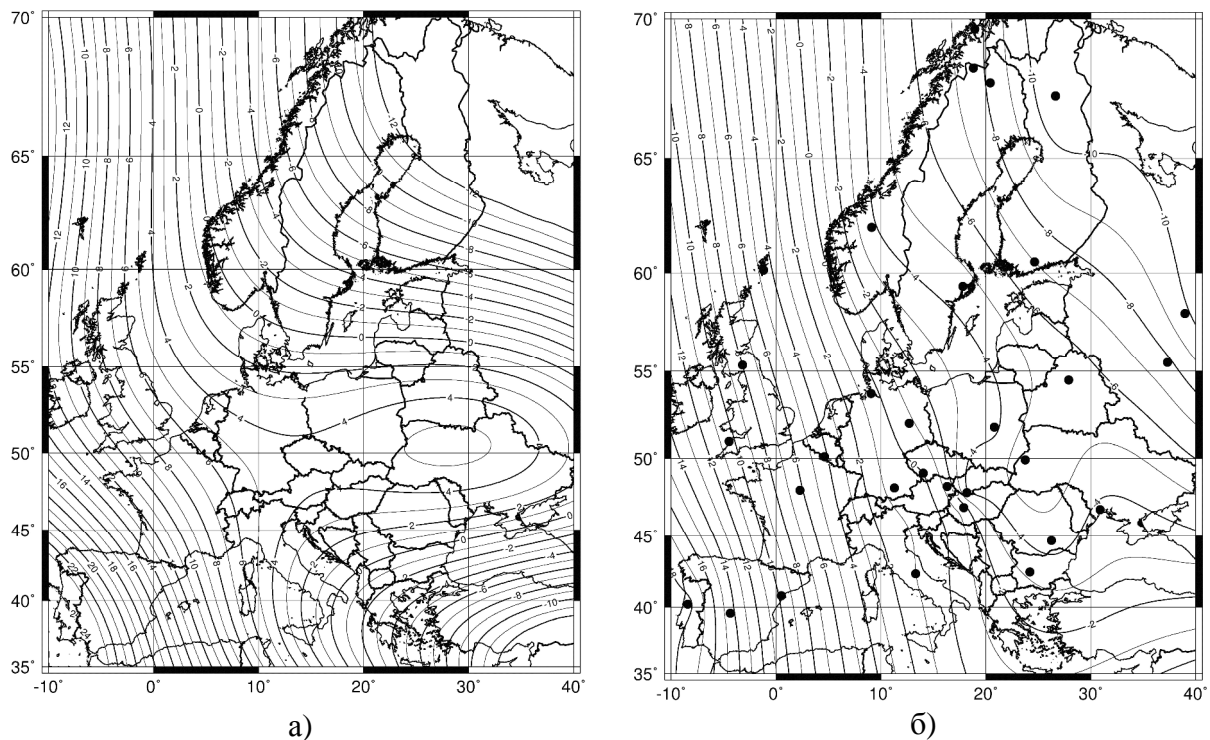
Карти вікового ходу, як фактичні, так і модельні, є свого роду моментальним знімком вікових змін геомагнітного поля. Найцікавішою особливістю таких карт є фокуси (або центри) вікового ходу, де інтенсивність змін поля досягає 100–160 нТл/рік. Причому ці зміни можуть бути як додатні, так і від'ємні.

Просторова структура вікового ходу геомагнітного поля на території Європи за період 1950–1990 рр. досліджена в роботах [Максимчук та ін., 2001; Максимчук, 2002]. У наступних розділах цієї статті наводиться порівняльний аналіз вікових змін компонент  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $D$ , отриманих на основі міжнародної аналітичної моделі IGRF та за даними магнітних обсерваторій Європи.

### **Структура вікової варіації $X$ -компоненти геомагнітного поля на території Європи та особливості її динаміки**

Структура вікової варіації (SV)  $X$ -компоненти геомагнітного поля, тобто, розподіл величини  $\Delta X/T$  ( $\Delta X$  – зміна компоненти  $X$  за проміжок часу  $T$ , який переважно приймають 5 років, відповідно до періоду зміни міжнародних аналітичних моделей геомагнітного поля IGRF) на території Європи для двох послідовних 5-річних інтервалів наведена на рис. 3, 4. Ліві частини рисунків (а) – структура варіації за прогнозами моделі IGRF-10 [www. <http://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/>], праві (б) – за даними магнітних обсерваторій (МО) Європи.

Кружечками на всіх картах, побудованих за даними МО, показані місця розташування цих обсерваторій.



**Рис. 3.** Структура вікової варіації  $X$ -компоненти геомагнітного поля на території Європи впродовж 1995–2000 рр.: а) – розрахунки за IGRF; б) – за даними МО; значення ізолейн в нТл/рік

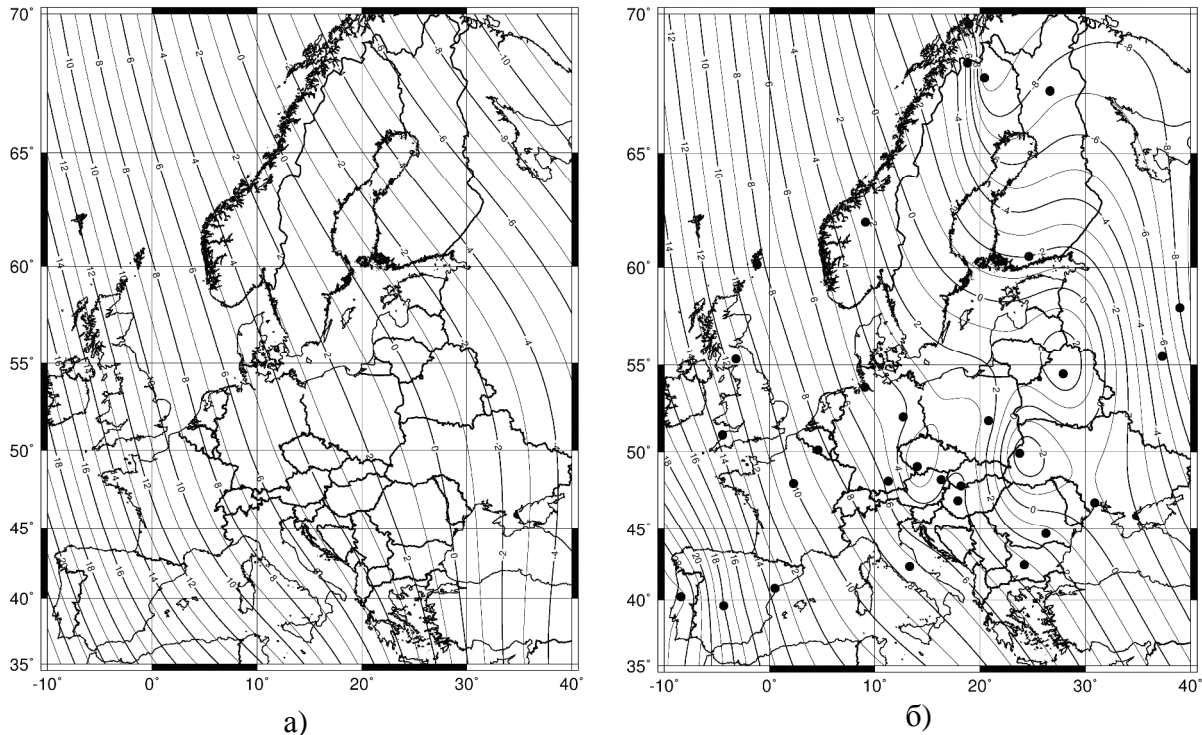
Загалом для обох 5-річних інтервалів відмінності структури вікової варіації, порахованої з використанням моделі IGRF (надалі будемо говорити коротко – IGRF-структура SV) від структури SV, побудованої за даними МО (надалі МО-структура SV) порівняно незначні. Це стосується як структурних особливостей, так і абсолютних величин, а також просторових градієнтів SV для більшої частини території Європи. Особливо близькими є всі параметри SV компоненти  $X$  для південно-західної та західної Європи, від (N35, E30) до (N60, E10). Цього і варто було очікувати, оскільки в цих регіонах Європи розташована

більшість МО, результати спостережень на яких безпосередньо використовуються під час побудови моделей IGRF. Разом з тим для території центральної і східної Європи, де густота МО помітно менша, відмінності між IGRF-структурою та МО-структурою SV для компоненти  $X$  є також доволі невеликі. Враховуючи меншу густоту МО у цих регіонах, такі відмінності в першому наближенні можна зарахувати на рахунок похибок обробки даних та інтерполяції поля.

Зроблене порівняння дає змогу висунути припущення, що віковий хід компоненти  $X$  на території Європи відображає в основному особливості

змін крупномасштабних джерел геомагнітного поля в ядрі, насамперед геомагнітного диполя. Менш потужні додаткові джерела проявились, можливо,

лише в останній період 2000–2005 рр. у вигляді кількох фокусів на території східної Європи – Україна, Польща, Білорусь, Литва (рис. 4, б).



**Рис. 4.** Структура вікової варіації X-компоненти геомагнітного поля на території Європи впродовж 2000–2005 рр.: а) – розрахунки за IGRF; б) – за даними МО; значення ізолейн в нТл/рік

#### **Структура вікової варіації Y-компоненти геомагнітного поля на території Європи та особливості її динаміки**

Структуру SV компоненти Y для тих самих 5-річних інтервалів наведено на рис. 5, 6. Порівняння крупномасштабних особливостей IGRF-структури та МО-структури SV для компоненти Y показує, що характер відмінностей між ними є дещо складнішим, ніж для відповідних розподілів компоненти X. Особливо це стосується структури і динаміки SV для компоненти Y на території центральної і східної Європи, де вона зазнала кардинальних змін. Істотними стали також відмінності між IGRF- та МО-структурою SV цієї компоненти. Найхарактернішою ознакою МО-структури SV є поява доволі інтенсивного фокусу (рис. 5). Його центральна область перебуває неподалік західного кордону України з Польщею у Львівській області. Якщо для інтервалу 1995–2000 рр. амплітуда цього фокусу відносно поля лінійного регіонального ходу становила -7 нТл/рік, то для інтервалу 2000–2005 рр. вона становила +11 нТл/рік. Такі помітні амплітуди фокусу SV, а також особливості його динаміки – від'ємна область стала додатною – виключають його виникнення за рахунок похибок редукції та інтерполяції під час побудови карти. Просторова кореляція цього фокусу компоненти Y зі згаданими раніше фокусами SV компоненти X

(рис. 3, б) дозволяє припускати, що останні також не є наслідком похибок обробки. Проте питання остаточної достовірності характеристик цих фокусів все ж таки залишається відкритим, оскільки кількість МО, за даними яких вони виділяються, є незначною.

Що стосується динаміки крупномасштабної структури SV компоненти Y, то для неї, як і для компоненти X, можна помітити деякі незначні осциляції поля в напрямі схід-захід. Правда на території східної частини Європи ці осциляції істотно спотворюються утворенням фокусу SV.

#### **Структура вікової варіації Z-компоненти геомагнітного поля на території Європи та особливості її динаміки**

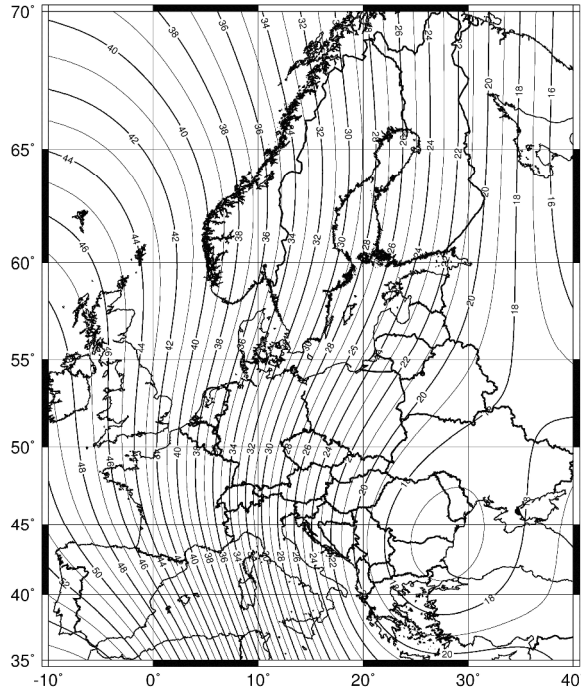
Структура SV компоненти Z для досліджуваних 5-річних інтервалів наведена на рис. 7, 8.

Особливості крупномасштабних IGRF- та МО-структур SV компоненти Z мають як спільні ознаки з відповідними структурами компонент X і Y, так і деякі відмінності.

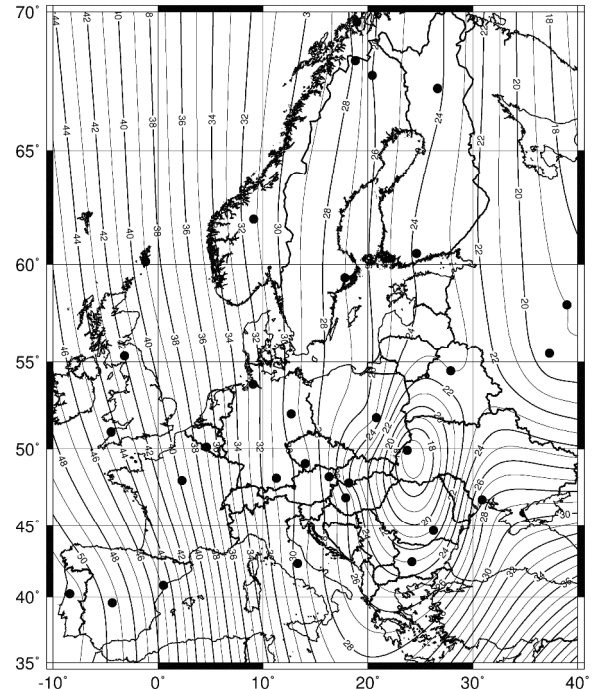
Спільними ознаками є подібність IGRF- та МО-структури в західній частині Європи. Менш помітними є осциляції поля ізопор компоненти Z в напрямі схід – захід. В IGRF-структурі SV компоненти Z для інтервалу 1995–2000 рр. в районі центральної частини Чорного моря виділяється помітний фокус. Для періоду 2000–2005 рр. мо-

дель IGRF такого фокусу, як і будь-якого іншого у віковому ході компоненти Z на території Європи не передбачала. Для МО-структури впродовж першого періоду (рис. 7, б) спостерігається подвійний фокус SV компоненти Z у східній Європі. Його південна частина має інтенсивність -7 нТл і пере-

буває поблизу західного кордону України, там де і фокус МО-структури SV Y-компоненти у цей самий проміжок часу (рис. 5, б). Північна частина фокусу SV компоненти Z перебуває поблизу північного кордону Білорусі.

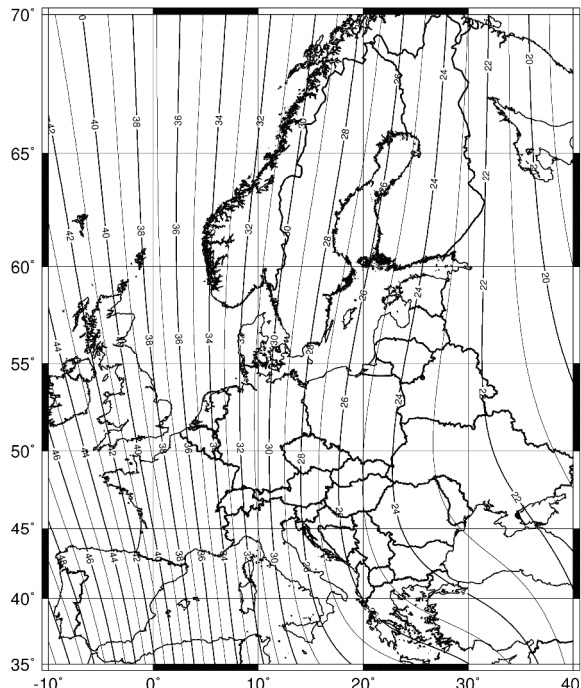


а)

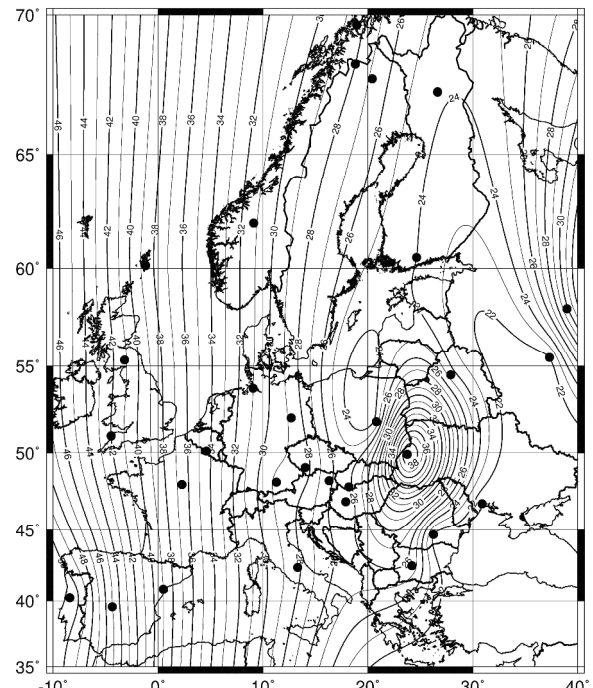


б)

**Рис. 5.** Структура вікової варіації Y-компоненти геомагнітного поля на території Європи впродовж 1995–2000 рр.: а) – розрахунки за IGRF; б) – за даними МО; значення ізоліній в нТл/рік

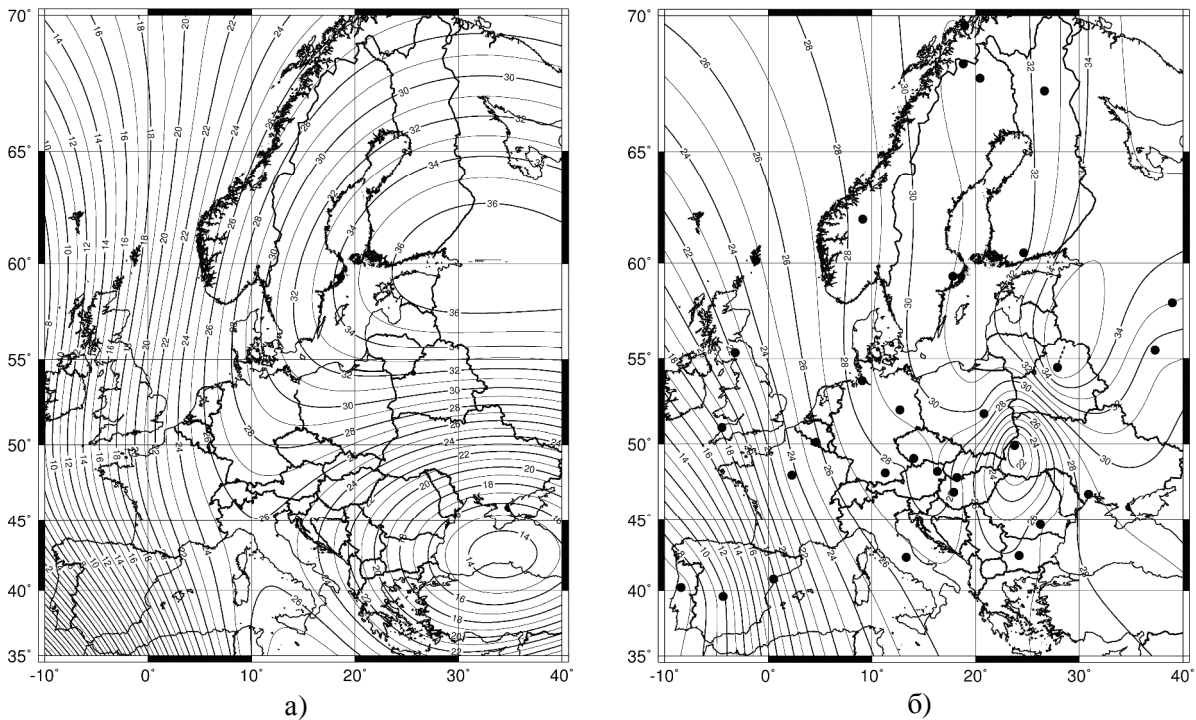


а)

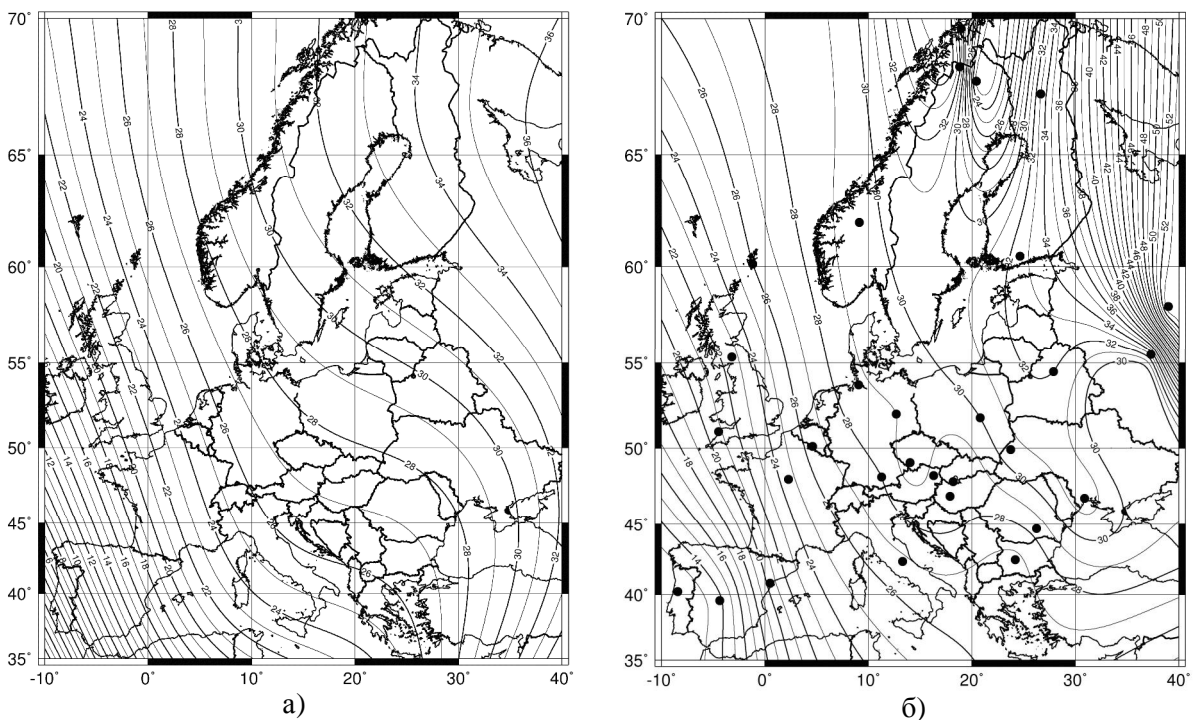


б)

**Рис. 6.** Структура вікової варіації Y-компоненти геомагнітного поля на території Європи впродовж 2000–2005 рр.: а) – розрахунки за IGRF; б) – за даними МО; значення ізоліній в нТл/рік



**Рис. 7.** Структура вікової варіації Z-компоненти геомагнітного поля на території Європи впродовж 1995–2000 рр.: а) – розрахунки за IGRF; б) – за даними МО; значення ізоліній у нТл/рік



**Рис. 8.** Структура вікової варіації Z-компоненти геомагнітного поля на території Європи впродовж 2000–2005 рр.: а) – розрахунки за IGRF; б) – за даними МО; значення ізоліній у нТл/рік

**Структура вікової варіації D-компоненти  
геомагнітного поля на території Європи  
та особливості її динаміки**

Формально для того, щоб описати віковий хід магнітного поля Землі, так як і саме геомагнітне поле на довільний момент часу, та ставити завдання їх аналізу, достатньо виявити всі основні

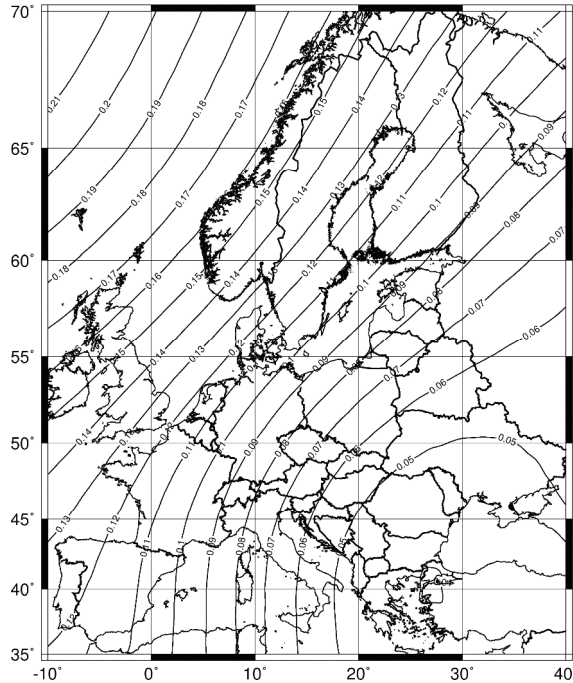
особливості структури вікової варіації для трьох незалежних компонент поля. Однак, з позицій практичного застосування під час вивчення варіацій магнітного поля Землі бажано додатково розглянути структуру вікової варіації для магнітного схилення  $D$  та її динаміку. Нагадаємо, що  $D$  – це кут між магнітним та географічним мери-



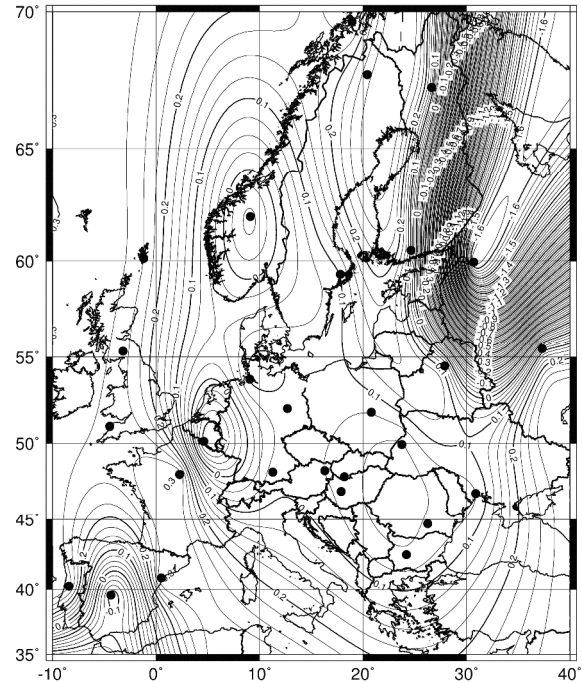
діанами в довільній точці земної поверхні. Магнітне схилення має важливе практичне значення для повітряної та морської навігації. З іншого боку, під час побудови моделей IGRF безпосередньо використовують дані про X, Y, Z компоненти геомагнітного поля. Тому можна очікувати, що

модель IGRF дає для магнітного схилення і його вікових варіацій помітно більші відхилення від реальних значень, ніж для компонент X, Y, Z.

Структуру SV магнітного схилення D для досліджуваних 5-річних інтервалів наведено на рис. 9, 10.

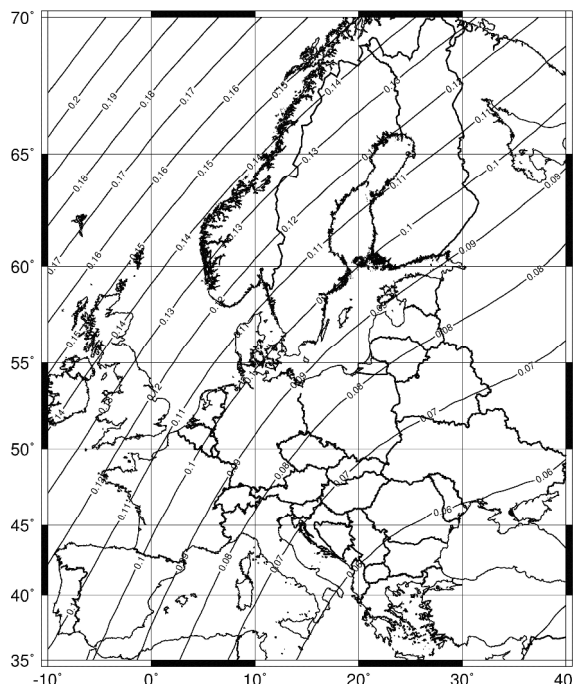


а)

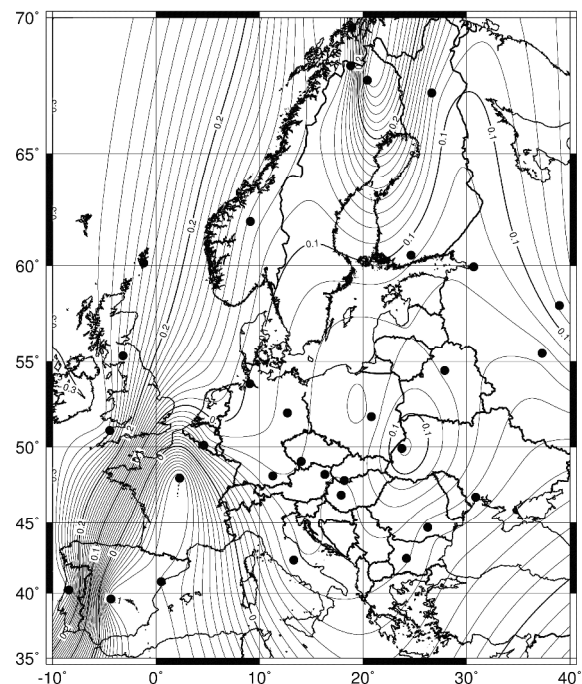


б)

**Рис. 9.** Структура вікової варіації D-компоненти геомагнітного поля на території Європи впродовж 1995–2000 рр.: а) – розрахунки за IGRF; б) – за даними МО; значення ізоліній у  $^{\circ}/\text{рік}$



а)



б)

**Рис. 10.** Структура вікової варіації D-компоненти геомагнітного поля на території Європи впродовж 2000–2005 рр. а) – розрахунки за IGRF; б) – за даними МО; значення ізоліній у  $\text{nT}/\text{рік}$



З порівняння IGRF- та МО-структури SV для D видно, що для обох інтервалів спостерігаються істотні відмінності між ними як у формі ізоліній, так і в абсолютних величинах вікового ходу. Істотно, що помітні відмінності стосуються не тільки центральної і східної Європи, але і західної частини континенту, не зважаючи на порівняно густу тут мережу МО. Якщо для жодного з узятих інтервалів у IGRF-структурі SV для D на території Європи не видно достатньо чітких фокусів, то МО-структура показує наявність кількох фокусів SV для кожного інтервалу. Інтенсивності цих фокусів порядку  $0.1^\circ/\text{рік}$ . Звернемо увагу, що один з таких фокусів для інтервалу 2000–2005 рр. перебуває поблизу західного кордону України, там само, де і фокус SV компоненти Y. Більша частина інших фокусів SV магнітного схилення не виявляють просторової кореляції з фокусами інших компонент геомагнітного поля.

### Висновки

Проведений аналіз дає змогу зробити такі основні висновки.

Для компонент X, Y, Z магнітного поля структура його вікової варіації на території західної та південної Європи, побудована за даними МО, доволі близька до результатів, отримуваних за допомогою моделі IGRF.

У східній частині Європи відмінності між даними МО і результатами моделі IGRF помітно більші, в цій частині континенту для компонент X, Y, Z виділяються локальні, однак доволі помітні фокуси вікового ходу, епіцентри яких перебувають поблизу західного кордону України. Природа цих фокусів поки-що не зовсім зрозуміла.

Найпомітніші відмінності між IGRF- та МО-структурами SV спостерігаються для магнітного схилення D, причому це стосується не тільки центральної і східної Європи, але і західної частини континенту. Очевидно, що для практичних потреб (побудови карт магнітного схилення та деяких інших) використання моделі IGRF, або інтерполяції даних МО недостатньо. Ці дані необхідно доповнювати періодичними (раз в 1–2 роки) вимірюваннями на мережах ПВХ. З отриманих результатів також видно, що структура розподілу D-компоненти та її динаміка чутливіші до аномалій літосферного походження, ніж інші компоненти геомагнітного поля.

Ця робота виконана за підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень МОН України. (Проект № Ф28.6/043. Вікові варіації геомагнітного поля в Європі).

### Література

Бурлацкая С.П. Спектр вековых вариаций геомагнитного поля по геомагнитным данным / Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1991. – № 8. – С. 115–128.

- Головков В.П., Коломийцева Г.И., Ротанова Н.М. Динамика главного магнитного поля Земли / Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли. – М.: Наука, 1989. – С. 212–232.
- Головков В.П., Ривин Ю.Р. Двадцатилетние вариации магнитного поля Земли // Геомагнетизм и аэрономия. – 1976. – Т. 16. – С. 746–748.
- Загний Г.Ф. Структура археовековых вариаций геомагнитного поля Украины и Молдавии за последние 5500 лет // Геофиз. журн. – 1981. – Т. 3, № 5. – С. 60–66.
- Калинин Ю.Д. Вековые геомагнитные вариации / Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1984. – 160 с.
- Калинин Ю.Д. Вековые геомагнитные вариации, неравномерности суточного вращения Земли и радиальные зоны Земли // Геомагнетизм и аэрономия. – 1961. – Т. 1, № 5. – С. 795–802.
- Максимчук В. Просторово-часова структура вікового ходу геомагнітного поля в Європі // Праці НТШ – 2002. – Т. 8. – С. 57–67.
- Максимчук В., Городиський Ю., Кузнецова В. Динаміка аномального магнітного поля Землі. – Львів: Євровіт, 2001. – 306 с.
- Папаташвили Н.Е., Ротанова Н.М., Фишман В.М. Оценка проводимости нижней мантии по результатам исследований 60- и 30-летних вариаций геомагнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. – 1982. – Т. 22, № 6. – С. 1010–1015.
- Пудовкин И.М., Валуева Г.Е. О характере дрейфа главного эксцентричного геомагнитного диполя // Геомагнетизм и аэрономия. – 1972. – Т. 12, № 3. – С. 511–518.
- Ривин Ю.Р. Сферический анализ циклической вариации горизонтальной составляющей магнитного поля Земли // Геомагнетизм и аэрономия. – 1975. – Т. 15, № 4. – С. 694–697.
- Ривин Ю.Р. Вариации геомагнитного поля в диапазоне периодов 10–30 лет / Пространственно-временная структура геомагнитного поля. – М.: Наука, 1976. – С. 43–51.
- Ротанова Н.М., Папаташвили Н.Е., Пушкин А.Н. Использование ортогональных полиномов для выделения длиннопериодной составляющей из временных рядов геомагнитных наблюдений // Геомагнетизм и аэрономия. – 1979. – Т. 19, № 2. – С. 330–338.
- Ротанова Н.М., Папаташвили Н.Е., Пушкин А.Н. Пространственно-временной анализ 60-летних вариаций поля по данным мировой сети обсерваторий // Геомагнетизм и аэрономия. – 1982. – Т. 12, № 5. – С. 842–851.
- Curric R.G. Geomagnetic Line Spectra - 2 to 70 years // Astrophys. and Space Science. – 1973. – 21. – P. 425–438.
- Curric R.G. Pacific Region Anomaly in the Geomagnetic Spectrum at 60-years // South. Afr. J. of Science, – 1973. – V. 69. – P. 379–383.

- Janackova A. Periodicity in the Time Changes of the Direction of the Geomagnetic Field // Stud. geoph. geoelect. – 1983. – V. 27, № 4. – P. 372–392.
- Langel R.A. International Geomagnetic Reference Field: The Sixth Generation // J. Geomagn. and Geoelectr. – 1992. – V. 44. – P. 679–707.
- Marton P. Secular variation of the geomagnetic virtual dipole field during the last 2000 years as interred from the spherical harmonical analysis of the available arckaeomagnetic data // Pure and Appl. Geophys. – 1970. – V. 81. – NIV. – P. 163–176.
- Mundt W., Nevanlinna H. Solar-Cycle Effects in Annual Means of European Geomagnetic Observatories // Gerlands Beitr. Geophysik, Leipzig. – 95 (1986) – 3. – P. 207–212.
- Nevanlinna N., Mundt W. Rapid geomagnetic variations of internal and external origin // HHI-Report. – 1987. – № 21. – P. 75–78.
- www. <http://www.ngdc.noaa.gov/AGA/vmod/>
- Yukutake T., Kain J. Solar Cycle Variations of the First Degree Spherical Harmonic Components of the Geomagnetic Field // J. Geomagn. Geoelectr. – 1979. – V. 31. – P. 509–544.
- Yukutake T., Kain J. Solar cycle variations in the annual mean values of the geomagnetic components of observatory date // J. Geomagn. and Geoelectr. – 1987. – V. 39. – № 1. – P. 19–46.

### ВЕКОВОЙ ХОД ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ ЕВРОПЫ ЗА ПЕРИОД 1995–2005 ГГ.

В.Ю. Максимчук, Ю.М. Городыский, Д.О. Марченко

Проведены исследования пространственной структуры векового хода геомагнитного поля на территории Европы. По данным магнитных обсерваторий построена серия карт вековой вариации (SV) для X, Y, Z, D-компонент геомагнитного поля для пятилетних интервалов 1995–2000 и 2000–2005 гг. Выполнено их сравнение с международными моделями IGRF. В поле векового хода на территории Европы выделены глобальные структуры – фокусы SV и изучена их кинематика.

**Ключевые слова:** геомагнитное поле; вековой ход; пространственная структура; Европа; фокусы SV.

### SECULAR VARIATIONS OF GEOMAGNETIC FIELD IN EUROPE DURING THE 1995–2005 YEARS

V.Yu. Maksymchuk, Yu.M. Horodyskyi, D.O. Marchenko

The spatial structure of geomagnetic field secular variations in Europe was examined. Using the data of geomagnetic observatories the new maps of this secular variation (SV) for X, Y, Z, D – components for 5-years intervals 1995–2000 and 2000–2005 were constructed. Their comparison with the IGRM global geomagnetic models was done. The global anomalies – SV-foci in the structure of the secular variations in Europe were discovered and their kinematics was studied.

**Key words:** geomagnetic field; secular variations; spatial structure; Europe; SV-foci.