

## Залежність швидкості зміни вікових варіацій геомагнітного поля від положення обсерваторії та часу

*Т. П. Сумарук, П. В Сумарук, 2021*

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, Київ, Україна  
Надійшла 19 лютого 2021 р.

За даними світової мережі обсерваторій досліджено вікові варіації геомагнітного поля від внутрішніх і зовнішніх джерел. Для цього використано усереднені трирічні дані. Наведено методуку обчислення вікових варіацій від зовнішніх і внутрішніх джерел за обсерваторними даними. За нульовий рівень відліку вікових варіацій від зовнішніх джерел обрано 1979 р., оскільки тоді змінився знак великомасштабного магнітного поля.

Показано, що величина вікових варіацій від зовнішніх джерел різна для різних регіонів і збільшується зі збільшенням широти магнітної обсерваторії. Максимальні величини вікових варіацій спостерігаються у північній полярній шапці, а також на довготах східного фокуса вікової варіації. На обсерваторіях DIK, CSS, TIK вікові варіації набувають максимальних значень.

Виділено групи обсерваторій із симетричними та несиметричними змінами вікової варіації відносно 1979 р. Симетричні зміни вікової варіації протягом двох циклів Хейла спостерігаються на обсерваторіях в приполюсній області (ALE, NAL, BJN), в авроральних і середніх широтах. Максимальна асиметрія вікової варіації спостерігається на обсерваторіях GDH, BLC, FCC, а також на деяких субавроральних обсерваторіях і в регіонах з підвищеною сейсмічною активністю.

Вікова варіація від зовнішніх джерел залежить від величини великомасштабного магнітного поля Сонця. Величина вікової варіації від внутрішніх джерел промодульована зовнішніми джерелами і залежить від особливостей підстильних поверхонь обсерваторій, зокрема індукційних струмів.

**Ключові слова:** вікові варіації, сонячна активність, геомагнітна активність, магнітосферні та іоносферні джерела.

Вікові варіації (ВВ) геомагнітного поля — один із важливих інструментів, за допомогою якого вивчають природу та зміни цього поля. Зміни геомагнітного поля мають багато джерел (як внутрішніх, так і зовнішніх), тому досі немає однозначної відповіді на природу їх джерел генерації, адже питання генерації головного геомагнітного поля ще не вирішено.

На сьогодні ВВ вираховують як різницю між послідовними середньорічними значеннями повного вектора індукції магнітного поля  $\mathbf{B}$  та його компонент. Цей метод дає змогу виключати варіації від джерел з періодами більш як один рік. Сумніву немає, що і зовнішні, і внутрішні джерела геомагнітного поля роблять свій внесок у ВВ.

Зовнішніми джерелами варіацій геомагнітного поля є струми в магнітосфері та іоносфері [Акасофу, Чепмен, 1975]. Магнітосферний струм — кільцевий (DR), він тече на захід на відстані декількох радіусів Землі від Землі. Інтенсивність струму змінюється від параметрів сонячного вітру, вона неоднакова на різних довготах, тобто струм асиметричний за довготою [Сумарук, 2001]. DR-струм згасає [Бобров, 1981], якщо вертикальна складова міжпланетного магнітного поля (ММП) набуває додатних значень.

Крім DR-струму під час обтікання магнітосфери сонячним вітром на магнітопаузі створюється струм DCF (disturbing corpuscular field). Величина варіацій від DCF-

струму залежить від швидкості сонячного вітру та концентрації протонів у ньому. DCF-струми найінтенсивніші на денній стороні магнітосфери і течуть на схід, тобто ведуть до збільшення інтенсивності геомагнітного поля [Mead, 1964]. У величину поля роблять внесок також струми вздовж силових ліній (Біккерландівські струми) та струми поперек хвоста магнітосфери, які разом з DR- і DCF-струмами і струмами в іоносфері високих широт створюють тривимірні системи [Калегаяев, Макаренков, 2006].

Іоносферні авроральні (східний, західний, полярний) та екваторіальні електроструми,  $S_q$ -струми також роблять значний внесок у поле варіацій під час магнітних бур і суббур [Сумарук, Сумарук, 2013].

Слід зазначити, що магнітосферно-іоносферна система струмів строго модулюється та залежить від параметрів сонячного вітру, напруженості ММП, великомасштабного магнітного поля Сонця (ВМПС), а також активності Сонця та міжгалактичних космічних променів.

Тривалий час припускали, що усереднення значень варіацій напруженості геомагнітного поля за рік повністю виключає частину іррегулярних ВВ, пов'язаних із зовнішніми джерелами, оскільки варіації різнознакові. Однак, як показано у статтях [Verbanak et al., 2007; Шевнин и др., 2009; Сумарук, Сумарук, 2013], в отриманих таким методом ВВ наявною є компонента із квазідворічними, 11-річними та іншими довгоперіодними варіаціями. Виключити їх можна згладжуванням біжними середніми відповідного періоду.

У другій половині ХХ ст. розпочалися вимірювання магнітних полів і плазми у сонячному вітрі і всередині магнітосфери, були отримані дані щодо зовнішніх джерел варіацій геомагнітного поля. За рядами таких даних близько 60 років разом із результатами вимірювань на магнітних обсерваторіях можна досліджувати джерела ВВ та їх зв'язок з геомагнітною активністю.

Як показано у статті [Сумарук, Сумарук, 2018], вікова варіація вектора повної напруженості геомагнітного поля ВВ( $T$ ) на певній обсерваторіях, розміщених на різ-

них тектонічних плитах, суттєво різняться як за амплітудою, так і за характером часових змін. Отже, форма кривої ВВ( $T$ ) на певній обсерваторії залежить від місця положення обсерваторії та від часу.

Найімовірніше, географічні зміни ВВ( $T$ ) пов'язані з параметрами внутрішніх джерел — головного магнітного поля, аномального магнітного поля, а також поля, спричиненого індукційними струмами у підстильних поверхнях обсерваторій. Внесок у ВВ( $T$ ) головним магнітним полем, зумовлений струмами на межі ядро—мантія, добре описується модельними розрахунками, для прикладу моделлю IGRF, практично є сталим для кожної обсерваторії і не впливає на форму кривої змін ВВ( $T$ ). Внесок у ВВ аномального магнітного поля, як показано у статті [Орлюк, 2012], подібно до внеску головного магнітного поля — сталий (або дуже мало змінюється), зумовлений «п'єзомагнітним ефектом» і також не впливає на форми кривих ВВ( $T$ ) обсерваторій. Особливий інтерес становить внесок у ВВ( $T$ ) індукційних струмів у підстильних поверхнях обсерваторій, оскільки на величину індукційних струмів впливають як внутрішні, так і зовнішні джерела ВВ. Як показано у статті [Орлюк, 2014], швидкість зміни ВВ( $T$ ) у періоди з великою геомагнітною активністю збільшується у 1,5—2 рази порівняно зі спокійними періодами. Хоча згадане дослідження проведено за даними українських геомагнітних обсерваторій, втім не викликає сумніву той факт, що індукційні струми у підстильних поверхнях, а отже, географічне положення обсерваторії, відіграють важливу роль у впливі зовнішніх джерел ВВ на поведінку кривих ВВ( $T$ ).

Мета цієї роботи — дослідження швидкості змін ВВ( $T$ ) на обсерваторіях, розміщених у різних регіонах Землі, з часом.

Для дослідження використано ряди даних щодо ВВ( $T$ ) на обсерваторіях за 1920—2019 рр. (табл. 1). У першій колонці подано назву обсерваторії та АВВ-код; наведено назви тектонічних плит, на яких розміщені обсерваторії, географічні та геомагнітні координати останніх.

Таблиця 1. Список обсерваторій

Назва обсерваторії, (АВВ-код)	Тектонічна плита (код)	Координати обсерваторії, град	
		географічні	геомагнітні
Алерт (ALE)	Північноамериканська (ПА, NOAM)	82/298	87/149
Хейс (HIS)	Євразійська (ЕА, EURA)	80/058	72/155
Моуд Бей (MBC)	Північноамериканська (ПА, NOAM)	76/240	80/269
Бьорнов (BJN)	Євразійська (ЕА, EURA)	75/019	71/122
Резольют Бей (RES)	Північноамериканська (ПА, NOAM)	74/265	83/309
Челюскін (CSS)	Євразійська (ЕА, EURA)	78/104	68/178
Тіксі (TIK)	»	72/129	62/193
Діксон (DIK)	»	74/81	64/163
Барров (BAR)	Північноамериканська (ПА, NOAM)	71/203	70/246
Годхавн (GDH)	»	69/306	78/034
Тромсю (TRO)	Євразійська (ЕА, EURA)	70/019	67/115
Абіско (ABK)	»	68/019	66/114
Соданкюля (SOD)	»	67/027	64/120
Коледж (CMO)	Північноамериканська (ПА, NOAM)	65/212	65/261
Лервік (LER)	Євразійська (ЕА, EURA)	60/359	62/089
Казань (KZN)	»	56/049	50/131
Мінук (MEA)	Північноамериканська (ПА, NOAM)	55/246	61/308
Ленінград (LNN)	Євразійська (ЕА, EURA)	60/030	56/017
Руде Сков (RSV)	»	55/012	55/099
Німек (NGK)	Євразійська (ЕА, EURA)	52/012	58/098
Іркутськ (IRT)	Китайська (КУ, CHIN)	52/004	42/078
Дурбес (DOU)	Євразійська (ЕА, EURA)	50/005	51/089
Шамбон ля Форе (CLF)	»	48/002	49/86
Одеса (ODE)	»	47/031	44/112
Тбілісі (TFS)	»	42/045	37/124
Коїмбра (COI)	»	40/035	44/72
Фредеріксбург (FRD)	Північноамериканська (ПА, NOAM)	38/282	48/354
Какіока (KAK)	Китайська (КУ, CHIN)	36/140	28/210
Шешань (SSH)	»	31/121	22/193
М'бур (MBO)	Африканська (АФ, AFBC)	014/343	20/58
Фукуена (FUQ)	Південноамериканська (ПіА, SOAM)	005/286	15/359
Алібаг (ABG)	Індо-австралійська (ІА, INDI)	19/073	10/147
Пілар (PIL)	Південноамериканська (ПіА, SOAM)	-32/296	-22/008
Херманус (HER)	Африканська (АФ, AFBC)	-34/019	-34/085
Тулангі (TOO)	Індо-австралійська (ІА, INDI)	-38/145	-45/224
Вернадський (AIA)	Антарктична (АН, ANTA)	-65/295	-55/006
Восток (VOS)	»	-78/107	-88/177
Лервокур (LER)	Євразійська (ЕА, EURA)	-78/106	-88/168
Домбос (DOB)	»	51/356	54/80
Хартланд (HAD)	»	64/338	69/71
Ескалем'юір (ESK)	»	62/09	62/100

Північна полярна шапка Землі має характерну зміну  $BB(T)$ . Навіть за малої геомагнітної активності, коли немає розвинутої магнітосферно-іоносферної системи струмів, у денні години літнього сезону там існують великі нерегулярні збурення геомагнітного поля [Бобров, 1981]. Джерелом таких збурень є потужний електрострум, який тече в іоносфері на широтах  $\sim 80^\circ$ , його напрямок залежить від знака та величини напруженості  $B_y$ -компоненти ММП [Сумарук и др., 1980].

Більшість обсерваторій цього регіону почали працювати у другій половині ХХ ст. Тільки датська обсерваторія Годхавн спостерігала варіації поля з 1926 р. На рис. 1, а показано  $BB(T)$ , згладжені біжними трирічними середніми значеннями на обсерваторіях північної полярної шапки Землі за 1950—2019 рр.

Максимальні  $BB(T) > 0$  спостерігали на цих обсерваторіях в 1970—1973 рр. Значення  $BB(T)$  на обсерваторіях зростали до 1979 р. Абсолютні значення цього росту зменшувалися після 1969 р. Слід зауважити, що в березні 1969 р. спостерігався максимум особливого, 20-го, циклу сонячної активності [Гвишиани и др., 2015; Сумарук, Сумарук, 2018]. У той рік змінився знак ВМПС. Отже, протягом фази додатних значень ВМПС  $BB(T)$  набувало додатних значень і змінило знак близько 1979 р. На обсерваторіях THU, RES, MBC, GDH зміна знака  $BB(T)$  відбулася швидше на 1—2 роки, на обсерваторіях ALE, HIS — після 1979 р. Різні роки зміни знака  $BB(T)$  на обсерваторіях найімовірніше пов'язані з особливостями внутрішньої будови підстильних поверхонь обсерваторій та індукційними струмами в них. Після 1979 р. (максимум 21-го циклу сонячної активності) геомагнітна активність почала спадати, а  $BB(T) < 0$  збільшувалися за абсолютною величиною до 1986 р., хоча на обсерваторії VJN  $BB(T)$  набули мінімальних значень у 1984 р. У 1986 р. ВМПС змінює знак,  $BB(T) < 0$ , і починає зменшуватись за абсолютною величиною до 2000 р. і потім змінює знак на додатний на обсерваторіях ALE (1998), THU (2000), а на обсерваторіях

RES та GDH  $BB(T) \approx 0$  нТл досягає у 2003 р. У цей час спостерігаються надзвичайно великі геомагнітні бурі 2003—2004 рр. на спаді активності 23-го циклу сонячної активності. Після 2003 р. амплітуди  $BB(T) < 0$  почали зростати, набули максимальних значень у 2014 р. (початок 24-го циклу сонячної активності) і на обсерваторіях THU, RES, GDH, VJN зменшувались до 2019 р. Отже, спостерігаємо циклічні зміни  $BB(T)$  з періодом близько 30 років. Цей ефект зменшується зі спадом широти обсерваторії.

Ланцюжок магнітних обсерваторій авроральної зони у Північній півкулі Землі знаходиться на геомагнітних широтах  $60\text{--}70^\circ$  і охоплює всі довготи. У зоні полярних сьвів Південної півкулі розміщені тільки п'ять діючих магнітних обсерваторій, тому вивчати  $BB$  у південній зоні полярних сьвів у повному обсязі не можна.

На авроральних широтах геомагнітна активність досягає максимальних значень. Активність тут характеризують AL- і AU-індексами, які вираховують як максимальне відхилення  $H$ -компоненти поля від спокійного рівня на нічній та ранішній сторонах авроральної зони ( $AL < 0$ ) та на денній і вечірній її сторонах ( $AU > 0$ ). Сума абсолютних значень AL та AU дає AE-індекс. Алгебраїчна сума AL та AU дає AO-індекс. Під час магнітних бур AL-індекс завжди більший за AU-індекс, тобто AO-індекс завжди від'ємний. Сумарні значення усередненого за рік AO-індексу в роки великої сонячної і геомагнітної активності більші, ніж у роки низької активності. Тому в авроральній зоні  $BB$  містять компоненту, пов'язану з геомагнітною активністю.

На рис. 1, б показано  $BB(T)$  на довготному ланцюжку магнітних обсерваторій, розміщених в авроральній зоні Північної півкулі Землі — DOB, LRV, ABK, TRO, SOD, DIK, CCS, TIK, BRW, COI за 1945—2019 рр. Характерною ознакою варіацій в авроральній зоні є те, що вони змінюються у фазі й екстремуми графіків припадають на одні й ті самі роки. Максимальні додатні за знаком  $BB(T)$  спостерігали у 1972—1974 рр. (LRV, DIK, TRO, COI), а від'ємні (крім об-



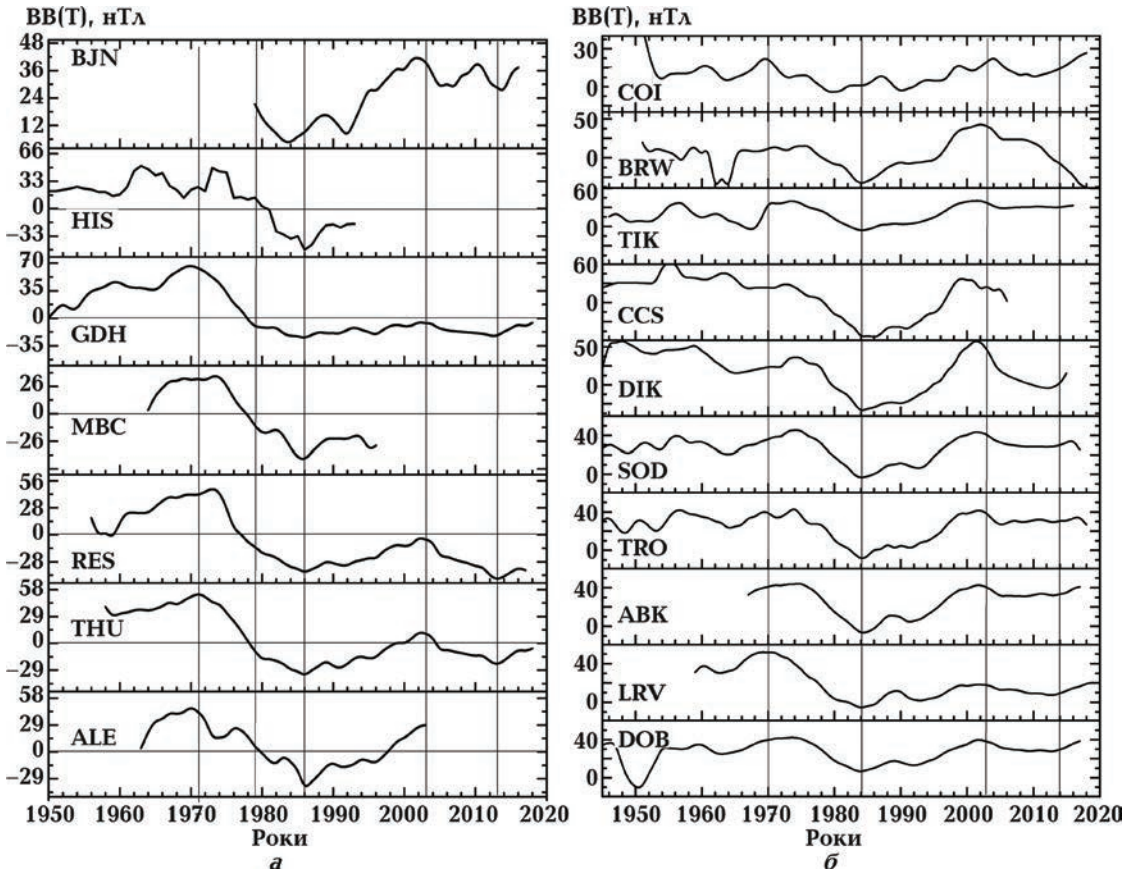
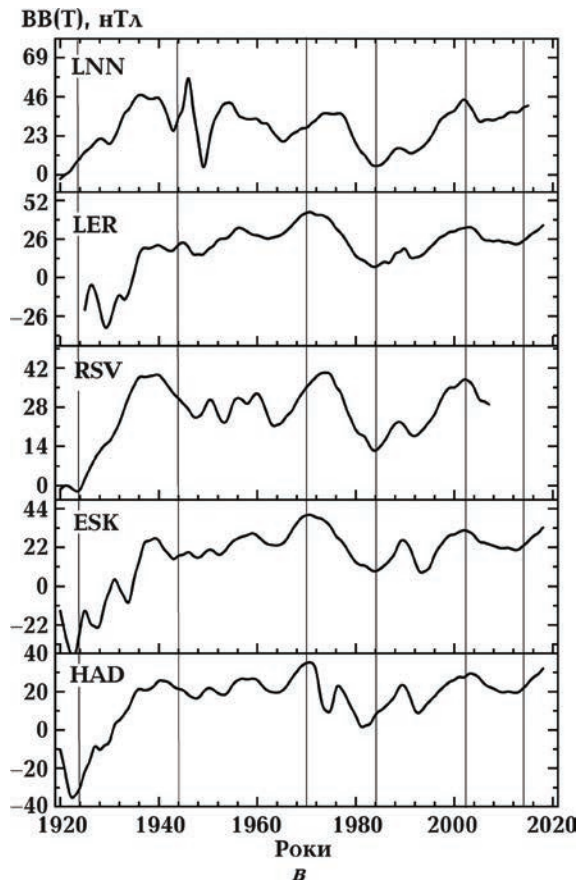


Рис. 1. Вікова варіація індукції магнітного поля  $T$ : *a* — на обсерваторіях північної полярної шапки Землі за 1940—2019 р.; *б* — на обсерваторіях північної авроральної зони та деяких субавроральних обсерваторіях за 1930—2019 рр.; *в* — на європейських середньозиротних та субавроральних обсерваторіях за 1930—2019 рр.

Fig. 1. Secular variations magnetic field induction  $T$ : *a* — on north polar cap for 1940—2019; *б* — on the northern aurora oval and some subauroral observatories for 1930—2019; *в* — on the European latitude observatories and subauroral observatories for 1930—2019.



**Таблиця 2. Значення  $BB_1(T)$  від внутрішніх джерел у 1979 р. на обсерваторіях північної авроральної зони**

ABB-код	ABI	BJN	TRO	LRV	NAL	DIK	CMO	CWE	NAQ	BRW	CCS	TIK	FCC
$BB_1(T)$	17	14	12	9	7	0	-2	-6	-8	-8	-17	-22	-34

серваторій LRV, ABK і TRO, де  $BB(T) > 0$  за весь досліджуваний інтервал часу) — в 1986 р. Новий максимум додатних за знаком  $BB(T)$  спостерігали в 2003 р. Мінімум  $BB(T)$  у 2014 р. слабо виражений.

Європейські обсерваторії LRV, ABK, SOD, TRO за період з 1969 до 2003 р. спостерігали тільки змінні додатні за знаком  $BB(T)$ , тоді як на всіх інших авроральних обсерваторіях знак  $BB(T)$  змінюється, причому в різні роки. Припустивши, що  $BB(T)$  має два джерела: внутрішнє — постійне або малозмінне; зовнішнє — пов'язане з геомагнітною активністю, можна обчислити (розділити)  $BB(T)$  від обох джерел. Таке припущення правдоподібне, оскільки, як показано вище, в полярних шапках Землі екстремуми  $BB(T)$  збігаються з роками максимумів або мінімумів сонячної активності. У 1979 р. змінився знак ВМПС і, відповідно, знак середньорічних значень вертикальної ( $B_z$ ) компоненти ММП, тому можна вважати, що в цей рік внесок зовнішніх джерел у  $BB(T)$  дорівнює нулю, тобто того року  $BB(T)$  генерувалися тільки внутрішніми джерелами. Ми обчислили величини  $BB_1(T)$  від внутрішніх джерел у 1979 р. на обсерваторіях північної авроральної зони (табл. 2).

Оскільки  $BB_1(T)$  змінюються з часом повільно (квазіпостійна величина), то, взявши ці величини за нульовий рівень, можна знайти величину  $BB_2(T)$  від зовнішніх джерел, як різницю між  $BB(T) - BB_1(T)$  за будь-який рік.

Отже, ВВ індукції магнітного поля в авроральній зоні Північної півкулі генеруються двома джерелами: квазіпостійним внутрішнім та змінним зовнішнім, величина якого залежить від сонячної активності. Амплітуда змінної компоненти пов'язана з геомагнітною широтою обсерваторії. Амплітуда зростає з наближенням до маг-

нітного полюса.  $BB(T)$  у високих широтах Землі (полярні шапки та авроральна зона) генеруються такими джерелами: внутрішніми глобальними та регіональними, малозмінними за величиною, і зовнішніми, що пов'язані зі зміною геомагнітної активності, яка добре корелює зі змінами сонячної активності взагалі, величиною та знаком ВМПС.

Порівнявши  $BB(T)$ , згладжені біжними трирічними середніми значеннями на обсерваторіях північної авроральної зони та деяких субавроральних обсерваторіях за 1945—2019 р. (рис. 1, а, б), бачимо, що фази варіацій в полярній шапці та на авроральних магнітних обсерваторіях збігаються, однак амплітуди їх менші на обсерваторіях авроральної зони, тільки на обсерваторіях сибірського сектору (DIK, CSS, TIK) вони співмірні з амплітудами варіацій в полярній шапці за цей період часу. Слід зазначити, що на географічній довготі  $\sim 104^\circ$  знаходиться обсерваторія м. Челюскін (CSS), східний фокус  $BB(T)$ . На обсерваторії CSS амплітуда  $BB(T)$  співмірна з амплітудами на обсерваторіях у полярній шапці.

На рис. 1, в показано графіки  $BB(T)$  на європейських середньоширотних та субавроральних обсерваторіях за 1920—2019 рр. Добре помітні аналогічні зміни  $BB(T)$  в полярній шапці та на авроральних широтах, але значно меншої амплітуди. Чітко можна виділити максимуми  $BB(T)$  близько 1940, 1970, 2000 рр. і мінімуми близько 1924, 1954, 1984, 2014 рр., що, як показано вище, залежать від сонячної активності та знака ВМПС. Ці зміни мають також період близько 30 років.

На рис. 2 показано залежність різниць  $BB(T)$  у 1969 та 1986 рр. ( $\Delta BB(T)$ ) на обсерваторіях Північної півкулі Землі від геомагнітної широти обсерваторії. Спостерігається квазілінійна залежність  $\Delta BB(T)$  від

геомагнітної широти. Авроральні обсерваторії CSS, DIK, TIK спостерігають великі  $\Delta BB(T)$ , які не вкладаються у квазіпрямо-лінійну залежність. Аналогічні зміни спостерігали у 1986 та 2003 рр.

Таким чином,  $BB(T)$  геомагнітного поля на обсерваторіях високих широт у Північній півкулі Землі у 20—24-му циклах сонячної активності квазілінійно залежать від геомагнітної широти обсерваторії. Спостерігаються відхилення від лінійної залежності на обсерваторіях CSS, DIK, TIK, які розміщені у секторі довгот  $90^\circ\text{—}120^\circ$ , де знаходиться східний фокус  $BB(T)$ . Припустивши, що залежність  $\Delta BB(T)$  за 1969—1986 та 2003—1986 рр. від часу лінійна, можна вичислити середню зміну  $\Delta BB(T)$  за кожен рік на всіх обсерваторіях. У табл. 3 подано назви обсерваторій (АВВ-код), на яких зміни абсолютних значень  $\Delta BB(T)$  за рік на проміжку часу 1969—2003 рр. змінюються в межах  $\Delta BB(T) \geq 2$  нТл/рік,  $1 \leq \Delta BB(T) < 2$ , та  $0 < \Delta BB(T) \leq 1$  нТл/рік. Як бачимо, найбільші річні зміни  $\Delta BB(T)$  спостерігаються на приполюсних обсерваторіях THU, RES, GDH і на обсерваторіях, розташованих поблизу східного фокуса  $BB(T)$  у Північній півкулі Землі (CSS, DIK, TIK).

Зміни  $\Delta BB(T)$  на проміжку часу 1969—1986 рр. (від максимуму 20-го циклу до мінімуму між 21-м та 22-м циклами сонячної активності 18 років), можна представити лінійною залежністю  $\Delta BB(T)$  від часу. Таку залежність можна отримати і для 1986—2003 рр. (спад абсолютних значень  $BB(T) = 18$  років). Проміжок часу 1969—2003 рр. вміщує два цикли Хейла сонячної активності (20-й і 21-й цикли Вольфа — пер-

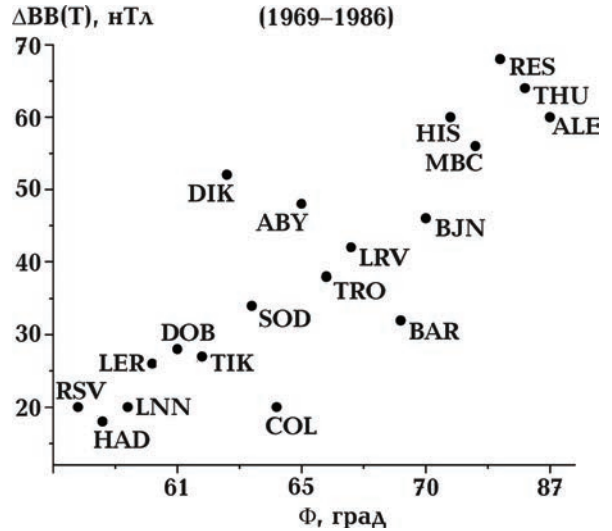


Рис. 2. Залежність різниць  $BB(T)$  у 1969 та 1986 рр. на обсерваторіях Північної півкулі Землі від геомагнітної широти  $\Phi$  обсерваторії.

Fig. 2. Dependence differences of  $SV(T)$  on 1969 and 1986 at the North semisphere of the Earth from geomagnetic latitude of the observatories.

ший, та другий — 22-й і 23-й цикли Вольфа 1986—2009 рр.). Між першим і другим циклами Хейла спостерігається двогорбий максимум чисел Вольфа (1989 та 1991 рр.). У першому з названих циклів Хейла ВМПС було додатним (від Сонця на північному полюсі). Такий напрямок ВМПС вів до збільшення сонячної активності [Сумарук и др., 1980], тобто до зменшення значень  $T$ , тому до 1976 р. значення  $\Delta BB(T)$  зменшувались. Після 1976 р. ВМПС зменшувалось за абсолютною величиною, геомагнітна активність зменшувалась.

На обсерваторіях CSS, DIK, TIK цей процес проходив інтенсивніше. Залежність  $\Delta BB(T)$  також проявилась на субаврораль-

**Т а б л и ц я 3.** Обсерваторії (АВВ-код), абсолютні значення  $\Delta BB(T)$  на яких змінювались на вказану величину (нТл/рік) на проміжку часу 1969—2003 рр.

$\Delta BB(T) \geq 2,0$	$1,0 \leq \Delta BB(T) < 2,0$	$0 < \Delta BB(T) < 1,0$
ALE, NAL, THU, RES, BJN, BRW, BLC, FCC, MEA, VIC, NEW, STJ, OTT, GDH, ABK, TFS, FRD, BOU, TUC, CCS, DIK, TIK, AAA, TKT, LZN, ASH, SSH, KNY, SAB, ABG, HYB, PAF, CZT, MIR, SYO, HER	VAL, HAD, ESK, CMO, SIT, TRO, SOD, DOB, NUR, LER, LNN, LOV, BEL, ODE, BDV, SVD, NVS, PET, IRT, ASH, KNZ, KNY, WHN, LNP, SIG, GUI, MLT, TEO, FUQ, TTB, TNG, GNA, AIA, SBA	RSK, MOS, ESK, HLP, MNK, NGK, LVV, MAB, DOU, FUR, CLF, SUA, GSK, PAG, AGU, TOL, COI, TAM, HON, GUA, AAE, BNG, HUA, API, TAN, TSU, VSS, TOO, AML, TRW, MCQ

Таблиця 4. Групи обсерваторій із симетричними та несиметричними змінами ВВ

ВВ $\approx$ 3÷4 нТл/рік Зміни симетричні	ВВ $\approx$ 0÷1 нТл/рік Зміни симетричні	Зміни ВВ несиметричні відносно 1988 р.	Несиметричні зміни ВМПС у двох циклах додатне	Несиметричні зміни ВМПС у двох циклах від'ємне
ALE(5), NAL(5), BJN(2), TRO(2), ABK(4), SOD(2), CMO(2), DOB(3), NUR(5), LER(9), LNN(6), LOV(5), ODE(1), SSH(2), BIJ(3)	RSK(3), MOS(6), ESK(6), MNK(8), WNG(8), PET(1), NGK(2), BEL(6), LVV(3), HAD(6), MAB(7), DOU(6), HON(0), API(1), TAN(3), MCQ(6), FUR(2), BDN(0), LNP(0), AML(0)	THU(45), RES(54), GDH(58), BLC(62), LVR(30), BOU(8), FRD(13), GUI(9), GUA(10), GNA(19), CCS(15), TIK(26), BRW(8), CLF(8), SUA(12), NVS(26), KAK(19), LZH(40), KNZ(17), KNY(17), WHN(7), FUQ(18), THG(14), VSS(9), TAM(7)	FCC(59), SIT(24), MEA(21), VIC(8), NEW(8), OTT(19), TUC(23), PAG(18), AGU(42), TFS(21)	SVD(31), NVS(5), IRT(25), STJ(53), AAA(29), TKT(27), ASH(23), SAB(27), HYD(27), ABG(15), MBO(13), AAE(11), TTB(8), HER(21), PAF(16), AIA(9), TOO(13), MCQ(6), MIR(14), SYO(21)

них обсерваторіях, але з меншою амплітудою. На низькоширотних обсерваторіях ефект не проявився.

У 1969—1986 рр. активність Сонця і величина ВМПС зменшувались, а 1986—2003 рр. знак ВМПС змінився на протилежний, активність Сонця зросла. На графіках часових змін ВВ( $T$ ) обсерваторій спостерігається симетрична або асиметрична залежність ВВ( $T$ ) від часу. Екстремуми ВВ спостерігаємо в 1969, 1986 та 2003 рр. По граничних екстремумах 1969 та 2003 рр. можна виявити вигляд зміни сонячної активності і ВВ — симетричний або несиметричний, якщо центром симетрії обрати 1986 р. Якщо варіації сонячної активності та зміни ВВ симетричні на двох проміжках часу 1969—1986 і 1986—2003 рр., то це означає, що зовнішні джерела роблять більший внесок у ВВ, ніж внутрішні. Величина асиметрії ВВ від внутрішніх джерел має це показати. Чим більша асиметрія залежності ВВ від часу на двох проміжках часу за 1969—2003 рр. з центром симетрії у 1986 р., тим більший вплив внутрішніх джерел.

У відповідності до таких міркувань усі магнітні обсерваторії світової сітки, за даними яких можна обчислити ВВ на проміжку часу 1969—2003 рр., були зібрані у п'ять груп, залежно від величини зміни ВВ у середньому за рік на проміжку часу

1969—2003 рр. відносно симетричності змін ВВ у циклах Хейла та знака ВМПС в обох циклах. У дужках вказано максимум величини симетрії в нанотесла (табл. 4).

В табл. 3 показані ці групи (АВВ-код). Зміни ВВ симетричні у двох циклах Хейла і приймають мінімальні значення у приполюсному регіоні (ALE, NAL, BJN) в авроральних та середніх широтах. Несиметричні зміни ВВ (асиметрія максимальна на обсерваторіях GDH і BLC, FCC, а також на деяких субавроральних магнітних обсерваторіях і в регіонах підвищеної сейсмічної активності).

**Висновки.** Величина вікових варіацій геомагнітного поля залежить від внутрішніх і зовнішніх джерел. Внесок у вікову варіацію від внутрішніх та зовнішніх джерел неоднаковий для різних регіонів Землі та залежить від підстильних поверхонь обсерваторій.

Амплітуда змін величин ВВ( $T$ ) від зовнішніх джерел зростає зі збільшенням широти місця спостереження і максимальна на обсерваторіях в полярних шапках (у Південній півкулі Землі обсерваторій мало). Спостерігається квазілінійна залежність ВВ( $T$ ) від геомагнітної широти обсерваторії. На обсерваторіях, розміщених на довготах східного фокуса величини  $T$  (DIK, CSS, TIK), величина ВВ( $T$ ) більша, ніж на



приполюсних обсерваторіях. Найімовірніше тут більший внесок у зміну  $BB(T)$  роблять внутрішні джерела.

Швидкість змін  $BB(T)$  максимальна у високих широтах Північної півкулі і збільшується у сейсмоактивних регіонах. Поблизу екваторіальних обсерваторій швидкість

змін  $BB(T)$  мала. Симетрія та асиметрія графіків залежності  $BB(T)$  від часу для двох пар циклів Хейла (1969—1986 і 1986—2003 рр.) залежать від провідності підстильних поверхонь під обсерваторіями, а отже, від величини індукційних струмів та інтенсивності циклів Хейла.

### Список літератури

- Акасофу С.-І., Чепмен С. Солнечно-земная физика. Москва: Мир, 1975. 542 с.
- Бобров М. С. О параметре распада магнитосферного кольцевого тока. *Геомагнетизм и аэрономия*. 1981. Т. 21. С. 1048—1055.
- Гвишиани А. Д., Старостенко В. И., Сумарук Ю. П., Соловьев А. А., Легостаева О. В. Особенности солнечной и геомагнитной активности с 19-го по 24-й циклы. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2005. Т. 55. № 3. С. 299—306.
- Калегаев В. В., Макаренко Е. В. Динамика магнитосферных токовых систем во время магнитных бурь разной интенсивности. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2006. Т. 46. № 5. С. 604—613.
- Орлюк М. И., Роменец 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—145. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v34i3.2012.116651>.
- Орлюк М. И., Сумарук Т. П., Сумарук Ю. П., Роменец А. О. Оцінка вкладу індукційних струмів у вікову варіацію геомагнітного поля (за даними українських магнітних обсерваторій). *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 2. С. 111—119. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i2.2014.116124>.
- Сумарук П. В., Сумарук Т. П. Вікові варіації геомагнітного поля на літосферних плитах Землі. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 1. С. 118—133. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i1.2018.137199>.
- Сумарук П. В., Сумарук Ю. П. О внешних источниках вековых вариаций магнитного поля Земли. *Геофиз. журн.* 1998. Т. 20. № 3. С. 120—126.
- Сумарук П. В., Фельдштейн Я. И., Порчхидзе И. Д. Вариации геомагнитного поля на геомагнитных полюсах. *Physica Solarterrestr.* 1980. № 12. С. 70—78.
- Сумарук Т. П., Сумарук П. В. Особливості вікових варіацій геомагнітного поля у 20-му циклі сонячної активності. *Геофиз. журн.* 2018. Т. 40. № 3. С. 179—191. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137199>.
- Сумарук Ю. П. Кільцевий магнітосферний струм та його асиметрія в час великої магнітної бурі. *Геофиз. журн.* 2001. Т. 23. № 2. С. 96—100.
- Сумарук Ю. П., Сумарук Т. П. Про вклад зовнішніх джерел у вікову варіацію геомагнітного поля. *Доп. НАН України*. 2013. Т. 23. № 2. С. 96—100. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i1.2018.124021>.
- Шевнин А. Д., Левитин А. Е., Громова Л. И., Дремухина Л. А., Кайнара Л. А. Солнечная циклическая вариация в магнитных элементах обсерватории «Москва». *Геомагнетизм и аэрономия*. 2009. Т. 49. № 3. С. 315—320.
- Mead, G. D. (1964). Deformations of geomagnetic field by the solar wind. *J. Geophys. Res.*, 69(7), 1181—1196.
- Verbanac, G., Luhr, H., Rother, M., Korte, M., & Manda, M. (2007). Contributions of the external field to the observatory annual means and a proposal for their corrections. *Earth, Planet and Space*, 59, 251—257. <https://doi.org/10.1186/BF03353102>.

## Dependence of the velocity changes of secular variations on the position of observatory and time

*T. P. Sumaruk, P. V. Sumaruk, 2021*

S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

According to the data of world observatories net secular variations of geomagnetic fields from internal and outer sources have been studied. Averaged 3-year data have been used for this purpose. Procedure of calculations of secular variations from internal and outer sources according to observatories data has been submitted. 1979 has been chosen as a zero level for accounting secular variations from outer sources because the sign of the large-scale magnetic field has changed this year. It has been shown that the value of secular variations from outer sources is different for different regions and increases with the growth of the latitude of magnetic observatory. Maximal values of secular variations are observed in the northern polar cap as well as at the longitudes of the eastern focus of secular variation. It has been shown that at the DIK, CSS, TIK observatories secular variations have maximal values.

Groups of observatories have been segregated with symmetric and asymmetric changes of secular variation comparing to 1979. Symmetric changes of secular variation during two Hail's cycles are observed at the observatories in circumpolar area (ALE, NAL, BJN), in auroral and middle latitudes. Maximal asymmetry of secular variation is observed at the observatories GDH, BLC, FCC, as well as at certain subauroral observatories and the regions with raised seismic activity.

Secular variation from outer sources depends on the value of the large scale magnetic field of the Sun. The value of secular variation from the inner sources has been modulated by the outer sources and depends on special features of underlying surfaces of the observatories, induction currents in particular.

**Key words:** secular variations, solar activity, geomagnetic activity, magnetosphere and ionosphere sources.

### References

- Akasofu, S.-I., & Chapman, S. (1975). *Solar-Terrestrial Physics*. Moscow: Mir, 512 p. (in Russian).
- Bobrov, M. S. (1981). On the fade out of the magnetosphere ring current. *Geomagnetizm i aeronomiya*, 21, 1048—1055 (in Russian).
- Gvishiani, A. D., Starostenko, V. I., Sumaruk, Yu. P., Soloviev, A. A., & Legostaeva, O. V. (2015). A decrease in solar and geomagnetic activity from cycle 19 to cycle 24. *Geomagnetizm i aeronomiya*, 55(3), 314—322 (in Russian).
- Kalegaev, V. V., & Makarenkov, Ye. V. (2006). Dynamics of the magnetosphere current systems during magnetic storms different intensities. *Geomagnetizm i aeronomiya*, 46(5), 604—613 (in Russian).
- Orlyuk, M. I., Romenets, A. V., Sumaruk, P. V., Sumaruk, Yu. P., & Sumaruk, T. P. (2012). The spatial-temporal structure of the magnetic field of Ukraine's territory: assessment of the contribution of internal and external sources. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 34(3), 137—144. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v34i3.2012.116651> (in Ukrainian).
- Orlyuk, M. I., Sumaruk, T. P., Sumaruk, Yu. P., & Romenets, A. A. (2014). Valuation of induction current contribution to the secular variation of geomagnetic field (according to the data of Ukrainian geomagnetic observatories). *Geofizicheskiy Zhurnal*, 36(2), 111—119. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i2.2014.116124> (in Ukrainian).
- Sumaruk, P. V., & Sumaruk, T. P. (2018). Secular

- variations of the geomagnetic field on the lithosphere plates of the Earth. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 40(1), 118—133. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137199> (in Ukrainian).
- Sumaruk, P. V., & Sumaruk, Yu. P. (1998). On the external sources of the secular variations of the geomagnetic field. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 20(3), 120—126 (in Ukrainian).
- Sumaruk, P. V., Feldstein, Ya. I., & Porchgidze, I. D. (1980). Variations of geomagnetic fields on the geomagnetic poles. *Physica Solariterrestr.*, 12, 70—78.
- Sumaruk, T. P., & Sumaruk, P. V. (2018). Peculiarities of the geomagnetic field secular variations at the 20th solar activity cycle. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 40(3), 179—191. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137199> (in Ukrainian).
- Sumaruk, Yu. P. (2001). Ring magnetosphere current and its asymmetry during great magnetic storm. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 23(2), 96—100 (in Ukrainian).
- Sumaruk, Yu. P., & Sumaruk, T. P. (2013). On the contribution of external sources into secular variations of the geomagnetic field. *Dopovidy NAN Ukrayiny*, 23(2), 96—100. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i1.124021> (in Ukrainian).
- Shevnin, A. D., Levitin, A. E., Gromova, L. I., Dremukhina, L. A., & Kainara, L. A. (2013). Solar cyclic variations at the magnetic elements of observatory «Moscow». *Geomagnetizm i aeronomiya*, 49(3), 315—320 (in Russian).
- Mead, G. D. (1964). Deformations of geomagnetic field by the solar wind. *J. Geophys. Res.*, 69(7), 1181—1196.
- Verbanac, G., Luhr, H., Rother, M., Korte, M., & Manda, M. (2007). Contributions of the external field to the observatory annual means and a proposal for their corrections. *Earth, Planet and Space*, 59, 251—257. <https://doi.org/10.1186/BF03353102>.

## Зависимость скорости изменения вековых вариаций геомагнитного поля от положения обсерватории и времени

Т. П. Сумарук, П. В. Сумарук, 2021

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, Киев, Украина

По данным мировой сети обсерваторий исследованы вековые вариации геомагнитного поля от внутренних и внешних источников. Для этого использовались усредненные трехлетние данные. Представлена методика вычисления вековых вариаций от внешних и внутренних источников по обсерваторным данным. Как нулевой уровень отсчета вековых вариаций от внешних источников выбран 1979 г., когда изменился знак крупномасштабного магнитного поля.

Показано, что величина вековых вариаций от внешних источников разная для разных регионов и увеличивается с увеличением широты магнитной обсерватории. Максимальные величины вековых вариаций наблюдаются в северной полярной шапке, а также на долготах восточного фокуса вековой вариации. На обсерваториях DIK, CSS, TIK вековые вариации принимают максимальные значения.

Выделены группы обсерваторий с симметричными и несимметричными изменениями вековой вариации относительно 1979 г. Симметричные изменения вековой вариации на протяжении двух циклов Хейла наблюдаются на обсерваториях в приполюсной области (ALE, NAL, VJN), в авроральных и средних широтах. Максимальная асимметрия вековой вариации наблюдается на обсерваториях GDH, BLC, FCC, а также на некоторых субавроральных обсерваториях и в регионах с повышенной сейсмической активностью.

Вековая вариация от внешних источников зависит от величины крупномасштабного магнитного поля Солнца. Величина вековой вариации от внутренних источников промодулирована внешними источниками и зависит от особенностей подстилающих поверхностей обсерваторий, в частности, индукционных токов.

**Ключевые слова:** вековые вариации, солнечная активность, геомагнитная активность, магнитосферные и ионосферные источники.