

Оцінка вкладу індукційних струмів у вікову варіацію геомагнітного поля (за даними українських геомагнітних обсерваторій)

© М. І. Орлюк, Т. П. Сумарук, Ю. П. Сумарук, А. О. Роменець, 2014

Інститут геофізики НАН України, Київ, Україна
Надійшла 12 січня 2013 р.
Представлено членом редколегії В. М. Шуманом

Исследован вклад индукционных токов в возрастную вариацию магнитного поля Земли по данным украинских геомагнитных обсерваторий. Рассмотрена динамика месячных изменений вековых вариаций в зависимости от величины индукционных токов в подстилающих поверхностях обсерваторий. Выявлена корреляция изменений вековых вариаций и солнечной активности. Показано, что изменения солнечной активности опережают изменения возрастной вариации.

Ключевые слова: магнитное поле, геомагнитная обсерватория, индукционный ток, вековые вариации, солнечная активность.

Вивчення вікових варіацій (ВВ) геомагнітного поля — одне з важливих завдань сучасної геофізики, оскільки поглиблює наші знання про джерела та динаміку магнітного поля Землі (МПЗ).

Просторово-часову структуру індукції магнітного поля Землі \mathbf{V} визначають за сумою полів від різних джерел, зовнішнього та внутрішнього походження:

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_n + \mathbf{V}_a + \mathbf{V}_z, \quad (1)$$

де \mathbf{V}_n — нормальне (головне) поле Землі, що генерується процесами в рідкому ядрі та на межі з мантією і визначає глобальну просторову та часову структуру поля планети; \mathbf{V}_a — аномальне магнітне поле (поле літосфери), зумовлене, в основному, намагніченістю порід; \mathbf{V}_z — зовнішнє поле, зумовлене впливом сонячного та космічного випромінювання і магнітних полів Сонця й навколосемного простору, а також сонячним вітром, який безперервно обдуває Землю. Внесок у ВВ геомагнітного поля здійснюють як внутрішні (струми на межі ядро—мантія, струми у літосфері, індукційні струми тощо), так і зовнішні джерела (магнітосферно-іоносферна система струмів, що модулюється сонячною активністю, магнітним полем Сонця, галактичними променями та ін.). Обчислення внеску у ВВ кожного із згаданих вище джерел є надзвичайно трудомісткою задачею, що зумовлено передусім дуже складною просторово-часовою структурою МПЗ, а також недоско-

налістю моделей, які з необхідною точністю описували б ту чи іншу систему струмів або усю систему разом [Шуман, Савин, 2011].

Періоди змін геомагнітного поля приймають значення від долей секунд до тисяч років, амплітуди змін — від часток до десятків тисяч нанотесла. Як правило, зовнішні джерела поля спричинюють зміни більшої частоти та меншої амплітуди, ніж внутрішні. Від частоти зміни поля та його амплітуди залежить глибина проникнення індукційних струмів, а також їх величина, що, в свою чергу, приводить до різних величин внеску у ВВ. Величина індукційних струмів залежить від провідності та магнітної проникності порід літосфери. При цьому показано [Рокитянский, 2012], що в реальному геологічному середовищі навіть невеликою провідністю нехтувати не можна. У ньому магнітосферно-іоносферним джерелом індукуються регіональні струми, що зумовлюють різну величину внеску у ВВ на обсерваторіях.

Спроби розділення поля на постійну та змінну складові були зроблені багатьма авторами [Mandea, Purucker, 2005; Maus, Lühr, 2005; Olsen et al., 2006; Thomson, Lesur, 2007; Сумарук, Сумарук 2006; Орлюк и др., 2012]. Перші кількісні результати було отримано за даними широкомасштабних досліджень геомагнітного поля під час Міжнародного геофізичного року (1957—1958).

Теоретично розділення поля проводять у такий спосіб.

Уявивши поле як потенціал

$$\mathbf{B}(r, \theta, \lambda) = -\nabla \psi_1^0(r, \theta, \lambda),$$

де r — радіус; θ — коширота; λ — довгота, розв'язок рівняння Лапласа для варіацій з періодом менше одного року

$$\nabla^2 \psi_1^0 = 0$$

запишемо у вигляді

$$\psi_1^0(r, \theta) = a \left\{ i_0^1 \left(\frac{a}{r} \right)^2 + e_0^1(t) \left(\frac{a}{r} \right) \right\} P_0^1(\cos(\theta)),$$

де a — радіус Землі; $P_0^1(\cos(\theta))$ — поліном Лежандра першого порядку; i_0^1, e_0^1 — сферичні гармонічні коефіцієнти для внутрішньої та зовнішньої частин полів відповідно. Основним джерелом зовнішнього поля вважаємо D_{st} -варіацію.

Тоді магнітні компоненти набудуть вигляду

$$\mathbf{B}_r = \left[e_0^1 + 2i_0^1 \left(\frac{a}{r} \right)^3 \right] \cos(\theta),$$

$$\mathbf{B}_\theta = \left[-e_0^1 + i_0^1 \left(\frac{a}{r} \right)^3 \right] \sin(\theta),$$

$$\mathbf{B}_\lambda = 0.$$

Вважаючи Землю сферою, доходять висновку, що у вертикальній складовій, в середніх широтах, близько 1/3 варіацій зумовлені зовнішніми джерелами і лише 2/3 — внутрішніми [Janowski, Sucksdorf, 1996], у горизонтальній компоненті — навпаки, приклад — S_q -варіація [Космическая..., 1976].

У цій роботі за даними геомагнітних обсерваторій України («Київ», «Львів», «Одеса») та обсерваторії «Бельськ», зроблено спробу оцінити внесок магнітосферно-іоносферних та індукційних струмів у ВВ магнітного поля Землі. Для цього використано модель, в якій на внутрішнє, «постійне», магнітне поле накладається зовнішнє, «змінне», поле, а також враховано внесок усіх зовнішніх джерел магнітосферно-іоносферної системи струмів, а не лише окре-

мих. У статтях [Maus et al., 2006; Manda et al., 2007; Verbanac et al., 2007; Рокитянский, 2012] за основне джерело змінного поля прийнято кільцевий струм, що характеризується індексом D_{st} . Це твердження є основним при теоретичних розрахунках ВВ (див. вище), проте, як показано [Сумарук, Сумарук, 2006], у середніх широтах магнітосферні джерела варіацій — кільцевий магнітосферний струм DR разом зі струмом у хвості магнітосфери DP та струм на магнітопаузі DCF під час магнітної бурі, роблять найбільший внесок у варіацію поля ~80 % у середньому (DR 55—74 %, DCF 11—23 %). Внески авроральних струмів та їх зворотних струмів у варіації поля середніх широт становлять 12—27 %, однак цю варіацію також слід враховувати під час обчислення ВВ.

Змінною також є сонячно-добова варіація S_q , яка, у свою чергу, залежить не тільки від сезону, а й від сонячної активності (табл. 1) [Сумарук, Сумарук, 2005].

Внутрішнє поле складається з головного і аномального магнітних полів. Головне магнітне поле Землі складається з дипольної і недипольної частин. Цю величину поля обчислено за моделлю IGRF 1945—2015 (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>). Для геомагнітних обсерваторій «Львів», «Київ», «Одеса», «Бельськ» [Орлюк и др., 2012] змінення величини поля становить ~1200—1300 нТл за 50 років. За результатами спостережень та інтерпретації визначено, що найістотніше змінюється головне (нормальне) магнітне поле \mathbf{B}_{IGRF} . Згідно з даними обсерваторії «Київ», величина нормальної компоненти \mathbf{B}_n за цей період має приріст 1256 нТл, обсерваторії «Одеса» — 1186, обсерваторії «Львів» — 1343 нТл.

Для виділення величини «змінного» поля від середньорічних значень компонент поля віднімали величину поля, обчислену за моделлю IGRF. На рис. 1, а, б видно, що середньорічні значення \mathbf{B}_H -компоненти (рис. 1, а) на обсерваторіях «Львів», «Київ», «Одеса» змінюються синфазно. Амплітуди змін на обсерваторії «Львів» 112,6—199,3 нТл, «Київ» — 5,7—89,3, «Одеса» — 122,2—167,4 нТл. При цьому серед-

Т а б л и ц я 1. Зміна добових амплітуд S_q -варіацій на магнітній обсерваторії «Львів»

Сонячна активність	Зима			Літо		
	$S_q(H)$, нТл	$S_q(D)$, мін	$S_q(Z)$, нТл	$S_q(H)$, нТл	$S_q(D)$, мін	$S_q(Z)$, нТл
Низька	7—13	1,7—3,1	4—15	20—32	6,4—11,5	5—14
Висока	27—50	6,5—13,6	5—18	37—62	12,7—18,5	12—36

ньорічні значення \mathbf{V}_Z -компоненти (рис. 1, б) на обсерваторії «Львів», «Київ», «Одеса» змінюються синфазно. Амплітуди змін \mathbf{V}_Z на обсерваторії «Львів» становлять 140,6—224,6 нТл, «Київ» — 44,9—121,6, «Одеса» — 6,8—85,5 нТл. Ці зміни можна пояснити неоднорідним ходом \mathbf{V}_H та \mathbf{V}_Z -компонент нормального поля, а також внеском «змінних» полів від індукційних струмів у провідних шарах Землі, аномальним магнітним полем ($\Delta\mathbf{B}_a$) і «підмагнічувальним» ефектом, а також полем магнітосферно-іоносферної системи струмів.

Величина поля \mathbf{V}_H магнітосферно-іоносферної системи струмів на обсерваторіях «Київ», «Львів», «Одеса» та «Бельськ» у першому наближенні однакова, оскільки обсерваторії зміщені за широтою лише на $\sim 5^\circ$, а найближчі зовнішні джерела варіацій (іоносферні струми) розміщуються на висотах вище 100—150 км.

Відомо [Jankowski, Sucksdorf, 1996], що величина індукційних струмів у провідних шарах Землі для кожної обсерваторії буде різною і пропорційною провідності та магнітній проникності шарів земної кори в районі розташування обсерваторій, відповідно, різними будуть і варіації поля \mathbf{V} та його компонент за тих самих значень \mathbf{V}_H .

За визначенням, ВВ вважають різницю між середньорічними значеннями поля у певному році та попередньому. Оскільки середньорічні значення отримують із середньомісячних, середньодобових, середньогодинних тощо значень поля на кожній обсерваторії, то \mathbf{V}_y за певний (y) рік поля можна обчислити як середнє арифметичне значення суми різниць середньомісячних величин поля у певному (y) та попередньому ($y-1$) році:

$$\mathbf{V}_y = 1/12 \sum_{i=1}^{12} (\mathbf{V}_y^i - \mathbf{V}_{y-1}^i) = 1/12 \sum \Delta \mathbf{V}^{\text{mic}}. \quad (2)$$

Найбільший внесок зовнішніх джерел у ВВ спостерігається у магнітоактивні роки, найменший — у магнітоспокійні, тому для дослідження динаміки змін середньорічних значень поля від сонячної активності ми використали середньомісячні \mathbf{V}^{mic} значення компонент МПЗ, розрахованих за всіма (A), збуреними (D) та спокійними (Q) днями (кількість A , D , Q брали із сайту <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/qddays/index.html>). Це дало можливість виключити сезонний вплив, вплив тривалості доби, розкид за широтою й ін. З отриманих значень було обчислено зміни за місяць $\Delta \mathbf{V}^{\text{mic}}$, тобто варіація за лютий — це різниця величин лютого та січня і т. д. Зрозуміло, що внесок у середньомісячне

значення поля, поля індукційних струмів залежатиме від кількості збурених і спокійних днів у певному місяці, а отже, від кількості енергії, що надходить у магнітосферу із сонячного вітру. Тому \mathbf{V}^{mic} та $\Delta \mathbf{V}^{\text{mic}}$ порівнювали із зміною енергії, що надійшла у магнітосферу із сонячного вітру, обчисленою за методикою [Sumaruk, Sumaruk, 2007] за відповідні місяці.

Для оцінки внеску у ВВ МПЗ індукційних струмів ми використали \mathbf{V}_Z -компоненту поля \mathbf{V} на обсерваторіях «Київ», «Львів», «Одеса», «Бельськ», оскільки вона містить найбільше інформації про внутрішні джерела поля [Яновський, 1978] (рис. 2).

Оскільки величина індукованих (регіональних) струмів залежить від магнітних та електричних властивостей порід і шарів земної кори в регіонах обсерваторій, амплітуди $\mathbf{V}_Z^{\text{mic}}$ будуть різними для кожної з обсерваторій. Зокрема, максимальні амплітуди $\mathbf{V}_Z^{\text{mic}}$ спостерігаються на обсерваторії «Одеса», мінімальні — на обсерваторії «Львів».

Форма кривих $\mathbf{V}_Z^{\text{mic}}$ для кожної з обсерваторій є подібною. Максимальні зміни енергії E у травні 1967 р., травні та листопаді 1968 р. призвели до екстремальних значень $\mathbf{V}_Z^{\text{mic}}$ на усіх обсерваторіях. Мінімальні зміни енергії ΔE приводять до сповільнення ходу $\mathbf{V}_Z^{\text{mic}}$ на усіх обсерваторіях лише через деякий час. Наприклад, у листопаді 1967 р. зменшення енергії $\Delta E = -205 \cdot 10^{17}$ Дж викликало зміщення екстремуму кривих $\mathbf{V}_Z^{\text{mic}}$ лише у наступному місяці на обсерваторіях «Львів» та «Бельськ», а на обсерваторіях «Київ» та «Одеса» — сповільнило хід $\mathbf{V}_Z^{\text{mic}}$. Це вказує на подібність властивостей порід та шарів земної кори в регіонах обсерваторій «Львів» і «Бельськ». На обсерваторіях «Київ» та «Одеса» аномалії іншого знака, проте для обсерваторії «Одеса» вони більші, ніж для обсерваторії «Київ», отже, і амплітуда змін для обсерваторії «Одеса» є більшою за амплітуду змін на обсерваторії «Київ» (рис. 2, а). Подібність варіацій $\mathbf{V}_Z^{\text{mic}}$ в регіонах обсерваторій «Львів» та «Бельськ» може зумовлюватися їх розташуванням у крайовій частині Східноєвропейської платформи (зони Тейссейре—Торнквіста), а їх специфіка на обсерваторіях «Київ» та «Одеса» — приналежністю до Українського щита. Принципово така динаміка розглянутих компонент геомагнітного поля в різних обсерваторіях добре узгоджується з результатами зміни компонент геомагнітного поля за результатами дослідження на пунктах вікового ходу за період 2005—2010 рр. [Мак-

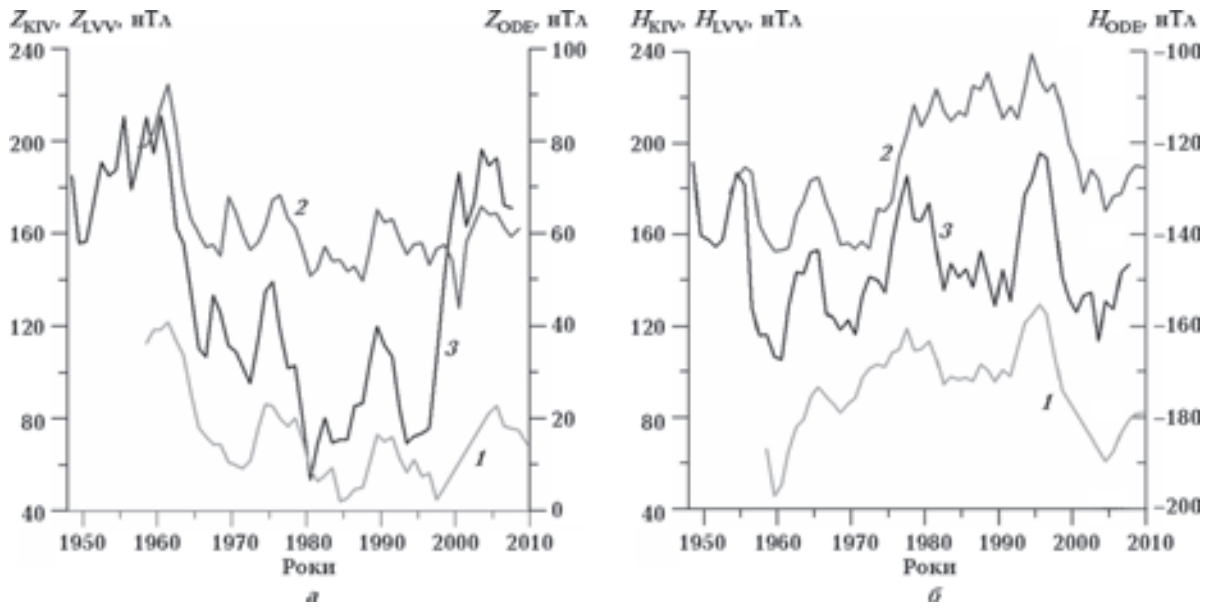


Рис. 1. Середньорічні значення $\mathbf{V} - \mathbf{V}_{JGRF}$ вертикальної (а) та горизонтальної (б) компонент вектора змінного геомагнітного поля для геомагнітних обсерваторій «Київ» (1), «Львів» (2) та «Одеса» (3).

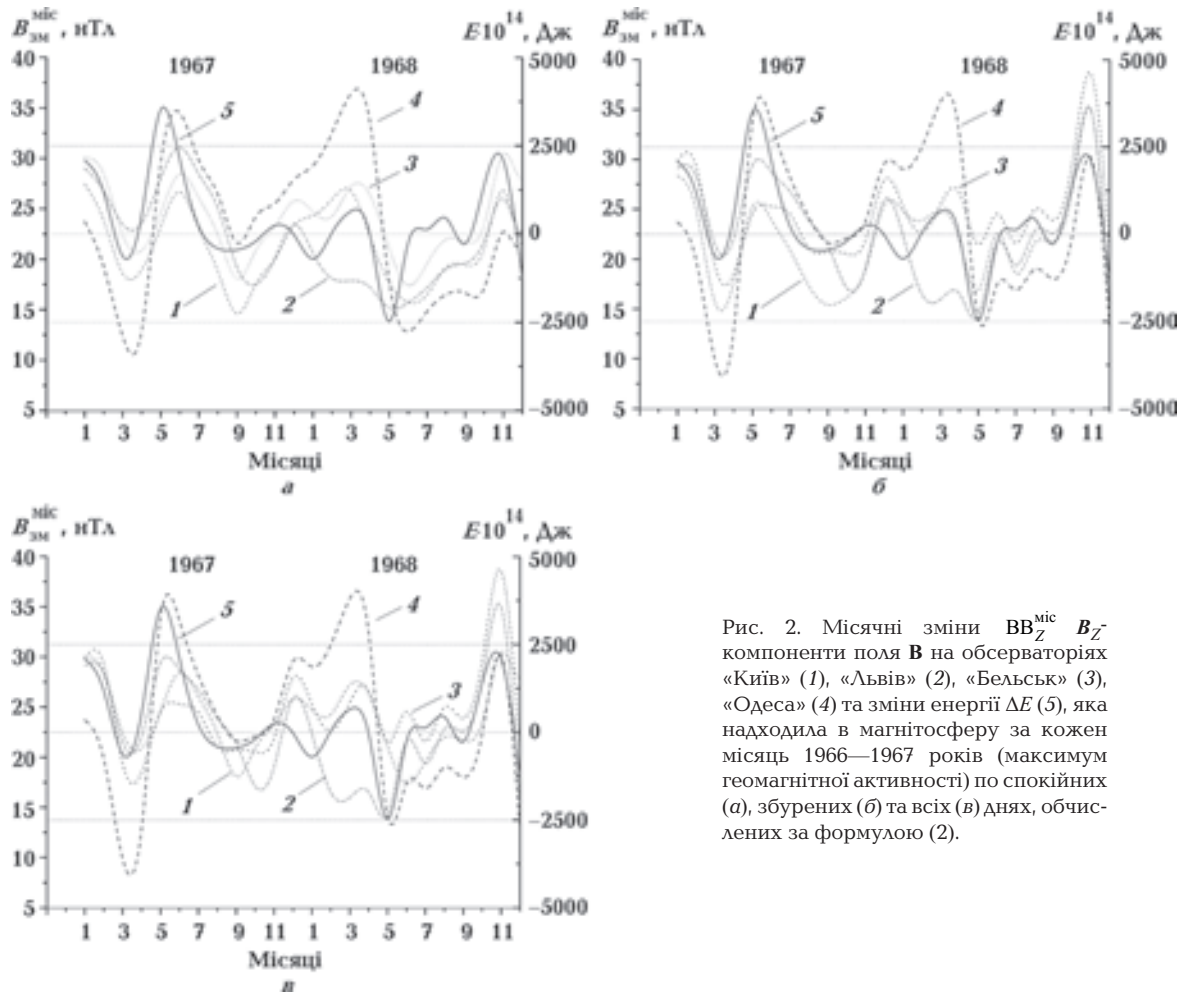


Рис. 2. Місячні зміни $B_z^{\text{міс}}$ B_z компоненти поля \mathbf{V} на обсерваторіях «Київ» (1), «Львів» (2), «Бельськ» (3), «Одеса» (4) та зміни енергії ΔE (5), яка надходила в магнітосферу за кожен місяць 1966—1967 років (максимум геомагнітної активності) по спокійних (а), збурених (б) та всіх (в) днях, обчислених за формулою (2).

симчук та ін., 2013]. Разом з тим, більші зміни BB_Z^{mic} для обсерваторії «Одеси» можуть частково зумовлюватись її близькістю до Чорного моря. Збільшення енергії, що надходить у магнітосферу, приводить до збільшення величини BB_Z^{mic} в Q -, D -, A -дні, зменшення — до зменшення величин BB_Z^{mic} .

Як видно на рис. 2, спостерігається певне зміщення за фазою між енергією ΔE , що надійшла в магнітосферу, та BB_Z^{mic} на усіх обсерваторіях: мінімальне — у збурені дні (рис. 2, б), тобто збільшення активності Сонця викликає збільшення величин BB_Z^{mic} у цей час; максимальне — у спокійні періоди (рис. 2, а) та по всіх днях (рис. 2, в). Для прикладу: максимальні зменшення енергії за місяць у травні 1967 р. привели до зменшення величин BB_Z^{mic} лише у наступному місяці. Аналогічну ситуацію спостерігаємо у травні 1968 р., однак приріст сонячної енергії у цьому місяці зумовив зростання BB_Z^{mic} лише у наступному місяці, що пов'язано з більшою детермінованістю процесу у збурений період. Напевне, отримані фактичні закономірності можуть бути задовільно пояснені на якісному рівні її зумовленістю «магнітною складовою» індукційних струмів у разі в'язкої природи намагніченості порід земної кори [Завойский, Марковский, 1983]. У цьому випадку час зміщення ВВ відносно зовнішнього збурення залежатиме від складу (самородне залізо, магнетит, титаномагнетит й ін.) та доменності (від одно- до багатодоменних) феромагнетиту. Така властивість поведінки BB_Z^{mic} дає змогу прогнозувати їх зміни із завчасністю не менше одного місяця залежно від енергії, що надходить від Сонця у попередній місяць, а також передбачувати величини BB_Z^{mic} залежно від сонячної (геомагнітної) активності.

Максимальні та мінімальні місячні величини BB_Z^{mic} для обсерваторій «Львів», «Бельськ», «Київ» та «Одеса» за 1967—1969 р. наведено у табл. 2. Як видно, амплітуди BB_Z^{mic} по всіх днях досягають максимальних значень 31—37, мінімальних — 8—16 нТл. Порівнявши їх з величинами BB^{mic} , обчисленими за моделлю IGRF (24—26 нТл), отримуємо, що магнітосферно-іоносферна система та індукційні струми вносять у вікову варіацію ± 7 —12 нТл/рік, тобто вони впливають на швидкість росту поля ВВ, збільшуючи або зменшуючи швидкість змінення головного магнітного поля, і становлять $\sim 1/3$ змін ВВ на досліджуваних обсерваторіях.

Виявлено кореляцію між зміненням позірною опору в місцях розташування ряду обсер-

ваторій Європи і циклами сонячної активності [Семенов, Петрищев, 2012]. Спектральний аналіз геомагнітних даних показав існування зміщення за фазою між варіаціями позірною опору та сонячною активністю, вираженою числами Вольфа, що підтверджує наш висновок щодо певного проміжку часу, необхідного для впливу магнітосферно-іоносферних та індукційних струмів на ВВ поля. У статті [Ryskin, 2009] основним джерелом ВВ припущено змінення провідності океану. Отже, можна припустити, що одним з джерел ВВ на суші є зміна магнітних та електричних властивостей в регіонах обсерваторій та суміжних територій за рахунок індукційних струмів, викликаних зміною сонячної активності.

Таблиця 2. Максимальні та мінімальні місячні значення BB_Z^{mic} для обсерваторій «Львів», «Бельськ», «Київ» та «Одеса», нТл

Код обсерваторії	Значення	Q	D	A
BEL	max	31,39	45,85	34,14
	min	13,57	16,75	15,88
KIV	max	29,26	42,77	31,07
	min	10,94	12,6	12,44
ODE	max	38,71	40,68	37,34
	min	7,65	6,61	8,24
LVV	max	31,51	42,35	32,56
	min	14,2	10,44	14,4

Таблиця 3. Амплітудні значення ΔBB^{mic} від індукційних струмів для мінімуму сонячної (геомагнітної) активності (1975—1980), нТл

Код обсерваторії	Значення	Q	D	A
BEL	max	9,89	19,9	10,84
	min	-10,69	-20,6	-10,63
KIV	max	11,25	17,59	8,17
	min	-13,04	-17,5	-9,43
ODE	max	8,31	16,76	7,43
	min	-10,51	-20,67	-11,74
LVV	max	7,85	17,17	9,02
	min	-7,57	-13,12	-10,66

Рис. 3 ілюструє зменшення енергії, яка надходить у магнітосферу, приводить до зменшення швидкості ВВ у певному місяці на усіх обсерваторіях, збільшення енергії — до збільшення швидкості росту ВВ із певною затримкою.

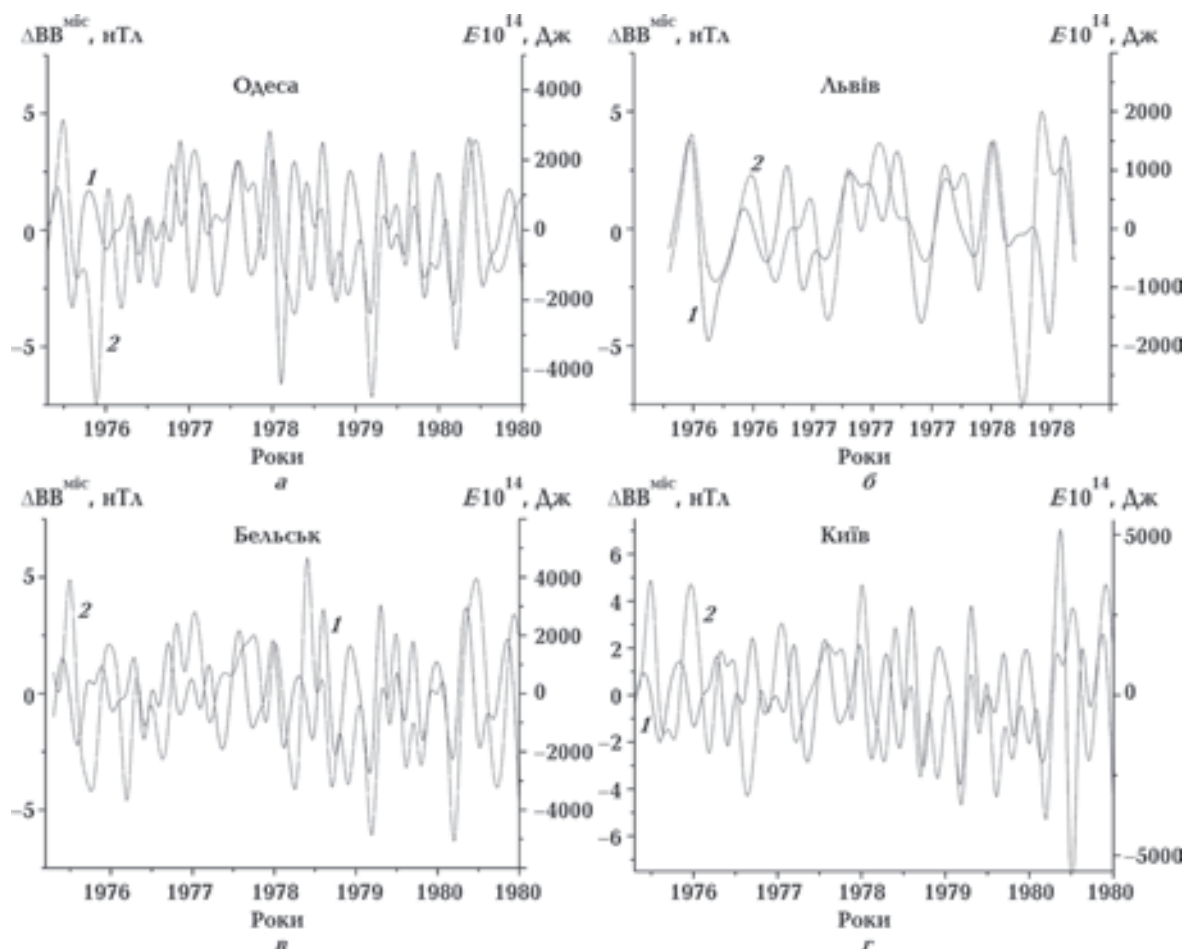


Рис. 3. Зміни V_z -компоненти поля \mathbf{V} ($\Delta BV^{\text{міс}}$) за місяць (1) та місячні зміни енергії ΔE (2) на обсерваторіях «Одеса» (а), «Львів» (б) «Бельськ» (в), «Київ» (г) за 1975—1980 р.

Амплітуди змін $\Delta BV^{\text{міс}}$ різні, оскільки різними є індукційні струми (табл. 3, 4).

Амплітудні значення $\Delta BV^{\text{міс}}$ для досліджуваних обсерваторій становлять $\pm(9-11)$ нТл/міс у

Таблиця 4. Величини $\Delta BV^{\text{міс}}$ від індукційних струмів для максимуму геомагнітної активності (за весь період спостережень)

Код обсерваторії	Значення	Q	D	A
BEL	max	19,58	35,71	19,9
	min	-21,46	-22,13	-20,64
KIV	max	19,07	33,91	20,47
	min	-12,18	-18,34	-11,18
ODE	max	18,74	48,64	30,27
	min	-19,67	-29,39	-22,12
LVV	max	19,21	41,39	20,74
	min	-12,04	-24,73	-11,64

спокійний період. Це означає, що за відсутності збурених періодів індукційні струми практично не впливають на швидкість ВВ, а отже, на ВВ має вплив лише головне магнітне поле. У збурений же період амплітуди $\Delta BV^{\text{міс}}$ зростають у 1,5—2 рази порівняно зі спокійним періодом зі зміною знака, а отже, і швидкість ВВ змінюватиметься залежно від напрямку та величини поля магнітосферно-іоносферної системи струмів, що накладається на головне магнітне поле.

Висновки. У статті наведено результати досліджень щодо зв'язку між магнітосферно-іоносферними та індукційними струмами і зумовленими ними варіаціями магнітного поля, спостереженими на обсерваторіях України і Польщі, та кількістю енергії, яка надходить на Землю. Показано, що збільшення геомагнітної активності приводить до збільшення амплітуд величин $\Delta BV^{\text{міс}}$ і навпаки. При цьому простежується пряма пропорційність між кількістю енергії ΔE та амплітудою $\Delta BV^{\text{міс}}$ по

збурених днях. У $ВВ_z^{\text{mic}}$ по спокійних та всіх днях спостерігається певне зміщення за фазою порівняно з $ВВ_z^{\text{mic}}$, порахованими по збурених днях, що може бути частково пояснено в'язкою природою намагніченості порід земної кори. Це засвідчує, що зміна магнітних та електричних властивостей в регіонах обсерваторій та суміжних територій відбувається за рахунок індукційних струмів, викликаних зміною сонячної активності, що, в свою чергу, впливає на місячні величини $ВВ_z^{\text{mic}}$. Зазначена властивість дає змогу прогнозувати поведінку місячних величин $ВВ_z^{\text{mic}}$. Знаючи геомагнітну активність (енергію, що надійшла у певному місяці), можна спрогнозувати поведінку $ВВ_z^{\text{mic}}$ із завчасністю один місяць.

Значення амплітуд $\Delta ВВ^{\text{mic}}$ для досліджуваних обсерваторій становлять $\pm(9-11)$ нТл/міс у спокійний період. Таким чином, за відсутності збурених періодів індукційні струми практично не впливають на швидкість $ВВ$, а отже, на $ВВ$ має вплив лише головне магнітне поле. У збурений же період амплітуди $\Delta ВВ^{\text{mic}}$ зростають у 1,5—2 рази порівняно зі спокійним періодом, змінюючи при цьому знак, а отже, $ВВ$ залежать від кількості збурених днів у році.

Поле індукційних струмів вносить у вікову варіацію $В_z \pm (7-12)$ нТл/рік, тобто впливає на швидкість росту поля $ВВ$ через збільшення або зменшення швидкості зміни головного магнітного поля і становить $\sim 1/3$ змін $ВВ$ на досліджуваних обсерваторіях.

Список літератури

- Завойский В. Н., Марковский В. С. Роль вязкой намагніченности в образовании магнитных аномалий континентальной коры. В кн.: *Геологическое истолкование потенциальных полей*. Киев: Наук. думка, 1983. С. 100—106.
- Космическая геофизика (Под ред. А. Эгеланда, О. Холтера, А. Омхольта). Москва: Мир, 1976. 544 с.
- Максимчук В. Ю., Орлюк М. І., Трегубенко В. І., Марченко Д. О., Накалов Є. Ф., Чоботок І. О. Результати компонентних вимірювань магнітного поля на мережі пунктів вікового ходу 2005—2010 р. *Геодинаміка*. 2013. № 2. С. 219—222.
- Орлюк М. И., Роменець А. А., Сумарук П. В., Сумарук Ю. П., Сумарук Т. П. Пространственно-временная структура магнитного поля Земли территории Украины: оценка вклада внутренних и внешних источников. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 3. С. 137—144.
- Рокитянский И. И. Заметки о геоэлектрике. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 4. С. 235—245.
- Семенов В. Ю., Петрищев М. С. Изменчивость среднегодовых импедансов Земли и их пространственных градиентов в Европе. *Геофиз. журн.* 2012. Т. 34. № 4. С. 246—252.
- Сумарук П. В., Сумарук Т. П. Розділення геомагнітних варіацій в середніх широтах від магнітосферних та іоносферних джерел. *Космічна наука та технологія*. 2006. Т. 12. № 1. С. 76—79.
- Сумарук Т. П., Сумарук Ю. П. Про джерела S_q -варіацій геомагнітного поля в середніх широтах. *Геофиз. журн.* 2005. Т. 27. № 2. С. 299—303.
- Шуман В. Н., Савин М. Г. Математические модели геоэлектрики. Киев: Наук. думка, 2011. 240 с.
- Яновский Б. М. Земной магнетизм. Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 591 с.
- Jankowski J., Sucksdorf C., 1996. Guide for magnetic measurements and observatory practice. Warszawa: Published by IAGA. 235 p.
- Mandea M., Purucker M., 2005. Measurements of the Earth's magnetic field from space. *Surv. Geophys.* 26, 415—459. doi:10.1007/s10712-005-3857-x.
- Mandea M., Korte M., Mozzoni D., Kotzé P., 2007. The magnetic field changing over the southern African continent: a unique behaviour. *South African J. Geology*, 110(2-3), 193—202.
- Maus S., Lühr H., 2005. Signature of the quiet-time magnetospheric magnetic field and its electromagnetic induction in the rotating Earth. *Geophys. J. Int.* 162, 755—763. doi:10.1111/j.1365-246.2005.02691.x.
- Maus S., Rother M., Stolle C., Mai W., Choi S., Lühr H., Cook D., Roth C., 2006. Third generation of the Potsdam Magnetic Model of the Earth (POMME). *Geochem. Geophys. Geosystems* 7, Q07008. doi:10.1029/2006GC001269.
- Olsen N., Lühr H., Sabaka T., Mandea M., Rother M., Toffner-Clausen L., Choi S., 2006. CHAOS — A Model of Earth's Magnetic Field derived from CHAMP, Orsted, and SAC-C magnetic satellite data. *Geophys. J. Int.* 165. doi:10.1111/j.1365-246X.2006.03059.x.
- Ryskin G., 2009. Secular variation of the Earth's magnetic field: induced by the ocean flow? *New J. Phys.* 11, 063015.

Sumaruk Yu., Sumaruk T., 2007. Energetics of the magnetosphere and ionosphere at different levels of solar and geomagnetic activity. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.* C-99(398), 383—387.

Thomson A. W., Lesur V. P., 2007. An improved geomagnetic data selection algorithm for global geomagne-

tic field modeling. *Geophys. J. Int.* 168. doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03354.x.

Verbanac G., Korte M., Manda M., 2007. On long-term trends of the European geomagnetic observatory biases. *Earth Planets Space*, 59(7), 685—695.

Valuation of induction current contribution to the secular variation of geomagnetic field (according to the data of Ukrainian geomagnetic observatories)

© M. I. Orlyuk, T. P. Sumaruk, Yu. P. Sumaruk, A. A. Romenets, 2014

Induction current contribution to the secular variation of geomagnetic field in accordance with the data of Ukrainian geomagnetic observatories has been investigated. The dynamics of the monthly changes of the secular variations depending on the values of the induction currents has been shown. Correlation between changes of secular variations and solar activity has been found. Changes of solar activity outstrip secular variation changes.

Key words: magnetic field, geomagnetic observatory, induction current, secular variations, solar activity.

References

Zavojskij V. N., Markovskij V. S., 1983. Role in the formation of a viscous magnetization of magnetic anomalies of the continental crust. In: *Geological interpretation of potential fields*. Kiev: Naukova Dumka, 100—106 (in Russian).

Space geofizika (Eds A. Egeland, O. Holter, A. Omholt). Moscow: Mir, 544 p. (in Russian).

Maksimchuk V. Ju., Orlyuk M. I., Tregubenko V. I., Marchenko D. O., Nakalov E. F., Chobotok I. O., 2013. The results of measurements of the magnetic field component in a network of secular course of 2005—2010. *Geodinamika* (2), 219—222 (in Ukrainian).

Orlyuk M. I., Romenec' A. A., Sumaruk P. V., Sumaruk Ju. P., Sumaruk T. P., 2012. Spatiotemporal structure of Earth's magnetic field in Ukraine: assessment of the contribution of internal and external sources. *Geofizicheskij zhurnal* 34(3), 137—144 (in Russian).

Rokitjanskij I. I., 2012. Notes on geoelectrics. *Geofizicheskij zhurnal* 34(3), 235—245 (in Russian).

Semenov V. Ju., Petrishhev M. S., 2012. Variability of mean impedance of the earth and their spatial gradients in Europe. *Geofizicheskij zhurnal* 34(4), 246—252 (in Russian).

Sumaruk P. V., Sumaruk T. P., 2006. Separation of geomagnetic variations in the middle latitudes of magnetospheric and ionospheric sources. *Kosmichna nauka ta tehnologija* 12(1), 76—79 (in Ukrainian).

Sumaruk T. P., Sumaruk Ju. P., 2005. On sources of Sq-variations of the geomagnetic field at middle latitudes. *Geofizicheskij zhurnal* 27(2), 299—303 (in Ukrainian).

Shuman V. N., Savin M. G., 2011. Mathematical models geoelectrics. Kiev Naukova Dumka, 240 p. (in Russian).

Janovskij B. M., 1978. Terrestrial magnetism. Leningrad: LSU Publ., 591 p. (in Russian).

Jankowski J., Sucksdorf C., 1996. Guide for magnetic measurements and observatory practice. Warszawa: Published by IAGA. 235 p.

Manda M., Purucker M., 2005. Measurements of the Earth's magnetic field from space. *Surv. Geophys.* 26, 415—459. doi:10.1007/s10712-005-3857-x.

Manda M., Korte M., Mozzoni D., Kotzé P., 2007. The magnetic field changing over the southern African continent: a unique behaviour. *South African J. Geology*, 110(2-3), 193—202.

Maus S., Lühr H., 2005. Signature of the quiet-time magnetospheric magnetic field and its electromagnetic induction in the rotating Earth. *Geophys. J. Int.* 162, 755—763. doi:10.1111/j.1365-246.2005.02691.x.

Maus S., Rother M., Stolle C., Mai W., Choi S., Lühr H., Cook D., Roth C., 2006. Third generation of the Potsdam Magnetic Model of the Earth (POM-

- ME). *Geochem. Geophys. Geosystems* 7, Q07008. doi:10.1029/2006GC001269.
- Olsen N., Lühr H., Sabaka T., Manda M., Rother M., Toffner-Clausen L., Choi S., 2006. CHAOS — A Model of Earth's Magnetic Field derived from CHAMP, Orsted, and SAC-C magnetic satellite data. *Geophys. J. Int.* 165. doi:10.1111/j.1365-246X.2006.03059.x.
- Ryskin G., 2009. Secular variation of the Earth's magnetic field: induced by the ocean flow? *New J. Phys.* 11, 063015.
- Sumaruk Yu., Sumaruk T., 2007. Energetics of the magnetosphere and ionosphere at different levels of solar and geomagnetic activity. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci.* C-99(398), 383—387.
- Thomson A. W., Lesur V. P., 2007. An improved geomagnetic data selection algorithm for global geomagnetic field modeling. *Geophys. J. Int.* 168. doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03354.x.
- Verbanac G., Korte M., Manda M., 2007. On long-term trends of the European geomagnetic observatory biases. *Earth Planets Space*, 59(7), 685—695.