

Вікові варіації магнітного поля Землі на Північноамериканській тектонічній плиті

Т.П. Сумарук, П.В Сумарук, 2022

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна
Надійшла 2022 р.

Показано, що зміна сонячної та геомагнітної активності відображається у змінах величини вікової варіації (ВВ) на Північноамериканській тектонічній плиті. Варіації ВВ найліпше виявляються близько максимумів сонячної активності. ВВ змінює знак або досягає екстремальних значень у роки екстремумів сонячної активності. Виділено дипольну та недипольну частини поля ВВ, дипольну частину виявлено у межах усїєї плити. Із збільшенням широти обсерваторії (середні та високі широти) вплив джерела ВВ недипольного походження підвищується. Період цього джерела близько 22 років, на низькоширотних обсерваторіях його вплив незначний.

У XX—XXI циклах сонячної активності внесок недипольної частини поля ВВ малопомітний на досліджуваних обсерваторіях, імовірно, через вплив джерка ВВ у 1979 р., проте у XXII—XXIV циклах сонячної активності внесок у ВВ недипольного джерела максимальний.

За даними обсерваторії «Мінук» та інших виділено 100-річний цикл вікової варіації з початком у 1920-ті роки. Максимум циклу спостерігався у 1960-ті роки, цикл закінчився близько 2013 р. Показано, що швидкості зміни ВВ(Т) на магнітних полюсах антикорелюють. На західній частині Північноатлантичної плити у ВВ(Т) виділено компоненту недипольного походження, однак на широтах менш як 48° ця компонента зменшується за амплітудою і мало проявляється. Поле атлантичного фокусу ВВ виявляється слабо. На низько- і середньоширотних обсерваторіях східної частини плити ВВ чітко відображають динаміку від'ємного атлантичного фокусу, тобто внутрішніх джерел. «Активізація» атлантичного фокусу ВВ відбулась у непарні цикли сонячної активності із збільшенням кількості рекурентних геомагнітних збурень та напрямком ВМПС від Сонця, що засвідчує вплив ВМПС на динаміку цього фокусу.

Ключові слова: вікова варіація, сонячна активність, геомагнітна активність, магнітосферні та іоносферні джерела.

Вивчення вікових варіацій (ВВ) магнітного поля Землі залишається однією з важливих тем сучасної геофізики, оскільки наближає нас до розуміння природи МПЗ. Понад 160 років спостереження за МПЗ проводять на магнітних обсерваторіях, розміщених у різних куточках нашої планети. На сьогодні кількість магнітних обсерваторій є недостатньою, тому широко використовують інші методи спостережень за МПЗ: супутникові спостереження, аерозйомка, пункти вікового ходу і т.п., однак дані, отримані вищеназваними методами, лише доповнюють дані магнітних обсерваторій.

Довгі неперервні ряди магнітних даних дають змогу досліджувати спектр та морфологію вікових варіацій МПЗ. У цьому сенсі дані магнітних обсерваторій найбільш високоякісні, оскільки вони отримані при усередненні неперервних вимірювань, виконаних нерухожими приладами [Яновський, 1978].

Спектральні та морфологічні зміни ВВ досліджувались багатьма авторами: [Яновський, 1978; Ротанова и др., 1982; Калинин, 1984; Golovkov et al., 1997; Man-dea, 2001; Максимчук и др., 2001; Орлюк та ін., 2014; Сумарук, Сумарук, 2018; 2021] та ін.

За археомагнітними даними виділено ВВ з періодами : 600 р., 350 р., 100—120 р. і навіть 7000 р. [Яновський, 1978]. За даними магнітних обсерваторій достовірно можливо виділити варіації з періодами 60—80 років [Ротанова и др., 1982], 22 роки, 11 років [Орлюк та ін., 2014], квазідворічні варіації [Сумарук, Сумарук, 2009], а також віковий хід [Максимчук та ін., 2001]. За допомогою статистичних та математичних методів розрахунку виділяють поле ВВ від внутрішніх та зовнішніх джерел. Проте, оскільки система Сонце—Земля є нелінійною [Черногор, 2008; Шуман, 2015], дослідження ВВ, побудовані на сучасних даних магнітних обсерваторій, дають змогу удосконалювати, доповнювати, а в деяких випадках виявляти помилки у загальноприйнятих моделях МПЗ.

Північноамериканська тектонічна (ПА) плита є однією з найнеоднорідніших. На плиті успішно функціонують багато магнітних обсерваторій, розміщених у вдало вибраних місцях. У регіоні працюють обсерваторії «Туле», «Годхавн» на о-ві Грен-

ландія, «Резольют-Бей», «Моулд-Бей» і «Алерт» на півночі Канади, біля північного магнітного полюса знаходяться канадські обсерваторії «Бейкер-Лейк», «Форт Черчілл», «Кембрідж Бей» і «Мінук». На тектонічно активних західних границях плити розміщені обсерваторії «Сітка» (границя з плитою Хуана де Фука), «Вікторія», «Ньюпорт», «Туксон» (границя з Тихоокеанською плитою). На узбережжі Атлантичного океану працюють обсерваторії «Сент-Джонс», «Фредеріксбург», «Оттава». На границі з Євразійською плитою розміщені обсерваторії «Барроу», «мис Челюскін», «Якутськ».

Метою даної роботи є дослідження спектральних та морфологічних змін вікових варіацій геомагнітного поля Землі на Північноамериканській тектонічній плиті за сучасними даними геомагнітних обсерваторій.

На рис. 1 показано карту розміщення обсерваторій на Північноамериканській тектонічній плиті, у таблиці наведено координати обсерваторій та їх АВВ-коди.

Магнітні обсерваторії на Північноамериканській тектонічній плиті

Назва	АВВ-код	Широта, град	Довгота, град
Барроу	BRW	71,30	203,25
Кембрідж-Бей	СВВ	69,10	255,00
м. Уеллен	CWE	66,17	190,17
Коледж	СМО	64,87	212,17
Якутськ	УАК	62,02	129,72
Магадан	MGD	60,12	151,02
Бейкер-Лейк	BLC	64,39	263,97
Форт Черчілл	FCC	58,80	265,90
Сітка	SIT	57,07	224,67
Мінук	MEA	54,62	246,67
Ньюпорт	NEW	48,27	242,88
Вікторія	VIK	48,52	236,58
Сент-Джонс	STJ	47,60	307,32
Оттава	OTT	45,40	284,45
Агінкурт	AGN	43,78	280,73
Боулдер	BOU	40,13	254,77
Фредеріксбург	FRD	38,20	282,63
Фресно	FRN	37,10	240,30
Туксон	TUC		249,17

Для дослідження було використано значення повного вектора (Т) індукції магнітного поля **В** обсерваторій за весь період спостережень. Дані були взяті з світового центру даних (World Data Centre of Geomagnetism (Edinburgh)) http://www.geomag.bgs.ac.uk/data_service/data/annual_means.shtml.

Вікову варіацію (ВВ) обчислювали як різницю між середньорічними значеннями поля даного та попереднього років:

$$ВВ_i = ВВ_i - ВВ_{i-1},$$

де *i* — рік спостереження, та осереднювали, для вилучення короткоперіодних варіацій (1—2 роки), біжучим трирічним вікном.

На рис. 2, а показано згладжені криві ВВ(Т) обсерваторій, які знаходяться близько північного магнітного полюса «Бейкер-Лейк» (ВЛС), «Форт Черчілл» (FCC), «Мінук» (МЕА) та «Кембрідж-Бей» (СВВ) (лінії з маркерами), лінії тренду (суцільні лінії) (апроксимовані поліномом 6-го степеня ВВ(Т)) та зміну сонячної активності (СА), вираженої числами Вольфа у ХІХ—ХХІV циклах СА.

Форма кривих ВВ(Т) на досліджуваних обсерваторіях вказує на існування кількох джерел ВВ(Т). Починаючи з 1969—1970 рр.,

ВВ(Т) розпочала зменшуватись і свого мінімуму досягла близько 2013 р., після чого ВВ(Т) на досліджуваних обсерваторіях почала зростати.

Найближче до магнітного полюса розміщена обсерваторія «Бейкер-Лейк» (ВЛС) (розпочала працювати в 1952 р.). До 1969 р. на обсерваторії ВВ(Т) додатне і досягає максимуму у цей рік $ВВ(Т)_{ВЛС} = 53$ нТл. Після 1969 р. ВВ(Т) ВЛС зменшується за абсолютною величиною, віковий хід становить близько -3 нТл/рік і у 2013 р. $ВВ(Т)_{ВЛС} = -84$ нТл.

На обсерваторії «Форт Черчіль» (FCC), яка знаходиться південніше ВЛС на 6° , ВВ(Т) досягає максимуму у 1970 р. і становить $ВВ(Т)_{FCC} = 35$ нТл. Після 1970 р. ВВ(Т) на обсерваторії зменшується за абсолютною величиною, віковий хід становить близько -3 нТл/рік і у 2013 р. $ВВ(Т)_{FCC} = -101$ нТл.

Значення ВВ(Т) на обсерваторії «Мінук» (МЕА), яка має найдовший ряд спостережень (з 1922 р.) і розміщена південніше магнітного полюса, практично від'ємні за весь період спостережень, окрім максимумів ХІХ та ХХ циклів СА (1955—1957 рр., 1966—1971 рр.). ВВ(Т) досягає максимумів



Рис. 1. Карта розміщення обсерваторій на Північноамериканській тектонічній плиті.

Fig. 1. Map of the location of observatories on the North American tectonic plate.

у 1957 р. та у 1970 р. і становить: $BB(T)_{MEA} = 23$ нТл (1957) та $BB(T)_{MEA} = 11$ нТл (1970). Після 1970 р. $BB(T)_{MEA}$ зменшується за абсолютною величиною, віковий хід становить близько $-2,7$ нТл/рік і у 2013 р. $BB(T)_{MEA} = -113$ нТл.

Значення $BB(T)$ на обсерваторії «Кембрідж-Бей» (СВВ), що розміщена найпівнічніше з досліджуваних обсерваторій, розпочала роботу у 1974 р., має максимум $BB(T)_{СВВ} = 28$ нТл. $BB(T)$ СВВ зменшується за абсолютною величиною, віковий хід становить близько $-2,7$ нТл/рік і у 2013 р. $BB(T)_{СВВ} = -69$ нТл мінімальне.

Максимуми кривих $BB(T)$ спостерігаються на усіх обсерваторіях близько 1969—1970 рр., На ці роки припадає максимум ХХ циклу сонячної активності, вираженої числами Вольфа, одного з найменших по амплітуді у ХХ ст. Зміна знака $BB(T)$ відбулась у МЕА — 1973 р., СВВ — 1977 р., FCC — 1975 р., ВЛС — 1976 р. у мінімумі сонячної активності (кінець ХХ — початок ХХІ). Зміна знаку $BB(T)$ у різні роки на досліджуваних обсерваторіях показує існування додаткових джерел $BB(T)$, зокрема це можуть бути струми у підстильних по-

верхніх обсерваторій, що промодульовані магнітосферно-іоносферною системою струмів.

Слід зауважити, що максимальних значень величин $BB(T)$ упродовж 11-річних циклів Вольфа набували у мінімумах сонячної активності, зокрема у 1986 р. та у 1996 р. це проявилось найчіткіше. У максимумах сонячної активності значення $BB(T)$ набували мінімальних величин.

Виділяється залежність величини $BB(T)$ на досліджуваних обсерваторіях від широти обсерваторії у ХХІІ—ХХІV циклах сонячної активності (на графіку вони розміщені із зростанням широти обсерваторії), що підтверджує висновки [Сумарук, Сумарук, 2021] та свідчить про наявність внутрішнього джерела $BB(T)$ недипольного походження з періодом близько 22 роки. Такий же період мають 22-річні цикли Хейла, однак відсутність даного ефекту у ХХ—ХХІІ циклах не дає змоги робити впевнений висновок про вплив сонячної активності на дане джерело. Така залежність слабо спостерігається на обсерваторії МЕА та інших обсерваторіях на ПА-плиті нижче 48° за широтою [Сумарук, Сумарук, 2021].

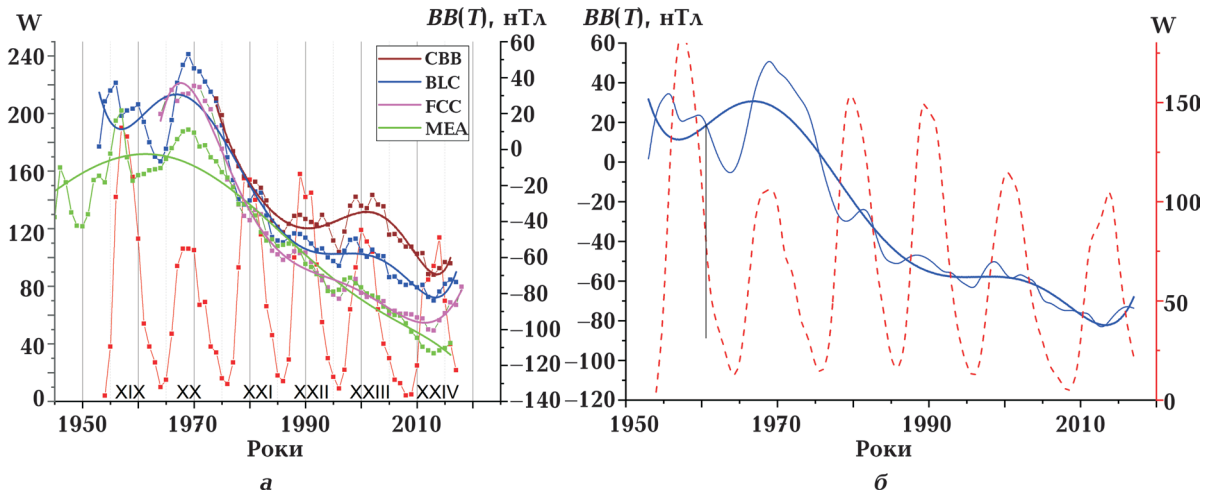


Рис. 2. Згладжені криві $BB(T)$ обсерваторій, які знаходяться близько північного магнітного полюса «Бейкер-Лейк» (ВЛС), «Форт Черчілл» (FCC), «Мінук» (МЕА) та «Кембрідж-Бей» (СВВ) (а) та залежність $BB(T)$ обсерваторії ВЛС від сонячної активності (б). Товста лінія — вікова варіація «внутрішнього походження», тонка лінія — $BB(T)$, промодульована сонячною активністю, штрихпунктирна лінія — сонячна активність, виражена числами Вольфа.

Fig. 2. Secular variations $SV(T)$ magnetic field induction the pole observatory ВЛС, FCC, МЕА, СВВ (а) and dependence secular variations magnetic field induction T on solar activity, observatory МЕА (б). Thick line — Secular variation of «internal origin», thin line — $SV(T)$, modulated by solar activity, dashed dotted line — solar activity, expressed by Wolf numbers.

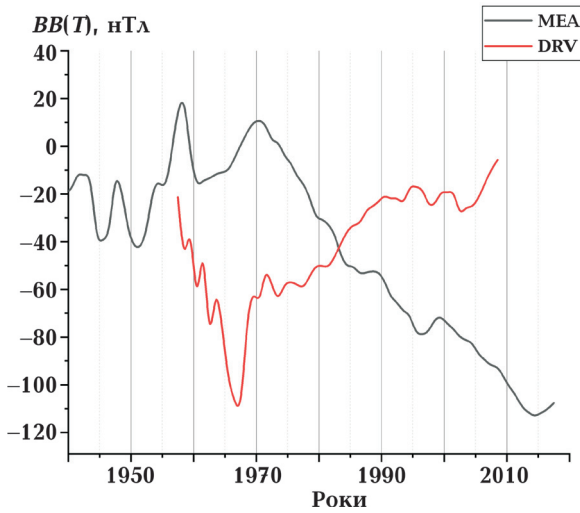


Рис. 3. Графіки часових змін ВВ(T) на обсерваторіях «Дюмон-д'Юрвіль» (DRV) та «Мінук» (МЕА).

Fig. 3. Secular variations magnetic field induction T on the observatories DRV and MEA.

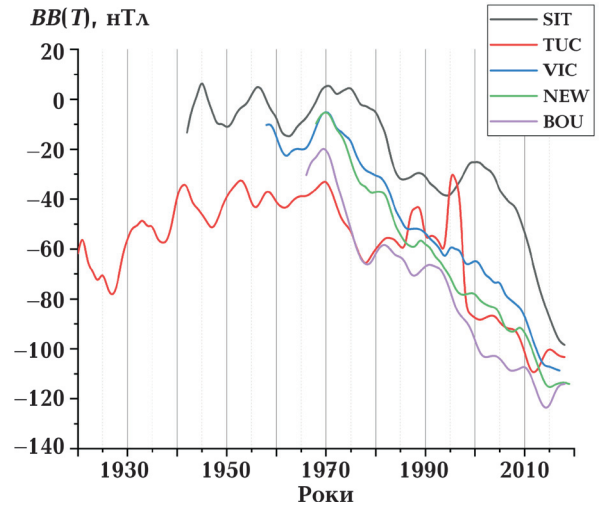


Рис. 4. ВВ(T) на північноамериканських обсерваторіях «Сітка»(SIT), «Туксон» (TUC), «Вікторія» (VIC), «Ньюпорт» (NEW), «Боулдер» (BOU).

Fig. 4. Secular variations magnetic field induction T on the observatories SIT, TUC, VIC, NEW, BOU.

За подібністю кривих ВВ(T) на досліджуваних обсерваторіях та обсерваторії МЕА можна зробити припущення про існування єдиного джерела ВВ(T) з періодом близько 100 р. Цикл розпочався на початку ХХ ст., максимум його спостерігався близько 1960 р. та його закінчення близько 2013 р. За кутом нахилу кривих ВВ(T) на досліджуваних обсерваторіях було визначено вклад вікового циклу у ВВ(T). Він становить для: $BLC=3$ нТл/рік, $FCC=3$ нТл/рік, $MEA=2,7$ нТл/рік, $CBV=2,7$ нТл/рік. Збереження знака $ВВ(T)<0$ на всьому проміжку часу на обсерваторії показує збільшення впливу внутрішніх джерел і зменшення впливу зовнішнього. Одне з джерел ВВ(T) чітко виділено на Північноамериканській тектонічній плиті за допомогою моделі нормального магнітного поля IGRF на епоху 1950 р. з потужністю 60000 нТл [Orlyuk, Romenets, 2020].

Якщо апроксимовану криву прийняти за нульовий рівень відліку ВВ(T) на досліджуваних обсерваторіях, то можна визначити вплив на ВВ(T) сонячної активності (для прикладу див. рис. 2, б). Сонячна активність на графіку виражена середньорічними числами Вольфа W [https://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/ssn.htm]. Виділяється чітка залежність впливу сонячної активності

на ВВ(T). Зменшення сонячної активності збільшує швидкість зміни ВВ(T). У мінімумах сонячної активності ВВ(T) набувають максимальних значень. Даний ефект не спостерігався близько 1970 року, що пояснюється впливом джерка на ВВ(T) досліджуваних обсерваторій [Головков, 1989].

На рис. 3 показано графіки часових змін ВВ(T) на обсерваторії «Дюмон-д'Юрвіль» (DRV), яка знаходиться близько магнітного полюса у Південній півкулі, та графік ВВ(T) на обсерваторії «Мінук» (МЕА) у Північній півкулі за 1959—2018 рр. Бачимо, що до 1969 р. $|ВВ(T)<0|$ на МЕА спадала, а на DRV — зростала. В 1969 р. $|ВВ(T)<0|$ на DRV досягла максимуму, а на МЕА дорівнює нулю. Після 1969 р. розпочався зворотній процес, тобто варіації швидкості зміни ВВ(T) на магнітних полюсах антикорелюють. Такі ж результати одержані і при порівнянні даних зміни ВВ(T) на магнітних обсерваторіях «Маусон» (MAW) та «Бейкер-Лейк» (BLC). Пояснити такі варіації ВВ(T) не можна ні зміщенням центрального диполя до півночі, ні зміною величини його магнітного моменту. При зміщенні центрального диполя до півночі зміни ВВ(T) в МЕА повинні бути додатні, а в DRV — від'ємні, а при зміні величини

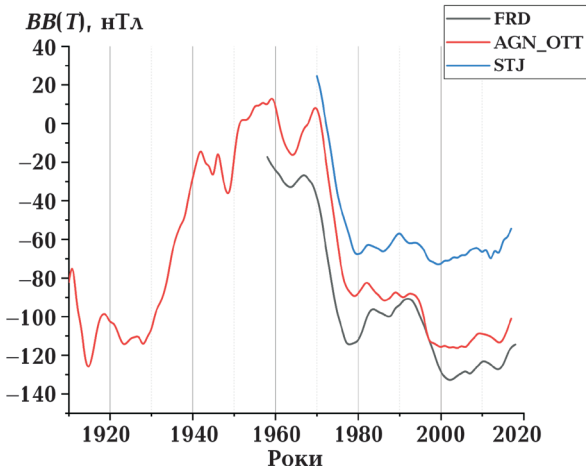


Рис. 5. $BB(T)$ на магнітних обсерваторіях FRD, AGN — OTT і STJ.

Fig. 5. Secular variations magnetic field induction T on the observatories AGN — OTT and STJ.

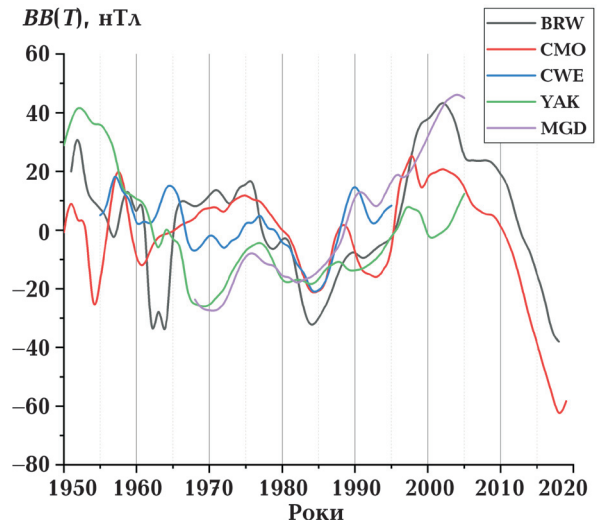


Рис. 6. Графіки зміни $BB(T)$ на обсерваторіях BRW, CMO, CWE, YAK, MGD.

Fig. 6. Secular variations magnetic field induction T on the observatories BRW, CMO, CWE, YAK and MGD.

магнітного моменту центрального диполя на обох магнітних полюсах варіації повинні відбуватись в фазі.

Єдиним прийнятним є припущення, що зміни $BB(T)$ пов'язані із зовнішніми джерелами, тобто зі зміною сонячної та геомагнітної активності. Зокрема, на нашу думку, прослідковується 80-річний цикл сонячної активності на довгоперіодному проміжку.

На рис. 4 показано ряди $BB(T)$ на північноамериканських обсерваторіях «Сітка» (SIT), «Туксон» (TUC), «Вікторія» (VIC), «Ньюпорт» (NEW), «Боулдер» (BOU), розміщених близько до границь з Тихоокеанською плитою, на західному побережжі Північної Америки. Найдовші ряди спостережень мають високоширотна обсерваторія SIT та низькоширотна TUC, всі інші почали працювати в другій половині 1960-х років. На обсерваторії SIT абсолютні значення $BB(T) < 0$ зменшуються і переходять через нуль в 1969 р. До 1974 р. $BB(T) > 0$, в 1976 р. знову спостерігається перехід через нуль, тобто перегини кривої $BB(T)$ і зміна знака збігаються із змінами на кривих у приполюсному районі (див. рис. 2), однак амплітуда таких змін набагато менша (у 3—5 разів). На обсерваторії SIT перегини кривої $BB(T)$ спостерігаються в 1947, 1959, 1970, 1989, 2000 рр. (чітко проявляється вплив максимумів 11-річних циклів

сонячної активності). Значення $BB(T)$ на обсерваторії TUC, яка розміщена у низьких широтах, значно більші за абсолютною величиною, ніж на SIT, мінімум бачимо в 1953 р., перегини кривої — в 1979—1980 та 1985 рр. (як і на обсерваторії BOU).

$BB(T)$ на обсерваторіях SIT, TUC, VIC, NEW, BOU спостерігають мінімальні $BB(T) < 0$ в 1969 р. і далі бачимо збільшення їх абсолютних значень до 2013 р. Таким чином, на західній частині Північноамериканської плити у високих широтах у $BB(T)$ наявна компонента від зовнішніх джерел, але на широтах, менших за 48° , ця компонента мала за амплітудою.

Збільшення абсолютних значень $BB(T) < 0$ на середньо- і низькоширотних обсерваторіях (BOU, TUC), можна пояснити процесами, пов'язаними із збільшенням величини атлантичного від'ємного фокуса BB [Орлов и др., 1968, Domingos et al., 2019, Orlyuk, Romenets, 2020], на які накладаються незначні варіації від зовнішніх джерел.

На даних обсерваторіях також виділяється 100-річний цикл сонячної активності (за даними обсерваторії TUC) з максимумом близько 1960 р. та мінімумом у 2013 р.

На рис. 5 показано $BB(T)$ на магнітних обсерваторіях FRD, AGN—OTT і STJ, які

розміщені в східній частині Північноамериканської плити. Найдовші ряди спостережень мають обсерваторії AGN (в 1969 р. перенесена в Оттаву) та FRD (до 1956 р. працювала в Челтхемі (CLH)). Обсерваторія STJ, яка розміщена на острові, почала спостереження в 1968 р., але її дані добре узгоджуються з даними FRD і ОТТ.

Обсерваторія AGN—ОТТ знаходиться поблизу потужного від'ємного атлантичного вихора [Орлов и др., 1968] у ВВ(Т) і на ній добре відображається динаміка змін цього вихора. Максимальних абсолютних значень ВВ(Т)<0 досягли у 1917 р., ВВ(Т)=-127 нТл. З 1929—1942 рр. та 1949—1959 рр. бачимо різку зміну ВВ(Т) від -117 нТл/рік до -18 нТл/рік та від -38 нТл/рік до +17 нТл/рік (тобто прискорення ВВ(Т) становило 7 нТл/рік² та 5,5 нТл/рік²), далі абсолютна величина ВВ(Т)<0 спадала і досягла мінімуму у 1959 р. ВВ(Т)=11 нТл. Аналогічну зміну ВВ(Т), але вже з від'ємним прискоренням: -9 нТл/рік² та -6,5 нТл/рік² спостерігаємо у 1969—1979 рр. та 1991—1999 рр. відповідно, що є відображенням впливу регіонального диполя, який генерує атлантичний фокус ВВ. За даними обсерваторій у східній частині Північноамериканської плити чітко прослідковується вплив атлантичного фокуса ВВ та сонячної активності, зокрема Великомасштабного поля Сонця (ВМПС). У 1929—1939 рр., 1949—1959 рр., 1969—1979 рр., 1989—1999 рр. (непарні цикли сонячної активності 17, 19, 21, 23) ВМПС було направлено від Сонця [Обридко и др., 2004]), відбулося різке збільшення кількості рекуретних геомагнітних збурень [Сумарук, Сумарук 2009], що і призвело до «активізації» атлантичного фокуса вікових варіацій.

Отже ВВ(Т) на магнітних обсерваторіях низько- і середньоширотної східної частини Північноамериканської плити здебільшого відображають динаміку змін інтенсивності потужного від'ємного атлантичного фокуса, тобто внутрішніх джерел, але роки перегинів графіків ВВ(Т) (1916, 1950, 1979, 1986, 2003) близькі до екстремумів сонячної активності і відображають вклад у ВВ(Т) зовнішніх джерел. (див рис. 5).

На рис. 6 показано графіки зміни ВВ(Т) на обсерваторіях BRW, СМО(на Алясці), СВЕ (Чукотка), УАК (на границі з Євразійською (ЄА) плитою) та MGD (на границі з Тихоокеанською (ТО) плитою), які знаходяться на ПА-плиті. Дані обсерваторій СВЕ, MGD, УАК наявні тільки до 2000 р. Вид графіків на обсерваторіях даного регіону суттєво відрізняється від графіків ВВ(Т) як на східній (див. рис. 5), так і на західній (див. рис. 4) частинах Північноамериканської плити. ВВ(Т) на обсерваторіях BRW і СМО добре корелюють з ВВ(Т) у полярній шапці та авроральній зоні, графіки ВВ(Т) на обсерваторіях MGD і УАК — з ВВ(Т) на азійській частині Євразійської плити, а графік ВВ(Т) на обсерваторії СВЕ має перехідну форму між графіками ВВ(Т) BRW, СМО та MGD і УАК.

Висновки. Зміна сонячної та геомагнітної активності відображається у змінах величин компонент ВВ(Т) на ПА-плиті. Варіації ВВ(Т) найкраще проявляються близько максимумів сонячної активності. ВВ(Т) змінює знак або досягає екстремальних значень в роки екстремумів сонячної активності.

Отримані криві ВВ(Т) описують дипольне та недипольне поле ВВ(Т). Існує зв'язок ВВ(Т) з джерелом недипольного походження, що збільшує свій вплив із збільшенням широти обсерваторії. На низькоширотних обсерваторіях цей ефект не проявляється. Джерк вікової варіації 1979 р. проявився на ПА-плиті накладанням на поле недипольного походження.

Швидкості зміни ВВ(Т) на магнітних полюсах антикорелюють.

На західній частині ПА-плити у ВВ(Т) є компоненти недипольного походження, однак на широтах, менших за 48°, ця компонента зменшується за амплітудою і мало проявляється. Поле атлантичного фокуса ВВ проявляється слабо.

На низько- та середньоширотної обсерваторіях східної частини ПА-плити ВВ(Т) чітко відображають динаміку від'ємного атлантичного фокуса, тобто внутрішніх джерел. «Активізація» атлантичного фокуса вікової варіації відбулася у непарні

цикли сонячної активності із збільшенням кількості рекурентних геомагнітних збуджень та напрямком ВМПС від Сонця.

ВВ(Т) на обсерваторіях VRW і СМО добре корелюють з ВВ(Т) в полярній шапці та авроральній зоні, графіки ВВ(Т) на обсер-

ваторіях MGD і YAK — з ВВ(Т) на азійській частині Євроазійської плити, а графік ВВ(Т) на обсерваторії CWE має перехідну форму між графіками ВВ(Т) BEW, СМО та MGD і YAK.

Список літератури

- Головков В.П., Симонян А.О. Джерки в векових геомагнітних варіаціях на інтервалі 1930—1980 гг. *Геомагнетизм и аэрономия*. 1989. Т. 29. № 1. С. 164—167.
- Калинин Ю.Д. Вековые геомагнитные вариации. Новосибирск: Наука, 1984. 160 с.
- Максимчук В.Ю., Городиский Ю.М., Кузнецова В.Г. Динаміка аномального магнітного поля Землі. Львів: Євросвіт, 2001. 306 с.
- Орлюк М.І., Сумарук Т.П., Сумарук Ю.П., Роме-нець 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>.
- Обридко В.Н., Гольтев С.А., Левитин А.Е. Связь крупномасштабного магнитного поля Солнца в циклах солнечной активности со структурой ММП, оказавшей влияние на геомагнитную активность. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2004. Т. 44. № 4. С. 449—452.
- Орлов В.П., Ивченко М.И., Базаржапов А.Д., Коломийцева Г.И. Вековой ход геомагнитного поля для периода 1960—1965 гг. Москва: Изд-во ИЗМИРАН, 1968. 68 с.
- Ротанова Н.М. Папиташвили Н.Е., Пушков А.Н. Пространственно-временной анализ 60-летних вариаций по данным мировой сети обсерваторий. *Геомагнетизм и аэрономия*. 1982. Т. 12. № 5. С. 842—851.
- Сумарук Т.П., Сумарук П.В. Залежність швидкості зміни вікових варіацій геомагнітного поля від положення обсерваторії та часу. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 3. С. 181—192. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236388>.
- Сумарук Т.П., Сумарук П.В. Квазівідрічні варіації магнітного поля Землі. *Доп. НАН України*. 2009. № 1. С. 114—116.
- 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 Т.П., Сумарук П.В. Рекурентна геомагнітна активності великомасштабне магнітне поле Сонця. *Космічна наука і технологія*. 2009. Т. 15. № 1. С. 56—60.
- Черногор Л.Ф. О нелинейности в природе и науке: Монография. Харьков: Изд. ХНУ им. В.Н. Каразина, 2008. 528 с.
- Шуман В.Н. Нелинейная динамика, сейсмичность и аэрокосмические зондирующие системы. *Геофиз. журн.* 2015. Т. 37. № 2. С. 38—55. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i2.2015.111302>.
- Яновский Б.М. Земной магнетизм. Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1978. 591 с.
- Domingos, J., Pais, M.A., Jault, D., & Manda, M. (2019). Temporal resolution of internal magnetic field modes from satellite data. *Earth Planets Space*, 71, 2. <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0983-5>.
- Golovkov, V.P., Bodnar, T.N., Burdelnaya, I.A., & Yakovleva, S.U. (1997). Using satellite magnetic survey for spatial-temporal modeling of the geomagnetic secular variation. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 49, 207—227. <https://doi.org/10.5636/jgg.49.207>.
- Manda, M. (2001). How well is the main field secular variation known? *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 31(1), 233—243.
- Orlyuk, M.I., & Romenets, A.A. (2020). Spatial-temporal change of the geomagnetic field: environmental aspect. *Geophysical Journal*, 42(4), 18—38. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210670>.

Secular variations of the Earth's magnetic field on the North American tectonic plate

T.P. Sumaruk, P.V. Sumaruk, 2022

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

Based on the results of geomagnetic observatories located near the North magnetic pole and in the middle latitudes of the North American tectonic plate, the secular variations (SV) of the Earth's geomagnetic field have been studied. The influence of solar activity on SV on the North American plate has been shown.

The author has identified the SV source of non-dipole origin with a period of about 22 years. The source did not affect SV in the XX—XXI cycle of solar activity probably due to the influence of the SV jerk, but it showed itself well in the XXII—XXIV cycles of solar activity. It is demonstrated that the influence of the SV source increases with increasing latitude of the observatory and is almost imperceptible at low latitudes.

According to the Minuk observatory and others, a 100-year cycle of age-related variation has been identified — the early 20th century: a maximum took place in the 1960s and cycle termination was in 2013.

Following the observatories located on the eastern part of the plate, the SV acceleration triggered by the influence of the Atlantic focus has been calculated. The research identifies that the «activation» of the SV Atlantic focus occurs with an expansion in the number of recurrent geomagnetic storms, which is evidenced in odd cycles of solar activity (the VMS direction from the Sun).

According to observatories located near the Pacific Plate (west coast of North America), the impact of the Atlantic focus on SV is not as pronounced as in the eastern part. However, there is an influence of the non-dipole SV source depending on the observatory's latitude and solar activity.

Key words: secular variations, solar activity, geomagnetic activity, magnetospheric and ionospheric sources.

References

- Golovkov, V.P., & Simonyan, A.O. (1989). The Jerks in Geomagnetic Secular Variations in the Interval of Years 1930—1980. *Geomagnetizm i Aeronomiya*, 29(1), 164—167 (in Russian).
- Kalinin, Yu.D. (1984). *Secular geomagnetic variations*. Novosibirsk: Nauka, 160 p. (in Russian).
- Maksymchuk, V.Yu., Gorodys'kyj, Yu.M., & Kuznjecova, V.G. (2001). *The dynamics of the anomalous magnetic field of the Earth*. Lviv: Evrosvit, 308 p. (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). *Geophysical Journal*, 36(2), 111—119. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i2.2014.116124> (in Ukrainian).
- Obridko, V.N., Golyshev, S.A., & Levitin, A.E. (2004). Relation between the structure of the large-scale solar magnetic field in the activity cycles and IMF governing geomagnetic activity. *Geomagnetizm i Aeronomiya*, 44(4), 449—552 (in Russian).
- Orlov, V.P., Ivchenko, M.I., Bazarzhapov, A.D., & Kolomijceva, G.I. (1968). *The age-old course of the magnetic field for the 1960 — 1965 period*. Moscow: IZMIRAN, 70 p. (in Russian).
- Rotanova, N.M., Papitashvili, N.E. & Pushkov, A.N. (1982). Spatio-temporal analysis of 60-year variations according to the data of the world network of observatories. *Geomagnetizm i*

- Aeronomiya*, 12(5), 8429—851 (in Russian).
- Sumaruk, T.P., & Sumaruk, P.V. (2021). Dependence of the velocity changes of secular variations on the position of observatory and time. *Geophysical Journal*, 43(3), 181—192. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i3.236388> (in Ukrainian).
- Sumaruk, T.P., & Sumaruk, P.V. (2009). Quasi-biennial variations of the geomagnetic field. *Dopovidi NAN Ukrayiny*, (1), 114—116 (in Ukrainian).
- Sumaruk, T.P., & Sumaruk, P.V. (2018). Peculiarities of the geomagnetic fields secular variations at the 20th solar activity cycle. *Geophysical Journal*, 40(3), 179—191. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v40i3.2018.137199> (in Ukrainian).
- Sumaruk, T.P., & Sumaruk, P.V. (2009). The recurrence of the geomagnetic activity and large scale magnetic field of the Sun. *Kosmichna nauka i technologii*, 15(1), 56—60 (in Ukrainian).
- Chernogor, L.F. (2008). *On the nonlinearity in nature and science*. Kharkov: Kharkov V.N. Karazin National University, 528 p. (in Russian).
- Shuman, V.N. (2015). Nonlinear dynamics, seismic activity and aerospace sounding systems. *Geophysical Journal*, 37(2), 38—55. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v37i2.2015.111302> (in Russian).
- Janovskij, V.M. (1978). *Terrestrial magnetism*. Leningrad: LSU Publ., 591 p. (in Russian).
- Domingos, J., Pais, M.A., Jault, D., & Manda, M. (2019). Temporal resolution of internal magnetic field modes from satellite data. *Earth Planets Space*, 71, 2. <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0983-5>.
- Golovkov, V.P., Bodnar, T.N., Burdelnaya, I.A., & Yakovleva, S.U. (1997). Using satellite magnetic survey for spatial-temporal modeling of the geomagnetic secular variation. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 49, 207—227. <https://doi.org/10.5636/jgg.49.207>.
- Manda, M. (2001). How well is the main field secular variation known? *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 31(1), 233—243.
- Orlyuk, M.I., & Romenets, A.A. (2020). Spatial-temporal change of the geomagnetic field: environmental aspect. *Geophysical Journal*, 42(4), 18—38. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i4.2020.210670>.