

УДК 538.713

МАГНІТНЕ СХИЛЕННЯ ТА ІНШІ КОМПОНЕНТИ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ТЕРИТОРІЇ ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНИ ДЛЯ ЕПОХИ 2007 РОКУ

В. Максимчук, Ю. Городиський, Є. Накалов

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України, м. Львів,

В. Трегубенко

Український Державний геолого-розвідувальний Інститут, м. Київ

Ключові слова: геомагнітне схилення, пункти вікового ходу.

Постановка проблеми

Дослідження просторового розподілу елементів земного магнетизму та їхніх вікових змін є не тільки частиною фундаментальної проблеми вивчення та інтерпретації вікових варіацій магнітного поля Землі, але й безпосередньо пов'язане із вирішенням низки актуальних практичних завдань. Особливе значення серед елементів земного магнетизму має магнітне схилення D та його зміни в часі. Цей параметр використовують у своїй діяльності геологічні, геофізичні, геодезичні, військові та інші організації, підприємства та відомства для розв'язання задач топографо-геодезичного спрямування, для потреб навігації, судноплавства та авіації. Магнітне схилення та його річні зміни є обов'язковими елементами топографічних карт різного масштабу. Згідно з пунктами 4.10.1 і 4.10.2 "Основних положень створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000 – 1:1 000 000" на топографічних картах масштабів 1:10 000 – 1:200 000 вказується величина схилення магнітної стрілки на рік створення карт та дані про річні зміни схилення. За наявності магнітних аномалій схилення вказується також діапазон його значень. На картах масштабів 1:500 000 – 1:1 000 000 наводять ізогони з інтервалом 1° .

Дані про елементи земного магнетизму, зокрема і про магнітне схилення, отримують під час виконання абсолютних компонентних геомагнітних спостережень на опорній геомагнітній мережі або мережі пунктів вікового ходу (ПВХ) магнітного поля Землі. Всім елементам земного магнетизму притаманна змінність у часі і просторі. Особливістю магнітного схилення у помірних широтах є помітно вища, ніж для

інших компонент, просторова неоднорідність та величина вікового ходу. Очевидно, що для забезпечення зазначених вимог необхідно використовувати результати наземних вимірювань геомагнітного схилення, а також його вікових змін. Зазначені особливості не дають змоги повною мірою використовувати для практичної діяльності дані про магнітне схилення, які наводяться на топографічних картах за минулі роки (понад п'ять років).

Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Часові зміни D за даними магнітних обсерваторій досягають $10'$ за рік, водночас спостерігаються також помітні зміни в часі його просторової структури [1, 2]. Результати наших попередніх вимірювань, виконаних у 2004 році на чотирьох режимних геофізичних станціях у Закарпатті [3] показали, що відхилення значень D , отриманих з топографічних карт масштабу 1:100 000, з урахуванням вказаних на цих картах вікових змін магнітного схилення, від реальних величин D досягають $1,5^\circ$ [4]. Ненадійність прогнозування магнітного схилення за даними топографічних карт прямо залежить від віку карти. Міжнародні моделі геомагнітного поля (IGRF) дають дещо ближчі до реальних значення магнітного схилення, однак і для них різниця зі спостереженими даними є значною – від кількох десятків до 1° і більше [4, 5]. Така проблема може бути вирішена за допомогою мережі ПВХ, на якій регулярно виконують повторні вимірювання компонент геомагнітного поля. Мережі ПВХ створені і функціонують практично у всіх країнах Європи. Рекомендована за міжнародними нормами щільність ПВХ становить приблизно 1 пункт на 10 тис. кв. км, а інтервал між повторними вимірами 2 – 5 років [6]. Мережу ПВХ на території України створили працівники ІГФ НАН України у 70-х роках ХХ ст. Вона

налічувала 39 пунктів, на яких у 1972 р. було виконано вимірювання всіх компонент магнітного поля Землі [7]. Однак регулярні вимірювання на мережі не провадилися протягом більш ніж 30 років, тому вона була практично втрачена. Відновлена протягом 2006 – 2007 рр. силами КВ ІГФ НАН України та УкрДГРІ за завданням Державної геологічної служби мережа ПВХ України налічує 51 пункт, з них у західній частині України закладено 18 ПВХ.

Методи визначення компонент геомагнітного поля

Для визначення магнітного схилення D необхідно попередньо знайти азимут напрямку на деякий об'єкт, до якого під час виконання усіх вимірювань здійснюється приведення горизонтальної шкали теодоліта. Такий об'єкт прийнято називати мірою. Якщо позначити через A_M азимут міри, α_M – відлік на горизонтальній шкалі теодоліта при наведенні на міру, α_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 у практиці абсолютних компонентних геомагнітних вимірювань використовують три типи методологій визначення азимутів міри: високоточні вимірювання координат ПВХ та міри за допомогою GPS й обчислення азимуту; методи, що використовують гіртеодоліти; астрономічні методи. Порівняння таких методів з позицій вимірювань на ПВХ виконано в [6, 8]. Астрономічні методи не потребують додаткового обладнання і, враховуючи можливість використання пішохідних GPS-навігаторів для визначення координат ПВХ і контролю часу, виявляються найпростішими в практичній реалізації. Крім того, астрономічні методи дають змогу як міру використовувати безпосередньо астрономічні об'єкти (зорі та планети). Останнє вказує на перспективи виконання вимірювань в нічний період доби – за умов спокійного магнітного поля. Серед астрономічних методів під час вимірювань компонент геомагнітного поля перевага віддають методам годинного кута. В наших роботах для визначення азимутів мір на ПВХ використовувався метод годинного кута Сонця з контролем часу з точністю 0,5 с.

Для вимірювання компонент геомагнітного поля на сучасному етапі здебільшого використовують ферозондові магнітметри. Для вимірювань ми застосовували ферозондовий деклінометр-інклінометр LEM1-203, змонтований на немагнітному теодоліті ЗТ2КП. Одночасно про-

тонним магнітметром МВ-01 здійснювалося вимірювання модуля повного вектора геомагнітного поля T (точність – 0.1 нТл). Для визначення кутів D та I (магнітне нахилення) використовувалась методика “нуль-пункту”. Ця методика ґрунтується на тій особливості ферозондового магнітметра, що, коли вісь зонда перебуває у площині, перпендикулярній до вектора індукції магнітного поля, на виході магнітметра генерується сигнал, який дорівнює 0 нТл. Очевидно, якщо вісь ферозонда перебуває у площині горизонту, індикація нуля відбувається, коли кут між напрямом магнітного меридіана і віссю ферозонда становить рівно 90° у бік заходу або у бік сходу. Якщо вісь ферозонда перебуває у площині, що проходить через зеніт і магнітний меридіан, індикація нуля відбувається тоді, коли віддаль осі ферозонда від зеніту або від надиру дорівнює величині магнітного нахилення I . Аналіз характерних похибок під час вимірювання компонент геомагнітного поля ферозондовим магнітметром, а також аналіз конкретних методик виконання компонентних геомагнітних вимірювань розглядалися в [9].

Дані, отримані під час вимірювання компонент геомагнітного поля, ще не є остаточними результатами. Їх треба очистити від впливу варіацій зовнішнього іоносферного та магнітосферного походження. Це робиться за допомогою редукції (приведення) даних вимірювань до певної епохи на основі неперервних магнітоваріаційних спостережень найближчої магнітної обсерваторії (МО) або множини обсерваторій. Здебільшого редукція розраховується до середини року, в якому вимірювалися компоненти геомагнітного поля. Вибір оптимальної методики редукції залежить від системи умов, за яких здійснювались вимірювання, з одного боку, і задач, заради яких ця редукція виконується. Методи редукції розглядалися в [6, 10].

Виклад основного матеріалу дослідження

Як вже згадувалось, у західній частині України закладено 18 ПВХ – 11 у 2006 році та 7 у 2007 році. Причому у 2007 році виконано повторні вимірювання на всіх 11 ПВХ, закладених у 2006 році. Це дало змогу, по-перше, привести значення на всіх 18 ПВХ до однієї епохи – середини 2007 року, по-друге – визначити величину вікового ходу компонент магнітного поля на 11 ПВХ. Зазначені обставини є основними причинами того, що в цій роботі ми розглядаємо компоненти геомагнітного поля лише для західної частини території України. Редукція результатів вимірювань на всіх ПВХ здійснена до магнітної обсерваторії “Бельськ” [2]

Значення магнітного схилення D на епоху 2007 року та його вікові зміни $\Delta D/\Delta t$ на всіх ПВХ наведені у таблиці (колонки 5 та 8). Для повноти інформації в цій таблиці подано також значення магнітного схилення I , вертикальної компоненти геомагнітного поля Z та їх вікові зміни. Кожна комірка в колонках 4–6 розділена на дві підкомірки. У верхніх підкомірках наведено значення самих компонент поля, а у нижніх – їх середньоквадратичні відхилення.

Величина магнітного схилення D на цій території змінюється у межах від 4° на заході України до 6.5° на сході (Немирів) та півночі (Сарни). Віковий хід магнітного схилення пере-

буває у межах від $4'/\text{рік}$ до $8'/\text{рік}$. Для порівняння, віковий хід магнітного нахилення $\Delta I/\Delta t$ ніде не перевищує $1'/\text{рік}$, найбільші зміни магнітного нахилення зареєстровані на ПВХ Кам'янець-Подільський і становлять $38''/\text{рік}$. На всіх інших ПВХ віковий хід магнітного нахилення менший, ніж $30''/\text{рік}$. Магнітне схилення на території західної частини України характеризується не тільки великим віковим ходом, але і значно складнішою структурою, ніж інші компоненти геомагнітного поля. На рис. 1–3 наведено карти магнітного нахилення, вертикальної складової геомагнітного поля та магнітного схилення.

Значення компонент магнітного поля Землі на епоху 2007 року та їх вікові зміни на ПВХ

ПВХ	λ , ($^\circ\text{E}$)	φ , ($^\circ\text{N}$)	Z , нТл	D , ($^\circ$)	I , ($^\circ$)	$\Delta Z/\Delta t$, нТл/рік	$\Delta D/\Delta t$, ($'/\text{рік}$)	$\Delta I/\Delta t$, ($'/\text{рік}$)
			σZ , нТл	σD , ($''$)	σI , ($''$)			
Берегове	48,24	22,65	44272,0	4,4333	64,9875	20,4	4,933	0,250
			2,1	38,8	21			
Бориня	49,05	23,06	44599,5	4,8027	65,3882	30,5	4,533	0,067
			1,9	45,3	19,2			
Завадів	50,05	23,39	45435,7	5,115	66,3877	26,4	5,233	0,200
			1	19,7	10,4			
Н. Селище	48,19	23,46	44134,9	4,588	64,7893	23,2	7,717	0,267
			2,5	32,7	24,8			
Кальна	48,97	23,81	44721,9	5,0401	65,3611	31,8	6,483	0,433
			1,2	9	12			
Любомль	51,27	24,01	45723,2	4,5356	67,6232	31,9	6,233	0,250
			1,7	53,6	18,6			
Горохів	50,58	24,52	45800,8	4,4196	66,8486	23,6	6,183	0,283
			0,8	39,9	8,4			
Рогатин	49,46	24,59	45259,3	4,6614	65,9517	31,3	6,633	0
			1,7	21,4	17,4			
Делятин	48,54	24,63	44656,3	4,9795	65,1706	29,8	5,733	0,483
			1,8	18,9	18			
Ковель	51,44	24,76	45871,4	4,8105	67,6119			
			1,1	35,9	10,8			
Берегомет	48,19	25,38	44566,9	4,6051	65,0086	26,7	5,533	0,300
			1,9	17,8	18,9			
Ківерці	50,98	25,53	45960,6	5,5306	67,4187			
			1,7	35,6	11,1			
Чортків	49,00	25,93	45088,6	4,8657	65,5487			
			2,2	47,5	23,3			
Кам'янець Подільський	48,58	26,61	44906,8	5,7295	65,369	32,1	6,083	0,633
			2,9	15,9	29,1			
Сарни	51,24	26,76	46223,7	6,2192	67,5691			
			1,5	46,1	15,7			
Шепетівка	49,95	27,25	45332,0	5,0469	66,1018			
			1,6	35,8	11,4			
Немирів	49,00	28,67	44745,6	6,261	65,7271			
			2,8	52,5	10,7			
Кодима	48,05	29,07	45170,6	4,5631	65,4444			
			2	35	8,6			

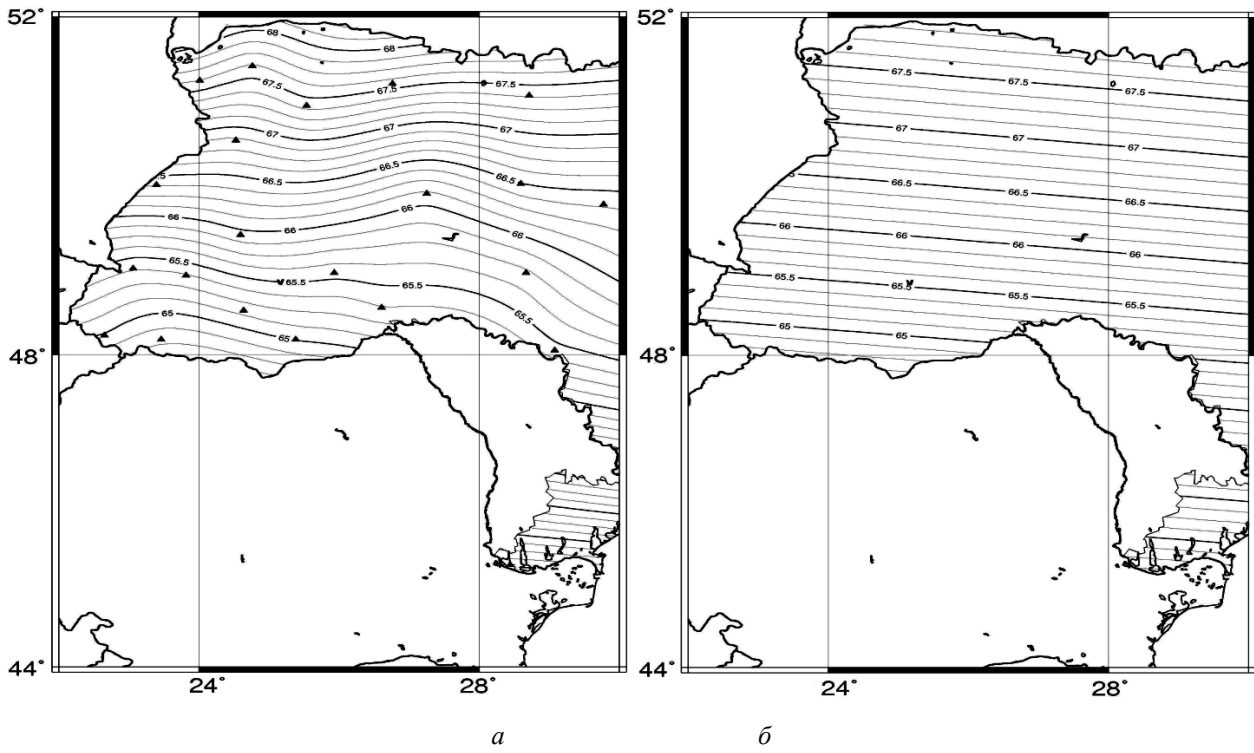


Рис. 1. Ізолінії I за результатами вимірювань на мережі ПВХ (а)
та за розрахунками за моделлю IGRF-2005 (б)

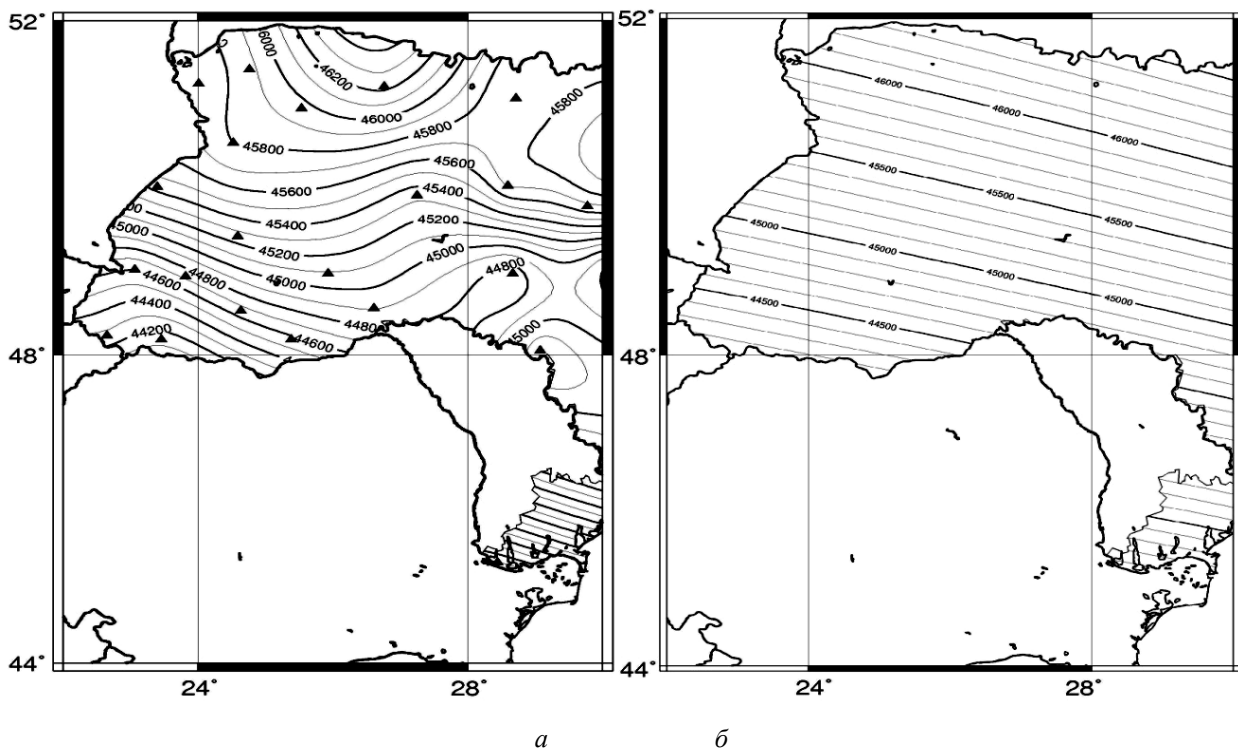


Рис. 2. Ізолінії Z за результатами вимірювань на мережі ПВХ (а)
та за розрахунками за моделлю IGRF-2005 (б)

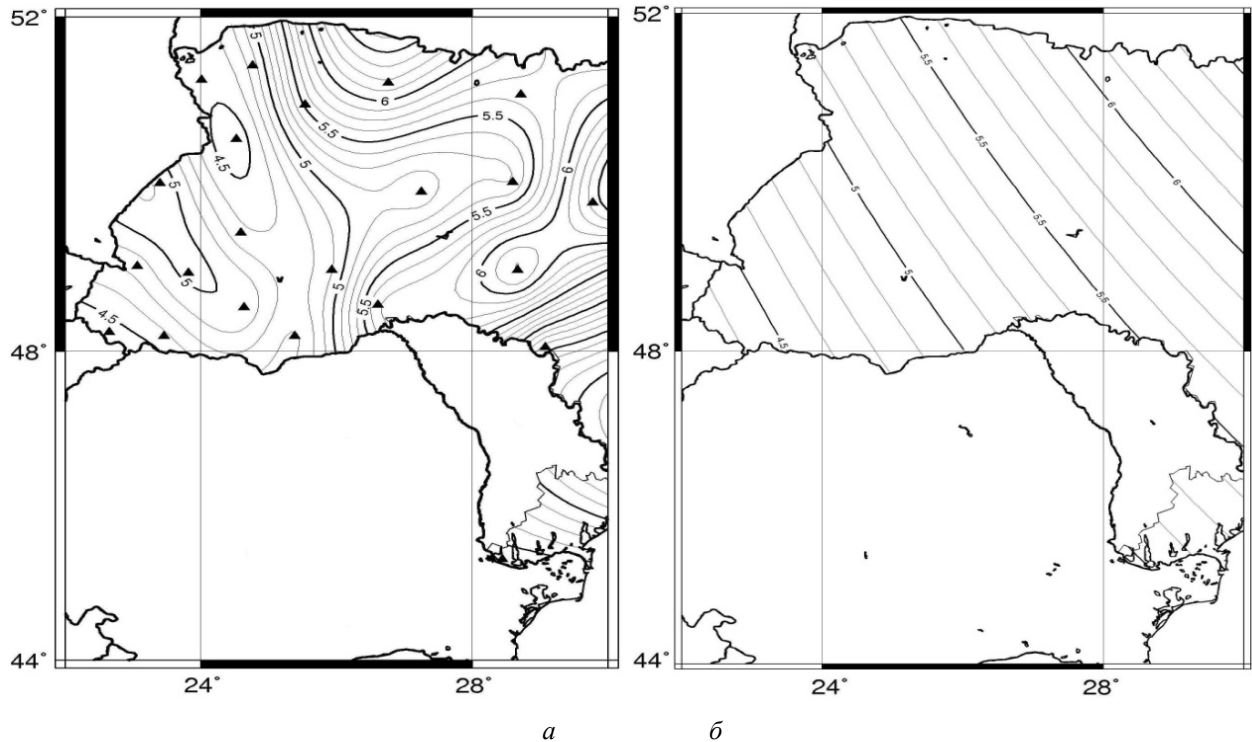


Рис. 3. Ізолінії D за результатами вимірювань на мережі ПБХ (а)
та за розрахунками за моделлю IGRF-2005 (б).
Трикутниками позначені ПБХ

У лівій частині кожного рисунка наведено ізолінії компонент D , I , Z , одержані за результатами вимірювань на мережі ПБХ (позначені трикутниками), приведеними до середини 2007 року. У правій частині рисунків показано структуру поля відповідних компонент, отриманих за розрахунками за моделлю IGRF-2005. Як видно з рис. 1, розподіл I компоненти, який дає модель IGRF-2005, дуже добре узгоджується з результатами, отриманими під час вимірювань на ПБХ. Причому узгоджується як характер зміни компоненти I – плавне майже монотонне зростання магнітного нахилення в напрямі південь – північ, так і абсолютні значення самої величини кута I . Значно більші відмінності спостерігаються між реальним та модельним розподілами вертикальної складової Z (рис. 2). Якщо для модельних значень Z -складової характерним є монотонне зростання з південного заходу на північний схід, то реальний розподіл характеризується наявністю кількох областей локальних екстремумів, зокрема поблизу кордонів з Молдовою та Білоруссю. Однак загальний регіональний хід Z -складової – зростання з південного заходу на північний схід проявляється достатньо виразно і для реальних значень.

Найістотніші відмінності між реальними та модельними результатами спостерігаються для

магнітного схилення D (рис. 3). У реальному полі виділяється кілька областей доволі помітних локальних екстремумів, зокрема в районі Карпат та Волино-Поділля. Хоча регіональна структура розподілу D , як для модельного, так і для реального випадків виявляє збільшення кута з південного заходу на північний схід, однак для спостереженого поля монотонність, притаманна модельному полю, цілковито відсутня. Щодо абсолютних величин реального і модельного кутів магнітного схилення, то здебільшого різниця між ними становить $0,5^\circ$, а інколи – понад 1° .

У загальних рисах структура D узгоджується з тектонічною будовою та регіональним аномальним магнітним полем. Це свідчить про значний вплив на величину та структуру магнітного схилення геологічної будови та аномалій магнітного поля. Цілком очевидно, що для такого складного з геологічного погляду регіону, як Україна, мережу пунктів для визначення D необхідно ущільнити.

Висновки

1. З результатів досліджень абсолютних значень компонент геомагнітного поля, виконаних на території західної частини України впливає, що найскладнішою просторовою структурою серед

усіх елементів земного магнетизму характеризується магнітне схилення D . У структурі саме магнітного схилення виявляються також найбільші відмінності спостережених значень від обчислених з використанням моделі IGRF-2005.

2. Магнітне схилення на території західної частини України характеризується також значно інтенсивнішими віковими змінами, ніж інші компоненти. Зокрема, віковий хід магнітного схилення в середньому більш ніж на порядок перевищує віковий хід магнітного нахилення.

3. Основний висновок, який можна зробити з аналізу результатів, полягає в тому, що для практичних потреб – побудови карт магнітного схилення з використанням даних зніманих, виконаних у різні роки, а також для потреб навігації використання моделі IGRF, так само, як і інтерполяції даних лише магнітних обсерваторій, не можуть дати задовільних результатів. А для забезпечення вимоги 4.10.1 “Основних положень створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000 – 1:1 000 000” під час підготовки карт масштабу 1:200 000 і детальніших треба додатково до повторних вимірювань на ПВХ ущільнювати компонентне знімання території, особливо це стосується районів, де є магнітні аномалії.

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

Література

1. Hejda P., Horachek J. Czech national report on the result of 2005 – 2006 survey // The 3-rd MagNetE Workshop On European Geomagnetic Repeat Station Survey 2005 – 2006 (Bucharest, Romania, May 2007): Abstracts. – Bucharest, 2007. – P. 21.

2. www.belsk.igf.edu.pl.

3. Городиський Ю., Максимчук В., Панькевич І. Результати компонентних геомагнітних вимірювань на пунктах вікового ходу в Карпатському регіоні у 2004 році // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Матеріали VI Міжнародної наукової конференції. (Київ, жовтень 2005). – К., 2005. – С. 62–63.

4. Максимчук В., Городиський Ю., Накалов Є., Глотов В. Визначення геомагнітного схилення для потреб топографічного картографування // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Зб. наук. пр. Вип. 1 (15). – Л., 2008. – С. 70–73.

5. Максимчук В., Трегубенко В., Городиський Ю., Накалов Є., Мясоєдов В. Магнітне схилення території України на епоху 2005 року // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS технології.: Зб. матеріалів XIV Міжн. наук.-техн. симпоз. (Алушта, верес. 2009). – Л., 2009. – С. 109–112.

6. Newitt L.R., Barton C.E., Bitterly J. Guide for Magnetic Repeat Station Surveys. – Boulder: IAGA, 1996. – 112 p.

7. 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.

8. Городиський Ю. Особливості астрометричних методик при вимірюваннях геомагнітного схилення // Нові геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища.: Матеріали наукової конференції пам'яті Т.З. Вербицького та Я.С. Сапужака. (Львів, жовтень 2007). – Л., 2007. – С. 17–19.

9. Городиський Ю. Класифікація та аналіз похибок при вимірюваннях компонент геомагнітного поля ферозондовим магнітометром // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Матеріали Всеукраїнської наукової конференції. (Київ, вересень 2006). – К., 2006. – С. 103–104.

10. Городиський Ю. Про редукцію елементів земного магнетизму на пунктах вікового ходу // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Матеріали VIII Міжнародної наукової конференції. (Київ, вересень 2007). – К., 2007. – С. 59–60.

Магнітне схилення та інші компоненти геомагнітного поля на території західної частини України для епохи 2007 року

В. Максимчук, Ю. Городиський,
Є. Накалов, В. Трегубенко

Обґрунтовано необхідність регулярних абсолютних геомагнітних вимірювань для надійного визначення магнітного схилення. Наведено результати магнітного схилення, нахилення та вертикальної складової геомагнітного поля, а також величини їх вікового ходу на території західної частини України для епохи 2007 року. Побудовано карти елементів земного магнетизму і виконано порівняння спостережених результатів з розрахованими за моделлю IGRF2005. Показано істотні відмінності між спостереженими і модельними значеннями для магнітного схилення.

**Магнитное склонение и другие компоненты
геомагнитного поля на территории западной
части Украины для эпохи 2007 года**

В. Максимчук, Ю. Городыский,
Е. Накалов, В. Трегубенко

Обоснована необхідність проведення регулярних абсолютних геомагнітних вимірювань для надійного визначення магнітного схилу. Приведені результати магнітного схилу, нахилу і вертикальної складової геомагнітного поля, а також значення їх вікового ходу на території західної частини України для епохи 2007 року. Побудовані карти елементів земного магнетизму і виконано порівняння спостережуваних результатів з розрахованими значеннями за моделі IGRF2005. Показано суттєві відмінності між спостережуваними і модельними значеннями для магнітного схилу.

**Magnetic declination and other components
of the geomagnetic field on territory
of western part of Ukraine
for the 2007 epoch**

V. Maksymchuk, Yu. Horodyskyy,
Ye. Nakalov, V. Tregubenko

It is founded the necessity of regular complete geomagnetic measurements for reliable determination of magnetic declination. It is given the results of magnetic declination, inclination and vertical component of the geomagnetic field on territory of western part of Ukraine for the 2007 epoch. The maps of the geomagnetic field elements are drawn and the comparison of the observed and modeled by IGRF2005 results is done. It is demonstrated essential differences between observed and modeled values for magnetic declination.

23 to 24 September 2010

Albena resort, Varna, Bulgaria

**XX International Symposium
Modern technologies, education
and professional practice
in geodesy and related fields
Home | Find | Add a conference**

[http://cim.bg/index.php/en/view/
organizing-xx-international-
symposium-geodesy](http://cim.bg/index.php/en/view/organizing-xx-international-symposium-geodesy)

30 November – 1 December

The Hague, The Netherlands

**European LiDAR
Mapping Forum 2010.**

www.lidarmap.org

5–7 October

Cologne, Germany

INTERGEO

www.intergeo.de

8–10 November

Las Vegas, USA

**Trimble Dimensions 2010-Converge.
Connect. Collaborate**

www.trimbledimensions.com