

## Наземна абсолютна магнітна зйомка на опорній мережі пунктів вікового ходу в Україні для епохи 2005 року

© В. Ю. Максимчук<sup>1</sup>, М. І. Орлюк<sup>2</sup>, В. І. Трегубенко<sup>3</sup>,  
Ю. М. Городиський<sup>1</sup>, В. П. Мясоедов<sup>3</sup>, Є. Ф. Накалов<sup>1</sup>, 2010

<sup>1</sup>Карпатське відділення Інституту геофізики НАН України, Львів, Україна

<sup>2</sup>Інститут геофізики НАН України, Київ, Україна

<sup>3</sup>Український державний геологорозвідувальний інститут, Київ, Україна

Надійшла 22 лютого 2010 р.

*Представлено членом редколегії В. І. Старостенко*

Рассмотрены результаты наблюдений компонент геомагнитного поля на восстановленной сети пунктов векового хода (ПВХ) в Украине. Описаны методики абсолютных геомагнитных и астрономо-геодезических измерений на ПВХ, а также методы редукции компонент геомагнитного поля к заданной эпохе. Выполнена редукция компонент геомагнитного поля на ПВХ к эпохе 2005 года. Создан каталог данных о ПВХ. Построены карты магнитного склонения на территории Украины и проведен сравнительный анализ полученных результатов с расчетами для модели IGRF-2005. Показано, что в пространственной структуре магнитного склонения выделяется несколько региональных аномалий интенсивностью 1—2°.

The results of the geomagnetic field components on renewed Ukrainian repeat stations (RS) network are considered. The methods of absolute geomagnetic and astro-geodetic measurements are described, as well as methods of geomagnetic field reduction to certain epoch. The reduction of geomagnetic field components are carried out to 2005 year epoch. The catalogue of RS is created. The maps of magnetic declination for Ukraine are constructed and comparison with results calculated by model IGRF-2005 has been done. It is shown that in spatial structure of magnetic declination one can distinguish several regional anomalies with intensity 1—2°.

**Вступ.** Дослідження просторово-часової структури магнітного поля Землі (МПЗ) є важливим та актуальним завданням у зв'язку з розв'язанням низки фундаментальних і прикладних проблем геофізики. Однією з таких проблем є проблема, з одного боку, розділення МПЗ на поля, які пов'язані із джерелами зовнішнього та внутрішнього походження, а з іншого — розділення поля внутрішнього походження на головне (нормальне), яке зумовлене процесами в рідкому ядрі, та аномальне поле літосферної природи. Для розв'язання цієї проблеми необхідні кондиційні дані щодо абсолютних значень компонент МПЗ на поверхні планети та їх часових змін. Найвисокоточніші безперервні спостереження і розрахунок значень усіх компонент МПЗ виконують на магнітних обсерваторіях (МО),

періодичні заміри (2—5 років) — у так званих пунктах вікового ходу (ПВХ). Ці спостереження є вкрай необхідними для вирішення таких завдань:

- оцінка та аналіз просторово-часової динаміки МПЗ, його розділення на окремі складові та дослідження їх природи;
- розробка моделей нормального магнітного поля Землі (IGRF), тих чи інших його компонент для епох з інтервалом у 5 років, а також проміжних інтервалів;
- побудова графіків аномального магнітного поля вздовж окремих профілів і розробка кондиційних різномасштабних карт цього магнітного поля на епоху магнітної зйомки;
- зведення до одного рівня та епохи різночасових магнітних зйомок МПЗ і розробка зведених карт аномального магнітного поля.

Отже, вирішення цих завдань, зокрема побудова карт різних масштабів для великих територій, на яких неможливо здійснити магнітну зйомку протягом короткого часу (в межах одного року), потребує нормального функціонування МО та створення і постійної підтримки мережі ПВХ, на яких би систематично (з періодичністю 2—5 років) визначали всі складові повного вектора індукції магнітного поля Землі —  $X, Y, Z, H, T, D, I$ . Перша генеральна магнітна зйомка (ГМЗ) території України із замірами абсолютних значень компонент МПЗ, яка дала змогу вперше отримати інформацію про регіональні особливості геомагнітного поля території України, була виконана у 1930—1940 рр. [Розе, 1937]. Остання наземна ГМЗ на території України була виконана протягом 1969—1972 рр., її середня щільність 1 пункт на 400 км<sup>2</sup> [Крутиховська та ін., 1973; Орлюк, Роменец, 2003]. З метою зведення результатів довготривалих і різночасових зйомок з нерівномірним розташуванням пунктів до єдиної епохи і масштабу на початку 1970-х років була створена опорна мережа ПВХ України, яка налічувала 39 пунктів. Абсолютні значення модуля вектора геомагнітного поля  $T$  вимірювали протонним магнітометром М-20,  $H$  — кварцовим Н-магнітометром (QHM). Середньоквадратичні похибки зйомки на цій мережі: для  $T \pm 2,4$  нТл,  $H \pm 4,0$  нТл,  $Z \pm 2,5—4,5$  нТл,  $D — 1',3$ . Наступну магнітну зйомку на мережі ПВХ виконували в 1974—1975 рр. Зведення вимірів компонент геомагнітного поля до середини року здійснювали за даними МО "Львів", "Київ", "Одеса". Результати цих робіт були використані для побудови схем вікового ходу всіх компонент геомагнітного поля на території України та ЄСРР і для побудови карти нормального поля для епохи 1975 р. [Крутиховская и др., 1982]. На окремих ПВХ магнітні спостереження виконували до 1985 р.

Однак з часу останньої зйомки пройшло вже понад 30 років. Очевидно, що деяка кількість тих пунктів була практично втрачена. Тому мета цієї роботи полягала в оцінці стану, відновленні й розширенні мережі ПВХ на території України та проведенні повного циклу вимірювань компонент геомагнітного поля на цій мережі. Роботи з оцінки стану були розпочаті Інститутом геофізики ім. С.І. Субботіна (ІГФ) НАН України та Карпатським відділенням (КВ) ІГФ НАН України у 2003—2004 рр. [Maksymchuk, Orlyuk, Korepanov, 2003; Orlyuk, 2003]. У зв'язку з поставленим

завданням насамперед слід було відновити кондиційну роботу геомагнітних обсерваторій, які є необхідною і базовою ланкою мережі ПВХ і без яких неможливі зведення абсолютних спостережень до нормального рівня і оцінка зміни значень компонент МПЗ на території України. Завдячуючи старанням директора ІГФ НАН України акад. В. І. Старостенка щодо співробітництва із закордонними організаціями (Франція, Росія) з відновлення роботи МО та укладення договору з УкрДГРІ, з 2003 р. стала можливою цифрова реєстрація варіацій магнітного поля на МО "Київ", обчислення повних значень компонент геомагнітного поля та зведення до них замірів на ПВХ. За нормального функціонування МО "Київ" та "Львів" і фінансування з боку УкрДГРІ протягом 2006—2007 рр. силами КВ ІГФ НАН України та УкрДГРІ було виконано повний цикл робіт на розширеній до 51 пункта мережі ПВХ.

**Обґрунтування необхідності вимірювань на ПВХ.** Крім завдання розробки аналітичних моделей IGRF та узгодження даних магнітних зйомок різних років, періодичні вимірювання елементів земного магнетизму на мережах ПВХ дають змогу досліджувати вікові зміни геомагнітного поля, будувати карти його вікового ходу (SV), виявляти вклад у SV джерел різної природи та глибинності. Про важливість цієї проблеми свідчить те, що лише за останні роки були проведені 4 міжнародні наради: у Потсдамі (Німеччина, 2003), Варшаві (Польща, 2005), Бухаресті (Румунія, 2007), Нурміярві (Фінляндія, 2009) [Maksymchuk et al., 2003; Maksymchuk, Orlyuk, 2005; Максимчук та ін., 2006; Maksymchuk et al., 2007; 2009]. На першій з цих нарад була започаткована Європейська міжнародна ініціатива — MagNetE (Magnetic Network in Europe), в роботі якої активну участь бере Україна. Основна мета MagNetE — створення об'єднаної європейської мережі ПВХ, узгодження методик і програм проведення компонентних геомагнітних спостережень. Потребу в таких даних мають геологічні, геофізичні, топогеодезичні, військові та інші організації і відомства, які здійснюють магнітні зйомки та використовують у різних цілях геомагнітні дані.

Важливою функцією опорної мережі є забезпечення побудови нормального магнітного поля. Нагадаємо, що виходячи з існуючих уявлень про складові МПЗ, для виділення аномального магнітного поля, зумовленого магнітоактивним шаром земної кори, як нормальне

поле приймають суму:  $H_n = H_0 + H_T$ , де  $H_0$  — дипольне магнітне поле;  $H_T$  — недипольне або материкове магнітне поле. Сума дипольного і недипольного полів отримала назву головного магнітного поля Землі [Яновский, 1978]. Під нормальним магнітним полем у вузькому розумінні цього терміна в епоху становлення магніторозвідки розуміли поле, на фоні якого слід виділити аномалії певного класу. Широко застосовували карти нормального поля, які будували в Інституті земного магнетизму, іоносфери та поширення радіохвиль АН СРСР (ІЗМІРАН) для території СРСР. Карти нормального магнітного поля ІЗМІРАН будували з використанням методики графічного згладжування спостереженого магнітного поля. Отримане у такий спосіб нормальне поле, враховуючи масштаби території СРСР, у першому наближенні відповідало полю  $H_n = H_0 + H_T$ . Такі карти території СРСР були побудовані для епох 1950, 1965 рр. [Винц, Почтарев, 1965; Карта ..., 1977].

У світовій практиці побудови нормального поля останніх десятиліть широко застосовують моделі нормального (головного) магнітного поля, які ґрунтуються на розкладенні поля в ряд за сферичними функціями [Barton, 1997]. Моделі, побудовані на основі синтезу сферично-гармонічних функцій, досить детально і здебільшого з достатньою точністю описують про-

сторовий розподіл нормального магнітного поля на поверхні Землі. Такі моделі приймають як Міжнародне еталонне геомагнітне поле — МЕГП (IGRF — International Geomagnetic Reference Field), або МАП — міжнародне аналітичне поле.

Для побудови моделей IGRF використовують результати геомагнітних спостережень на опорних мережах з усіх країн світу. Похибки визначення нормального поля за використання IGRF становлять 2—5 %, тобто від 100 до 250 нТл, що сумірно з величиною локального магнітного поля. При цьому на точність зображення нормального поля, особливо якщо йдеться про великі території, суттєво впливає щільність мережі спостережень. Отже, врахування результатів спостережень на ПВХ України може суттєво покращити точність зображення нормального поля її території.

Актуальність проведення магнітної зйомки на опорній мережі та побудови новітніх карт нормального магнітного поля і вікового ходу на території України загострилась ще й у зв'язку з тим, що у Східну Європу наприкінці ХХ ст. перемістився глобальний центр вікового ходу магнітного поля (рис. 1). Це зробило практично непридатними для використання без додаткових досліджень існуючі міжнародні моделі головного магнітного поля і

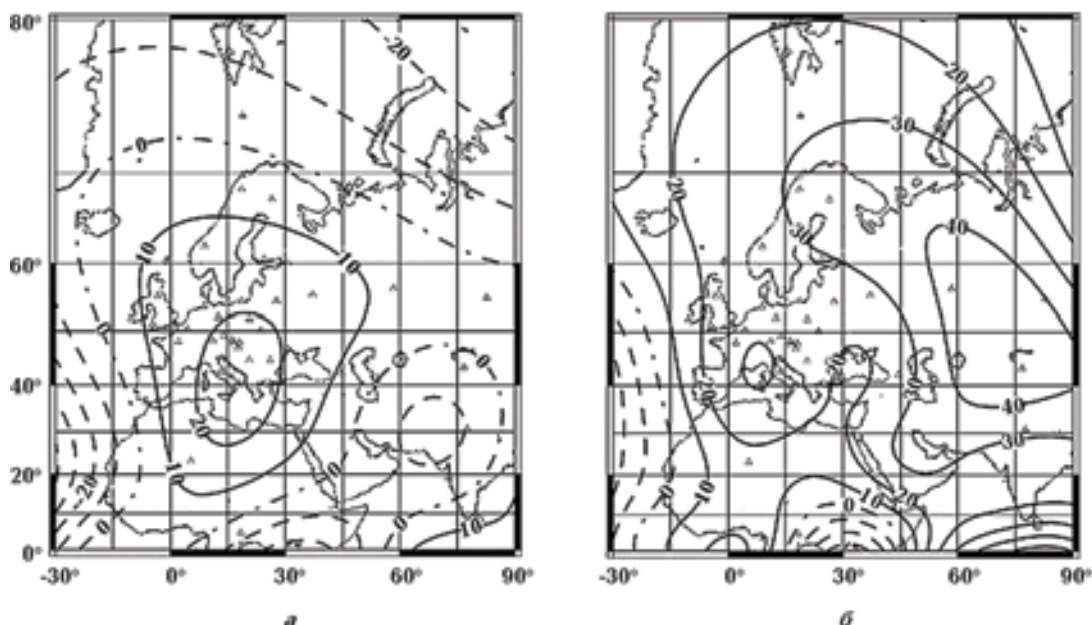


Рис. 1. Віковий хід магнітного поля  $\delta T$  (нТл/рік) за періоди 1990—1995 (а) і 1995—2000 рр. (б), за даними магнітних обсерваторій Європи [Максимчук та ін., 2005].

вікових варіацій на цій території. Моделі вікової варіації передбачають лінійні зміни головного магнітного поля, тоді як вони мають значно складніший характер.

Як видно з рис. 2, відхилення вікового ходу компонент  $F$  і  $D$  від модельних значень для низки обсерваторій Європи досягають 10—15 нТл. При цьому в Північній і Східній

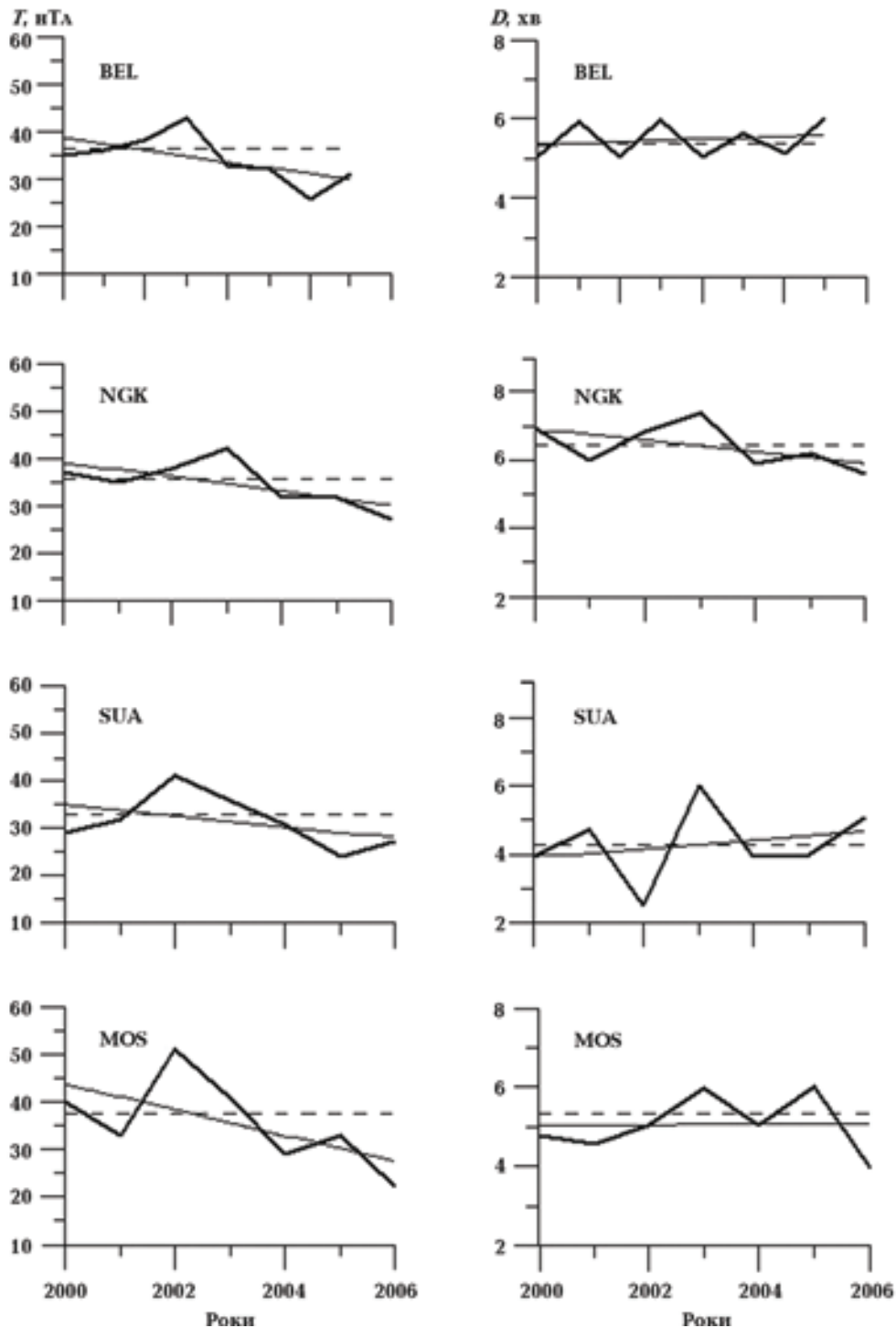


Рис. 2. Віковий хід модуля повного вектора геомагнітного поля  $T$  та магнітного схилення  $D$  для деяких обсерваторій Європи: Більськ (BEL), Німегк (NGK), Сурларь (SUA), Москва (MOS). Суцільна тонка лінія — лінійний тренд вікового ходу, штрихова лінія — віковий хід за моделлю IGRF-2005 [www.obsomag].

Європі спостерігається трендова складова до 3 нТл/рік.

Зіставлення вікового ходу за моделлю IGRF-2005 з даними, отриманими на магнітних обсерваторіях для території Європи, засвідчує помітні відмінності не лише в їхній просторовій структурі, а й в інтенсивності вікового ходу (рис. 3, 4). У спостереженому віковому ході поля  $T$  (рис. 3, а) досить виразно виділяються зони складної конфігурації ізопор у Центральній і Східній Європі. Структура модельного вікового ходу (рис. 3, б), характеризується монотонним зростанням у північно-східному напрямку. Відмінності інтенсивності вікового ходу  $T$  особливо помітні у Східній Європі.

Структура вікового ходу магнітного схилення, побудована за даними МО (рис. 4, а), ще помітніше відрізняється від результатів моделі (рис. 4, б). Звертає на себе увагу наявність кількох регіональних фокусів вікового ходу  $D$ -компоненти, один з яких перебуває на територіях України та Польщі з інтенсивністю в центрі понад  $0,1^\circ$  за рік, тоді як за результатами моделі вся територія України повністю лежить в зоні незначного просторового градієнта вікового ходу  $D$ : від  $0,06^\circ$  за рік на південному сході України до  $0,07^\circ$  за рік на заході (рис. 4, б).

Отже, актуальність відновлення та розширення опорної магнітної мережі України і проведення на ній регулярних періодичних гео-

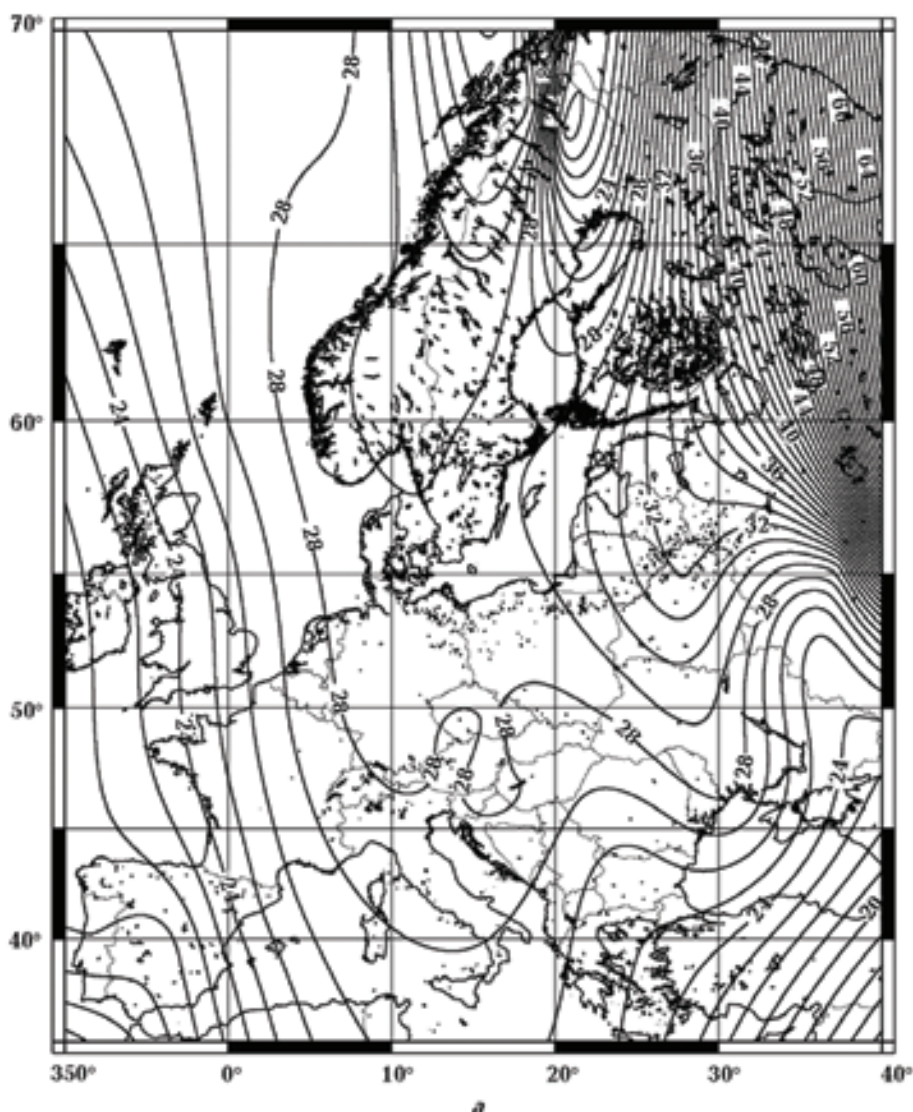


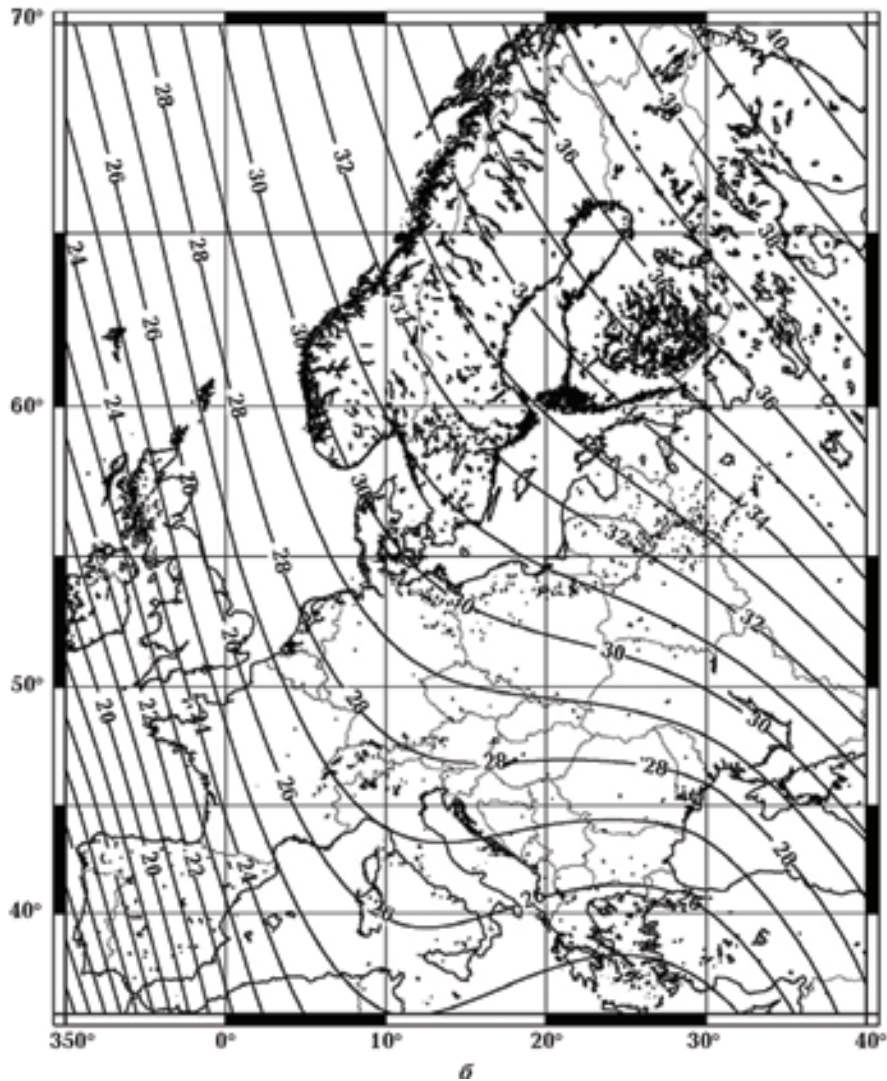
Рис. 3. Віковий хід геомагнітного поля  $T$  (нТл/рік) за період 2000—2005 рр.:

магнітних спостережень на високому метрологічному рівні та відповідно до міжнародних стандартів не викликає сумніву.

**Технологічні та методичні особливості вимірювань на ПВХ.** Неоднаковість умов проведення магнітних вимірювань у різних регіонах і використання для вимірювань різних типів приладів є причиною відсутності єдиної стандартної методики закладення мережі пунктів та організації вимірювань вікового ходу геомагнітного поля. Однак з огляду на забезпечення певного рівня інформативності результатів і точності знаходження компонент геомагнітного поля і їх часових змін існує низка рекомендацій [Jankowsky, Sucksdorf, 1996; Newitt et al., 1996] щодо досліджень

вікового ходу елементів земного магнетизму, яких по можливості бажано дотримуватись. Коротко зупинимось на найзагальніших рекомендаціях.

**Вибір місця закладення та маркування ПВХ.** Основні рекомендації щодо місця закладення та маркування ПВХ такі [Инструкция ..., 1981; Newitt et al., 1996]. ПВХ бажано закладати в місцях, де компоненти магнітного поля є репрезентативними для достатньо великого району, тобто бажано уникати зон помітних геомагнітних, геоелектричних і техногенних аномалій. Магнітне поле має бути однорідним у місці закладення ПВХ. Допускається градієнт поля до 3 нТл/м. ПВХ необхідно маркувати, тобто закладати в місці проведення по-



*a* — за даними магнітних обсерваторій; *b* — за моделлю IGRF-2005.

вторних вимірювань деякий предмет з довговічного немагнітного матеріалу, наприклад, закопувати мармуровий стовп або поліхлорвінілову трубу. Вимога маркування зумовлена необхідністю встановлення компонентного магнітометра в одне і те саме місце в різних циклах повторних зйомок. Точність установа магнітометра може бути у межах від 1 до 10 см, залежно від величини градієнта магнітного поля на пункті й від відстані до міри, тобто об'єкта, азимут якого необхідно визначити для знаходження магнітного схилення.

Міра має бути достатньо надійною фундаментальною спорудою (наприклад церква), щоб азимут на неї з точки ПВХ не змінювався. Азимут міри завжди визначають з деякою

похибкою. За виконання цієї рекомендації похибка матиме систематичний характер для магнітних вимірювань і у віковому ході буде відсутня. Якщо ж кожен раз вибирати іншу міру, то похибка визначення азимута міри матиме випадковий характер і буде наявна у значеннях вікового ходу компонент геомагнітного поля.

Бажано, щоб протягом усього циклу вимірювань поблизу ПВХ реєстрували варіації компонент геомагнітного поля, тобто безперервно працювала магнітоваріаційна станція (МВС). Важливо, щоб МВС не переустановлювали протягом усього циклу вимірювань. Рекомендації щодо точності визначення елементів земного магнетизму на ПВХ такі: для

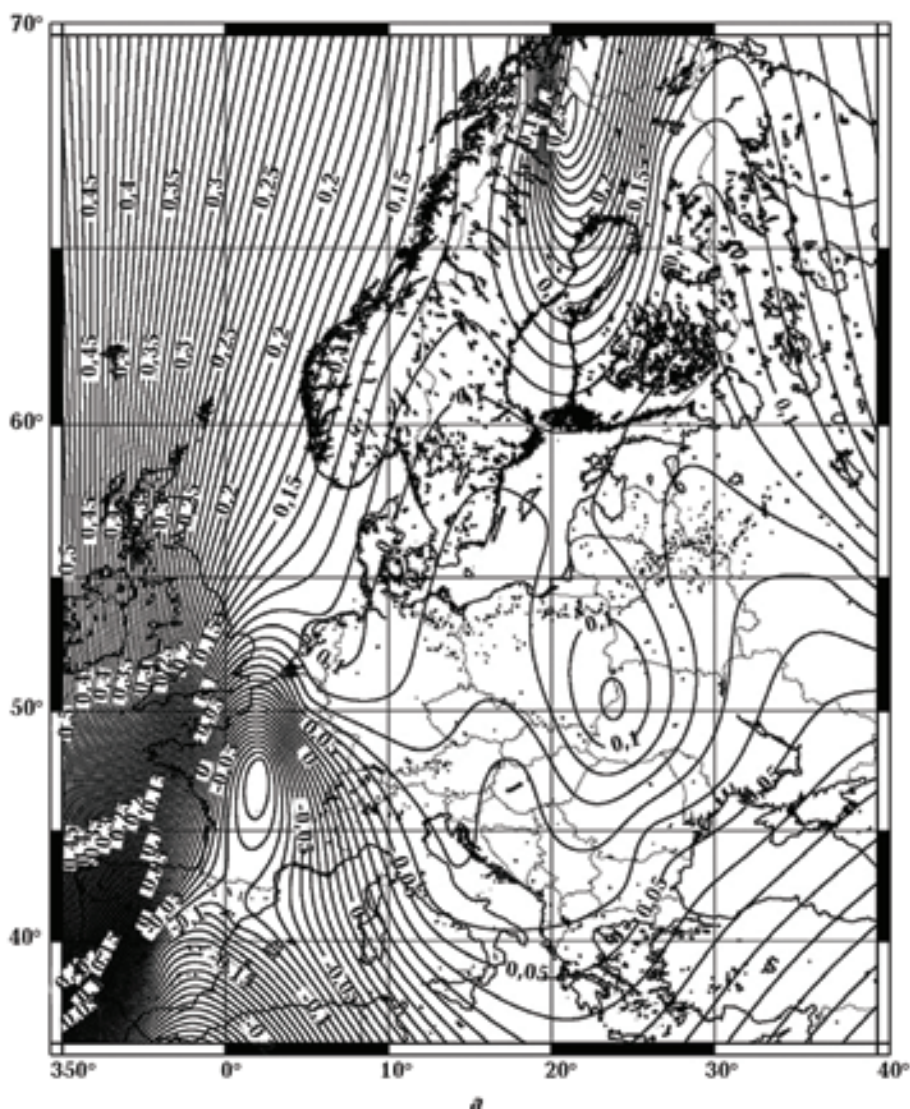
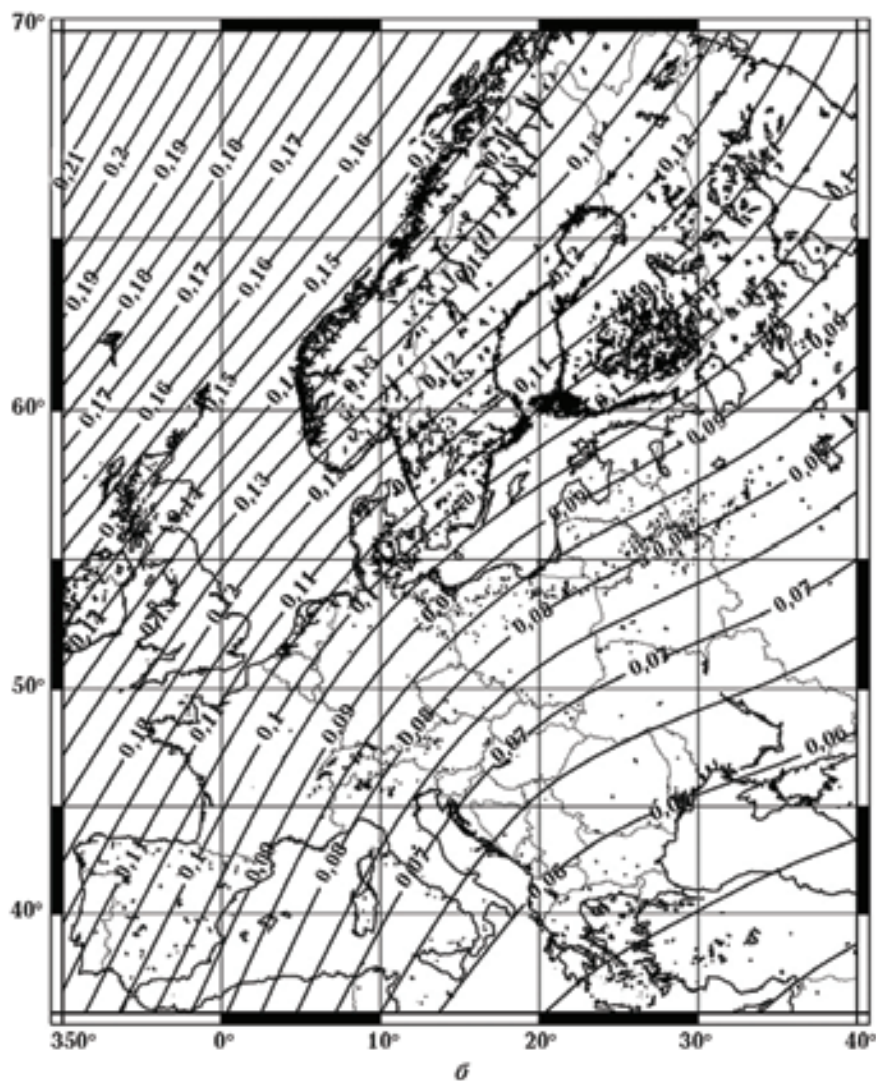


Рис. 4. Віковий хід магнітного схилення  $D$  ( $^{\circ}$ /рік) за період 2000—2005 рр.:

лінійних компонент ( $X, Y, Z$ ) — до 5 нТл; для магнітного нахилення (кут  $I$ ) — до 30''; для магнітного схилення (кут  $D$ ) — до 1'.

**Щільність мережі та частота повторних вимірювань.** За рекомендацією Міжнародного союзу геодезії і геофізики (IUGG), для презентабельності картування магнітного поля і його змін бажано, щоб відстань між пунктами мережі не перевищувала 200 км [Vestine, 1961]. Повторні вимірювання на ПВХ бажано проводити через 2 роки, ця вимога диктується можливістю враховувати дані вікового ходу під час побудови моделей вікових варіацій. У гіршому разі допускається 5-річний інтервал між вимірюваннями, що відповідає періоду оновлення карт.

**Апаратура.** В процесі виконання польових робіт використовували такі прилади: ферозондовий деклінометр-інклінометр LEMІ-203 виробництва Львівського центру Інституту космічних досліджень НАН і НКА України (ЛЦ ІКД НАН і НКА України), змонтований на немагнітному теодоліті ЗТ2КП; протонні магнітометри МИНИМАГ та МВ-01 виробництва заводу "Геологоразведка" (Росія), точність виміру модуля 0,1 нТл; ферозондова цифрова трикомпонентна магнітоваріаційна станція LEMІ-018 виробництва ЛЦ ІКД НАН та НКА України; персональний навігатор GPS-72 GAR-MIN, прилад застосовували для планової прив'язки ПВХ і визначення точного часу; теодоліти ЗТ2КП і УТ2М—для вимірювання азимутів мір.



*a* — за даними магнітних обсерваторій; *b* — за моделлю IGRF-2005.



**Методи визначення азимутів мір на ПВХ.**

Для знаходження магнітного схилення  $D$ , а отже, для можливості розрахувати компоненти  $X$  і  $Y$  геомагнітного поля необхідно попередньо знайти азимут на деякий об'єкт — міру, до якої за виконання усіх вимірювань здійснюють прив'язку горизонтальної шкали теодоліта. Якщо позначити через  $A_M$  азимут міри,  $\alpha_M$  — відлік на горизонтальній шкалі теодоліта при наведенні на міру,  $\alpha_D$  — відлік на горизонтальній шкалі теодоліта, що відповідає напрямку магнітного меридіана, то величину магнітного схилення  $D$  можна знайти з виразу  $D = \alpha_D + A_M - \alpha_M$ .

На сучасному етапі в практиці абсолютних компонентних геомагнітних вимірювань використовують три типи методологій визначення азимутів міри: високоточні вимірювання координат ПВХ і міри за допомогою GPS, гіртеодолітів, астрономічні методи. Для знаходження азимутів з точністю  $10''$ — $30''$  за допомогою GPS-вимірювань слід використовувати спеціальні високоточні GPS, що дають змогу визначати координати з точністю  $0,0001''$ . Гіртеодоліти можуть бути корисними під час вимірювань у штольнях або в особливих кліматичних умовах, коли протягом тривалого часу може спостерігатись суцільна хмарність. Астрономічні методи не потребують додаткового обладнання і, враховуючи можливість використання звичайних GPS для визначення координат ПВХ і контролю часу, виявляються найпростішими в практичній реалізації. Крім того, за астрономічними методами як міру можна використовувати безпосередньо астрономічні об'єкти (зорі та планети). Останнє вказує на перспективи можливості проведення вимірювань у нічний період доби — за умов спокійного магнітного поля, а також у районах, де надійну міру на земній поверхні вибрати неможливо.

Для визначення азимутів мір або, загальніше, для зведення горизонтальної шкали теодоліта до географічного меридіана використовують методи годинного кута світила, зенітної відстані або варіанти їх комплексування [Пандул, 1983].

Нами проведено порівняння таких методів з позицій вимірювань на ПВХ [Городиський, 2007]. У цьому циклі для визначення азимутів мір на всіх ПВХ ми застосовували дещо модифікований метод годинного кута Сонця, який дає змогу використовувати меншу кількість способів фіксації краю сонячного диска, ніж за загальноприйнятим методом. Для об-

числень азимутів і висот Сонця використовували астрономічну програму [Chris Marriott, 2001].

**Методика вимірювань компонент геомагнітного поля на ПВХ.** Для знаходження всіх елементів земного магнетизму на ПВХ необхідно вимірювати три незалежні компоненти геомагнітного поля. Ферозондові магнітометри типу ЛЕМАД, змонтовані на теодолітах ЗТ2КП, дають змогу безпосередньо вимірювати кути  $D$  та  $I$  (магнітне нахилення). Модуль повного вектора магнітного поля  $F$  вимірювали протонним магнітометром.

Для вимірювання кутів  $D$  та  $I$  використовували методику "нуль-пункту". Вона ґрунтується на тій особливості, що коли вісь ферозонда перебуває в площині, перпендикулярній до вектора індукції магнітного поля, на виході магнітометра генерується сигнал, який дорівнює нулю. Очевидно, коли вісь ферозонда перебуває в площині горизонту, індикація нуля відбувається, якщо кут між напрямком магнітного меридіана і віссю ферозонда дорівнює  $90^\circ$  у напрямі заходу або сходу. Якщо вісь ферозонда перебуває в площині, що проходить через зеніт і магнітний меридіан, індикація нуля відбувається, коли відстань осі ферозонда від зеніту або від наддира дорівнює величині магнітного нахилення  $I$ . Отже, якщо б вісь ферозонда і оптична вісь труби теодоліта були строго паралельні, достатньо було б щонайбільше двох відліків для знаходження кутів  $D$  та  $I$ . Однак практично завжди подібна паралельність відсутня. Це є причиною систематичної похибки в кожному одиничному вимірюванні. Така похибка буде виключена, якщо для вимірювання кожного з кутів  $D$  та  $I$  проводити цикли з 4 вимірів. Не деталізуючи технічні особливості методики, зауважимо, що за умов спокійного або помірно збуреного геомагнітного поля зовнішнього походження вона забезпечує точність вимірювань кутів  $D$  та  $I$  у межах  $10''$ — $30''$ . У разі сильно збуреного поля ця методика може призводити до помітних похибок. Причинами цього є тривалість повного виміру (8 одиничних замірів), протягом якого магнітне поле дещо змінюється, а також неодноразовість вимірювання кутів  $D$  та  $I$ . Тому завдання оптимізації методики в напрямках зменшення кількості способів вимірювань та організації одночасності вимірювання обох кутів є дуже актуальним, оскільки його вирішення дало б змогу скоротити термін проведення циклу вимірювань на ПВХ.

**Редукція елементів земного магнетизму на ПВХ до заданої епохи.** Редукція елементів геомагнітного поля — це зведення вимірювань у той чи інший період компонент геомагнітного поля до певної дати. Найзручніше редукцію проводити для компонент  $X$  — північна,  $Y$  — східна,  $Z$  — вертикальна складові поля. Здебільшого редукцію здійснюють до середини року, в якому вимірювали компоненти геомагнітного поля. Проте якщо вимірювання на мережі пунктів проводили у різні роки, то з метою побудови карт елементів земного магнетизму і їх вікових варіацій редукцію виконують до якоїсь спільної епохи. Зрозуміло, що, чим менший відрізок часу між періодом вимірювань та епохою редукції, тим точніший результат редукції. Щоб таке узгодження могло мати сенс, редукцію потрібно здійснювати до тієї чи іншої МО або до множини обсерваторій.

Вибір оптимальної методики редукції залежить від системи умов, за яких проводили вимірювання.

I. Рівень магнітної активності: 1) магнітоспокійні умови або помірно активне магнітне поле; 2) високий рівень магнітної активності.

II. Стан забезпечення магнітоваріаційних спостережень (МВС) на ПВХ: 1) неперервні МВС протягом усього періоду вимірювань; 2) наявність МВС лише безпосередньо під час вимірювань; 3) відсутність МВС.

III. Геоелектрична ситуація в районі ПВХ: 1) відсутність корових аномалій електропровідності; 2) помітний вплив аномалій електропровідності на варіації геомагнітного поля в районі ПВХ.

Випадок I. 2 незалежно від інших умов потребує спеціальних досліджень, але зрозуміло, що під час сильно збуреного магнітного поля похибки як вимірювань, так і редукції будуть об'єктивно більшими. У випадку I. 1 незалежно від умов III достатньо якісна редукція може бути здійснена навіть за відсутності МВС на ПВХ. Безпосереднє зведення до однієї з найближчих МО або до системи МО можна виконати у такий спосіб. Якщо географічна широта ПВХ і МО близькі, то редукцію кожного елемента ( $e$ ), який вимірювали на момент часу ( $t$ ) на ПВХ, до заданої епохи ( $U$ ) здійснюють згідно з виразом [Newitt et al., 1996]

$$e(U) = e(t) + E(U) - E(t), \quad (1)$$

де  $E(U)$ ,  $E(t)$  — величина цього елемента на МО на епоху ( $U$ ) і момент часу ( $t$ ) відповідно.

У регіонах з малою щільністю МО (за суттєвих відстаней між ПВХ і МО) такі способи редукції можуть призвести до значних похибок для  $e(U)$ . У таких випадках не тільки бажано, а й необхідно забезпечити неперервні МВС протягом усього циклу абсолютних компонентних вимірювань. Якщо неперервні МВС забезпечені, то незалежно від умов I і III можна запропонувати майже універсальний метод редукції. Спершу здійснюємо редукцію на епоху найспокійніших нічних годин ( $N$ ) на період вимірювань на ПВХ:

$$e(N) = e(t) + \varepsilon(N) - \varepsilon(t), \quad (2)$$

де  $\varepsilon(N)$ ,  $\varepsilon(t)$  — відліки елемента ( $e$ ), взяті з МВС на епоху спокійного поля і на момент абсолютного виміру відповідно.

Далі за даними МО зводять виміри до заданої епохи ( $U$ ):

$$e(U) = e(N) + E(U) - E(N). \quad (3)$$

Важливо, щоб відрізок часу між епохою вимірювання і епохою редукції не був великим. Допустимі проміжки часу для редукції кожної пари ПВХ і МО можна оцінювати тим надійніше, чим частіші повторні виміри на ПВХ.

Отримані нами результати на переважній більшості ПВХ задовольняють вимогам щодо точності вимірювань — середньоквадратичні відхилення лінійних компонент геомагнітного поля не більші 3,5 нТл, а середньоквадратичні відхилення кутів  $D$  та  $I$  не перевищують  $1'$  та  $30''$  відповідно.

**Результати.** За результатами першого циклу польових вимірювань компонент геомагнітного поля на ПВХ проведено їх редукцію до середини 2005 р. з використанням безперервних МВС на обсерваторіях "Київ", "Більськ", "Львів".

За зіставленням результатів, отриманих за даними натурних спостережень і розрахованих відповідно до моделі IGRF-2005, розбіжності між лінійними компонентами ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) можуть становити від десятків до кількох сотень нанотесла (див. таблицю). Розбіжності у величині кутів магнітного схилення в різних регіонах можуть варіювати від секунд дуги до більш ніж півградуса. Поле аналітичної моделі для території України практично усіх компонент є доволі гладким і не виявляє наявності локальних (регіональних) великих градієнтів в окремих регіонах. Однак реальні результати вказують, що такі градієнти є, особливо це стосується магнітного схилення  $D$  (рис. 5).

Каталог ПВХ і компонент геомагнітного поля для території України на епоху 2005 року  
(за даними зйомки 2006—2007 рр.)

№ п/п	Пункт	Координати пункту			Компоненти геомагнітного поля							
		Широта, φ	Довгота, λ	Х, нГл	У, нГл	Z, нГл	T, нГл	H, нГл	D	I		
1	Балаклія	49° 36' 10,9"	36° 50' 00"	20 465	2839	46 377	50 771	20 663	7° 53' 04"	65° 59' 12"		
2	Баштанка	47 30 34,8	32 06 23,6	20 977	2257	44 673	49 403	21 098	6 07 42	64 43 22		
3	Бердичів	50 03 55,5	28 35 24,1	19 788	1769	45 647	49 782	19 866	5 06 19	66 28 56		
4	Берегове	48 14 03	22 38 51	20 587	1542	44 223	48 804	20 644	4 16 48	64 58 39		
5	Берегомет	48 11 50	25 22 39,6	20 700	1610	44 515	49 118	20 761	4 26 24	64 59 54		
6	Біла Церква	49 49 09,8	29 46 24,7	19 829	2179	45 613	49 784	19 948	6 15 55	66 22 48		
7	Бориня (Турка)	49 03 18	23 03 30,7	20 337	1665	44 540	48 991	20 405	4 40 38	65 23 15		
8	Верхньодніпровськ	48 31 21	34 25 15,6	20 390	2275	45 550	49 959	20 517	6 21 42	65 45 10		
9	Волноваха	47 37 35,5	37 37 18,1	20 617	2473	46 000	50 469	20 765	6 49 43	65 42 24		
10	Гадяч	50 28 34,8	33 59 06,5	19 249	2275	46 455	50 337	19 383	6 44 25	67 21 06		
11	Голуба Загока	44 25 17,8	33 58 56	22 691	2223	42 993	48 662	22 799	5 34 18	62 04 12		
12	Горохів	50 34 48,5	24 31 20,3	19 513	1453	45 747	49 756	19 567	4 15 34	66 50 35		
13	Гуляйполе	47 46 38,5	36 08 45,9	20 775	2809	45 581	50 171	20 965	7 41 18	65 18 09		
14	Деятин	48 32 56,3	24 38 01,7	20 566	1738	44 598	49 142	20 639	4 49 37	65 10 05		
15	Держинськ	48 23 56,6	37 45 51,8	20 512	2479	45 549	50 016	20 662	6 52 57	65 36 09		
16	Димер (обсерваторія)	50 48 22	30 16 25,5	19 242	2103	46 308	50 190	19 357	6 14 11	67 18 55		
17	Диканька	49 50 22,5	34 37 28,6	19 728	2273	46 134	50 226	19 859	6 34 15	66 42 37		
18	Жашків	49 07 04,6	30 00 53,3	19 763	1900	44 764	48 969	19 854	5 29 25	66 04 56		
19	Завадів (Яворів)	50 03 51,5	23 23 24	19 771	1716	45 381	49 530	19 844	4 57 34	66 22 55		
20	Кальна (Долина)	48 57 11	23 48 51,3	20 423	1738	44 661	49 139	20 497	4 51 39	65 20 57		
21	Кам'янець-Подільський	48 34 38,7	26 36 22	20 480	1998	44 848	49 342	20 577	5 34 03	65 21 19		
22	Канів	49 44 19	31 23 11,1	19 704	1841	45 433	49 556	19 789	5 20 11	66 27 53		
23	Ківерці	50 58 13,5	25 31 58,6	19 017	1788	45 904	49 720	19 101	5 22 28	67 24 28		
24	Кіровоград	48 33 50,3	32 01 10,1	20 233	2199	45 031	49 416	20 352	6 11 52	65 40 54		

25	Ковель	51 26 55,7	24 45 29	18 818	1532	45 811	49 549	18 879	4 39 27	67 36 10
26	Кодима	48 03 49	29 04 29,3	20 567	1590	45 109	49 601	20 626	4 24 43	65 25 50
27	Курортне	45 54 15	30 16 04,8	22 122	2055	43 851	49 156	22 216	5 16 47	63 08 15
28	Луганськ	48 33 31,1	39 41 46,7	20 253	2645	46 353	50 654	20 426	7 25 50	66 13 11
29	Любомль	51 16 00	24 00 28	18 753	1430	45 661	49 382	18 807	4 21 35	67 36 51
30	Немирів	49 00 26,9	28 39 59,5	20 044	2146	44 674	49 011	20 159	6 06 19	65 42 55
31	Нижнє Селище	48 11 51,3	23 27 21,4	20 703	1597	44 083	48 728	20 764	4 24 26	64 46 51
32	Нижні Сірогози	46 50 09	34 24 40,3	21 333	2047	44 529	49 416	21 430	5 28 05	64 18 15
33	Овруч	51 05 55	28 42 42,3	18 931	1829	45 642	49 446	19 019	5 31 15	67 22 45
34	Ожунівка	45 21 51,6	32 45 02,7	22 110	2071	43 446	48 791	22 206	5 20 17	62 55 57
35	Орілька	48 57 20,6	35 47 39,5	19 956	2419	45 901	50 110	20 103	6 54 19	66 20 59
36	Орлівка	46 39 37,6	36 06 19,5	21 531	2405	44 877	49 832	21 665	6 21 19	64 14 04
37	Первомайськ	48 02 28,9	30 44 47,9	20 635	1623	44 637	49 201	20 697	4 29 14	65 07 30
38	Прилуки	50 35 19	32 08 47	19 263	2330	46 169	50 081	19 404	6 53 43	67 12 14
39	Рені	45 20 16,8	28 26 28,4	22 307	1932	43 032	48 507	22 389	4 55 29	62 31 09
40	Рогатин	49 27 16	24 35 20,5	20 111	1580	45 199	49 496	20 173	4 29 31	65 56 56
41	Сарни	51 14 12,4	26 45 32,5	18 959	2012	46 164	49 946	19 066	6 03 42	67 33 33
42	Старобільськ	49 07 05,7	38 52 02,9	20 242	2638	46 608	50 882	20 414	7 25 03	66 20 50
43	Степанівка	46 46 36,9	30 54 00,4	21 246	1326	44 222	49 077	21 284	3°33 13	64 18 09
44	Суми	51 00 00,5	35 06 04,1	19 063	2814	46 419	50 260	19 270	8 23 49	67 27 19
45	Урзуф	46 53 09,9	37 03 37,7	21 354	2374	44 513	49 426	21 486	6 19 42	64 14 17
46	Херсон	46 46 35,6	33 06 56,5	21 344	2080	44 475	49 376	21 445	5 33 42	64 15 40
47	Черкаси	49 24 20,6	32 40 11,5	19 943	2261	45 457	49 691	20 071	6 27 55	66 10 36
48	Чернігів	51 30 44	31 26 33,5	18 571	1829	46 767	50 353	18 660	5 37 40	68 14 50
49	Чортків	48 59 58	25 55 37,5	20 424	1697	45 023	49 467	20 493	4 44 28	65 31 43
50	Шелехівка	49 56 17,7	27 14 49,7	20 003	1709	45 270	49 521	20 075	4 52 50	66 05 13
51	Шостка	51 48 10	33 24 07	18 676	2769	46 800	50 465	18 881	8°26 07	68 01 44
52	Ястремівка	45 30 58,7	34 07 36,7	22 097	2202	43 647	48 970	22 206	5 40 35	63 02 26

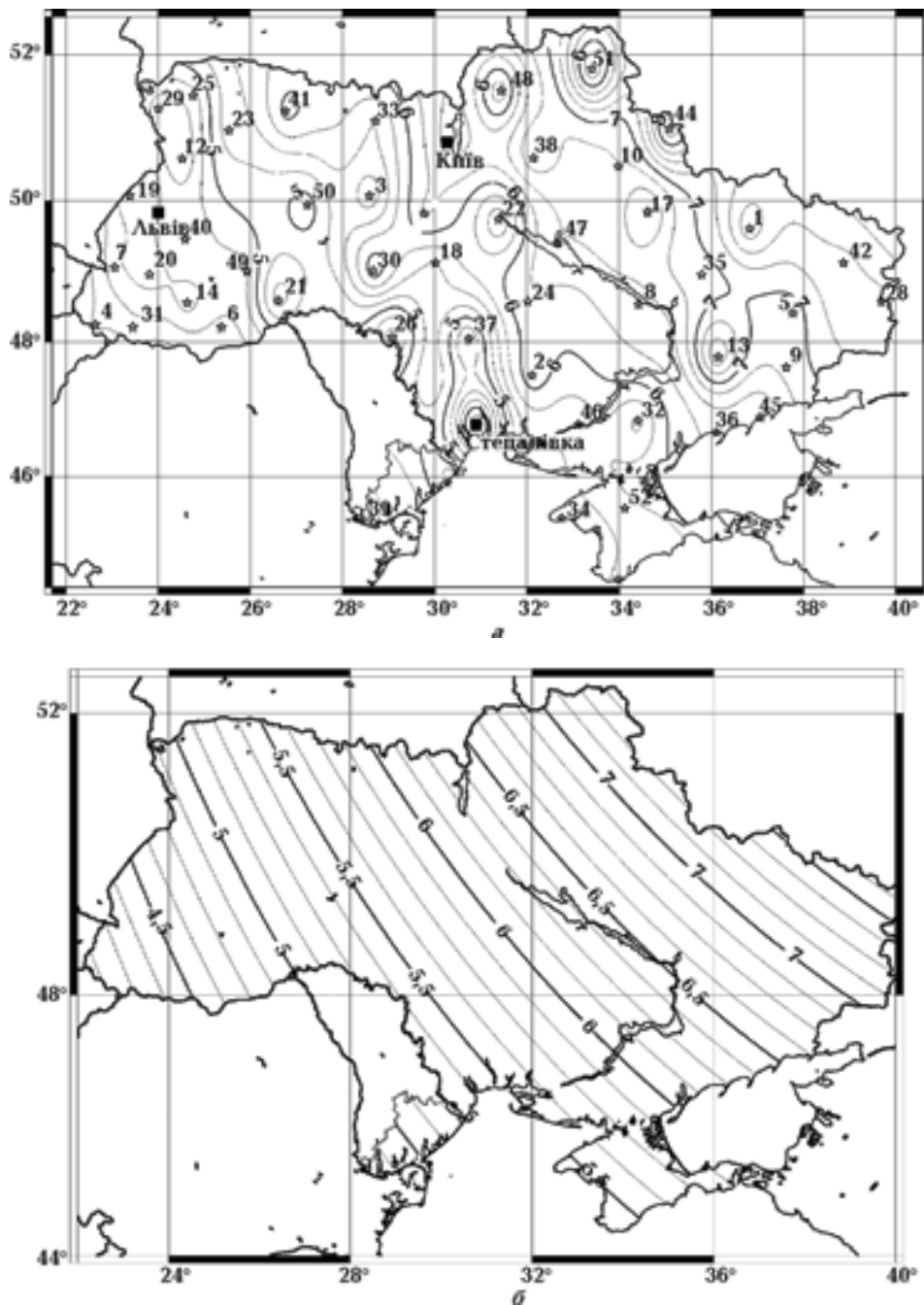


Рис. 5. Ізолінії магнітного схилення  $D$  на території України, побудовані за результатами вимірювань на ПВХ (а) і за розрахунками з використанням моделі IGRF-2005 (б). Зірочками позначені ПВХ, чорні квадрати — магнітні обсерваторії.

Величина магнітного схилення  $D$  змінюється в межах від  $4^\circ$  на заході України до  $8^\circ$  на її сході. При цьому спостерігається досить складна просторова структура  $D$ . На фоні загального тренду у північно-східному напрямку в просторовій структурі  $D$  виділено декілька аномалій регіонального поширення. Особ-

ливо яскраво регіональні особливості виявляються на карті різниць спостереженого і модельного полів — карті аномальної частини магнітного схилення ( $\Delta D$ ) (рис. 6). Від'ємна регіональна аномалія інтенсивністю до  $-1,9^\circ$  спостерігається на південному заході України. На сході України в структурі  $\Delta D$  виділена

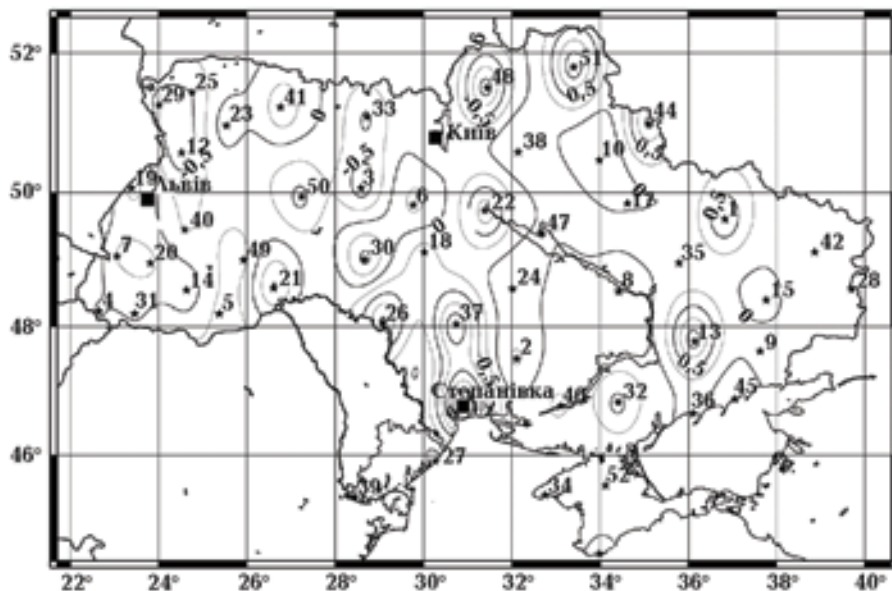


Рис. 6. Ізолінії аномальної частини магнітного схилення на території України.

інтенсивна додатна аномалія (до  $1,2^\circ$ ). Дещо меншої інтенсивності аномалії  $\Delta D$  виявлені в районі Карпат, Волино-Поділля. Структура  $\Delta D$  у загальних рисах узгоджується з тектонічною будовою та регіональним аномальним магнітним полем. Це засвідчує значний вплив на величину і структуру магнітного схилення геологічної будови та аномалій магнітного поля.

**Висновки та рекомендації.** З урахуванням інформації про мережу 1972 р. (ІГФ НАН України) і за результатами робіт 2003—2004 рр. (ІГФ, КВ ІГФ НАН України) відновлено і знов створено 51 ПВХ. Ці пункти розташовані приблизно рівномірно стосовно головних структурно-тектонічних елементів території України.

Зіставлення результатів, отриманих за даними натурних спостережень і розрахованих відповідно до моделі IGRF-2005, виявили помітні розбіжності між ними для усіх компонент геомагнітного поля, особливо для магнітного схилення.

Для детальнішого дослідження особливостей реального поля і уточнення карт аномального магнітного поля бажано дещо згустити мережу ПВХ під час проведення наступного повторного циклу вимірювань.

Результати геомагнітних спостережень на ПВХ використовуватимуть для уточнення моделі нормального магнітного поля на території України та вивчення його вікових змін.

### Список літератури

Винц Б.Д., Почтарев В.И. Построение нормальных магнитных полей расчетным путем // Настоящее и прошлое магнитного поля Земли. — Москва: Наука, 1965. — С. 79—87.

Городиський Ю. Особливості астрометричних методик при вимірюваннях геомагнітного схилення // Нові геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища: Матеріали наук. конф. (м. Львів, жовт. 2007 р.). — Львів, 2007. — С. 17—19.

Дослідження сучасної геодинаміки Українських

Карпат / За ред. В. І. Старостенка. — Київ: Наук. думка, 2005. — 256 с.

Інструкція по магниторазведке (наземная магнитная съемка, аэромагнитная съемка, гидромагнитная съемка) / М-во геологии СССР. — Ленинград: Недра, 1981. — 263 с.

Карта аномального магнитного поля ( $\Delta T$ )<sub>a</sub> СССР (континентальная часть и некоторые прилегающие акватории). — 1 : 2 500 000 / Под ред. З. А. Макаровой. — Москва: ГУГК, 1977. — 16 л.

- Крутиховская З.А., Пашкевич И.К., Силина И.М.* Магнитная модель и структура земной коры Украинского щита. — Киев: Наук. думка, 1982. — 216 с.
- Крутиховська З.О., Пашкевич І.К., Русаков О.М., Соловійов В.Д.* Наземна абсолютна магнітна зйомка території Української РСР // Вісн. АН УРСР. — 1973. — № 9. — С. 101—102.
- Максимчук В.Ю., Орлюк М.І., Трегубенко В.І.* Стан та перспективи вивчення вікового ходу геомагнітного поля в Україні: Тези доп. наук. конф. до 75-річчя проф. Я.С. Сапужака "Нові геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища", 5 жовт. 2006 р., м. Львів. — Львів, 2006. — С. 49—50.
- Орлюк М.И., Роменець А.О.* Геомагнитное поле Украины: экологический аспект // Геолог України. — 2003. — № 1. — С. 64—70.
- Пангул И.С.* Астрономические определения по Солнцу для географов, геологов и топографов. — Москва: Недра, 1983. — 128 с.
- Розе Т. Н.* Региональные магнитные аномалии Украины и их связь с геотектоникой // Учен. зап. Ленингр. ун-та. Сер. физ. наук. — 1937. — № 3. — С. 123—133.
- Яновский Б. М.* Земной магнетизм. — Ленинград: Наука, 1978. — 580 с.
- Barton C.E.* International Geomagnetic Reference Field: The Seventh Generation // J. Geomag. Geoelectr. — 1997. — 49. — P. 123—148.
- Chris Marriott*, 2001: [www.skymap.com](http://www.skymap.com).
- Jankowsky J., Sucksdorf C.* Guide for magnetic measurements and observatory practice. — Warsaw, Poland: IAGA, 1996. — 236 p.
- Maksymchuk V. Yu., Orlyuk M.I.* The conditions of secular variation investigations in Ukraine // 2<sup>nd</sup> Workshop "On European Geomagnetic Repeat Station Survey 2004—2005". Abstracts (Warsaw, 6—8 Apr. 2005). — Warsaw, 2005. — P. 10.
- Maksymchuk V., Orlyuk M., Korepanov V.* Geomagnetic survey in Ukraine // Workshop on European geomagnetic repeat station (February 20—21, 2003, ADOLF Schmidt-Observatory for Geomagnetism, Nimegk. — <http://www.gfz-potsdam.de/pb2/pb23/GeoMag/repstat/abstracts-short.html>.
- Maksymchuk V., Orlyuk M., Horodyskyj Yu., Tregubenko V., Chobotok I., Nakalov E., Myasoe-dov V.* Ukraine magnetic repeat stations survey (2006—2007) // The 4<sup>th</sup> MagNetE Workshop on Eur. Geomagnetic Repeat Station Survey (Helsinki, Finland, 8—10 June 2009). — Helsinki, 2009. — P. 23.
- Maksymchuk V., Tregubenko V., Horodyskyj Yu., Orlyuk M., Nakalov E., Chobotok I.* Repeat stations measurements in Ukraine in 2006 Year // The 3<sup>rd</sup> MagNetE WORKSHOP "On European Geomagnetic Repeat Station Survey". Program and Abstracts (Bucharest, Romania, 14—16 May 2007). — Bucharest, 2007. — P. 25.
- Newitt L R., Barton C. E., Bitterly J. U.* Guide for magnetic repeat station surveys. — Boulder: IAGA, 1996. — 112 p.
- Orlyuk M. I.* Geomagnetic investigations carried out with using the Ukrainian observatory data // IUGG 2003 Abstract / file://E:\abst\gav.01\019888-1.html.
- Vestine E.H.* Instruction manual on world magnetic survey // IUGG-IAGA Monograph. — 11a. — 1961. — 152 p.
- [www.obsmag.ipgp.jussieu. fr/imo/form.html](http://www.obsmag.ipgp.jussieu.fr/imo/form.html).