

Особливості вікових варіацій геомагнітного поля у 20-му циклі сонячної активності

Т. П. Сумарук, П. В. Сумарук, 2018

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

Надійшла 15 березня 2018 р.

Исследовано влияние резкого уменьшения солнечной активности в 20-м цикле на вековые вариации геомагнитного поля. Показано, что уменьшение солнечной активности привело к увеличению абсолютных значений $ВВ(T)$. Эффект имеет максимальную амплитуду в районах северного магнитного полюса Земли (положительные значения) и на обсерватории Иркутск (отрицательные значения). В Южном полушарии эффект небольшой амплитуды наблюдается вблизи южного магнитного полюса (обсерватория Дюмон-д'Юрвиль). Амплитуда эффекта резко уменьшается с уменьшением широты магнитной обсерватории. На околоэкваториальных и на островных обсерваториях эффект не наблюдается.

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

Вступ. Двадцятий цикл сонячної активності розпочався в липні 1964 р., після закінчення 19-го циклу — найпотужнішого за весь час спостережень за Сонцем. Цикл мав два максимуми: в грудні 1967 р. ($W = 136$) та в березні 1969 р. ($W = 126$). Сценарій розвитку двовершинних максимумів сонячних циклів запропонував В. Н. Криводубський [Криводубський, 2016]. Оба максимуми 20-го циклу були майже вдвічі менші за максимуми 19-го циклу в жовтні 1957 р. ($W = 254$). Цикл закінчився у липні 1976 р. Фаза росту активності циклу проходила за великомасштабного магнітного поля Сонця, напрямленого на Північному полюсі до Сонця, тобто геомагнітна активність була низькою [Фельдштейн и др., 1979; Сумарук, Сумарук, 2009]. Це мало відобразитися на величині вікового ходу геомагнітного поля. Різкий спад сонячної активності у 20-му циклі після потужного 19-го циклу дає змогу детальніше дослідити вплив зовнішніх джерел на вікову варіацію геомагнітного поля.

Вікові варіації (ВВ) геомагнітного поля мають дві компоненти: від внутрішніх [Орлов и др., 1968; Яновский, 1978; Калинин, 1984] і зовнішніх джерел [Sumaruk, 2001; Verbanac et al., 2007; Шевнин и др., 2009]. Співвідношення цих компонент залежить від місця спостереження і від часу.

Нині у науковій літературі триває дискусія стосовно величини ВВ від зовнішніх джерел. Зовнішніми джерелами є струми в магнітосфері та іоносфері, які залежать від сонячної активності. В роки великої сонячної активності інтенсивність струмів більша, крім того, кількість збурених днів у році збільшується, тому у зазначені роки внесок зовнішніх джерел у вікову варіацію має бути більшим, а в роки малої активності — меншим, оскільки ВВ вираховують як різницю між послідовними середньорічними значеннями певної компоненти поля на окремі обсерваторії. Варіації геомагнітного поля від зовнішніх джерел іррегулярні, тому раніше вважали, що сумарна середня варі-

ація від зовнішніх джерел за рік має до-
рівнювати нулю або бути незначною. Згід-
но із дослідженнями останніх років, в ір-
регулярних за часом і знаком варіаціях на-
явна регулярна складова [Verbanac et al.,
2007; Шевнин и др., 2009].

Джерелами геомагнітних бур є кільце-
вий магнітосферний струм, струми на маг-
нітопаузі та у хвості магнітосфери, стру-
ми в іоносфері — полярний, аврораль-
ний та екваторіальний електрострумені.
Кожне з цих джерел генерує магнітні збу-
рення, знак і величина яких змінюються
залежно від місцевого часу, геомагнітних
координат місця спостереження та пара-
метрів сонячного вітру. Змінні за величи-
ною та напрямком зовнішні струми гене-
рують у Землі індукційні струми, величи-
на яких залежить як від величини зов-
нішніх струмів, так і від провідності під-
стильних поверхонь у місці спостережен-
ня. Найбільшою є варіація від кільцевого
магнітосферного струму, який спричинює
зменшення горизонтальної складової на
екваторі і середніх широтах і збільшення
вертикальної складової на полюсах. Чим
більше магнітних бур спостерігаємо в ро-
ці, тим меншим буде середньорічне зна-
чення горизонтальної складової у низь-
ких і середніх широтах Землі та більшим
— значення вертикальної складової у ви-
соких і середніх широтах.

Мета роботи. Дослідити, як вплинуло
різке зменшення сонячної активності у
20-му циклі на величину ВВ геомагнітно-
го поля в різних регіонах Землі.

Використані дані. Для дослідження взя-
то середньорічні значення індукції гео-
магнітного поля (T) та її горизонтальної і
вертикальної складових на обсерваторі-
ях світової сітки ([www.geomag.bgs.ac.uk.gifc/annual_means.html](http://www.geomag.bgs.ac.uk/gifc/annual_means.html)). ВВ вираховува-
ли як різницю між послідовними серед-
ньорічними значеннями індукції T . Со-
нячну активність характеризували серед-
ньорічними числами Вольфа, взятими із
сайта (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/sgd.html>).

Результати. На рис. 1 показано графік
середньорічних значень чисел Вольфа за

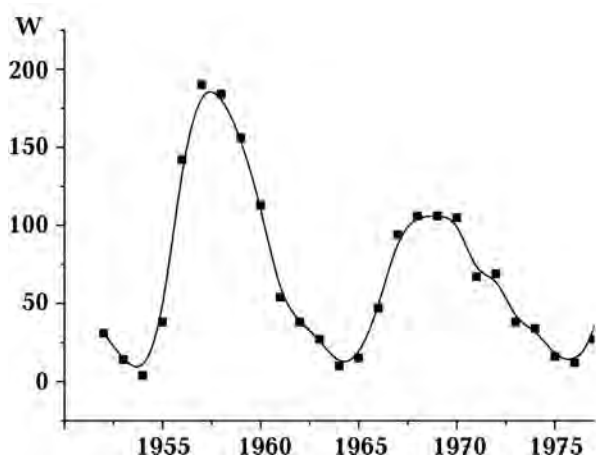


Рис. 1. Середньорічні значення чисел Вольфа за 19-й та 20-й цикли сонячної активності.

19-й і 20-й цикли сонячної активності з
1954 по 1976 р. Двадцятий цикл тривав
12 років (1964—1976). Характерними особ-
ливостями циклу крім малої амплітуди бу-
ли збільшення тривалості фаз розвитку
і спаду активності та "розмитість" макси-
мальних значень W (1967—1970). У табл. 1
наведено кількість магнітних бур різної
інтенсивності з раптовим (SSC) і поступо-
вим початком (r) за кожний рік у 19-му та
20-му циклах. Дані одержано за спостере-
женнями магнітної обсерваторії "Львів".
В останньому стовпці подано середньорічні
значення індексу $\Sigma(H - S_q)$ [Suma-
ruk, Sumaruk, 2007]. Як бачимо, характер
змін геомагнітної активності такий самий,
як і сонячної, але екстремуми геомагніт-
ної активності в деяких циклах запізню-
ються відносно екстремумів сонячної ак-
тивності на 1—2 роки. Це пов'язано з тим,
що в перші роки спаду сонячної активно-
сті підвищується її рекурентність, тобто
існують довготривалі корпускулярні по-
токи сонячного вітру з корональних дір
Сонця [Сумарук, Сумарук, 2009], що ви-
ражається у збільшенні кількості геомаг-
нітних бур з поступовим початком.

На рис. 2, а суцільною ламаною лінією
показано різниці між середньорічними
значеннями магнітної індукції на магніт-
них обсерваторіях північної полярної шап-
ки Землі: Алерт (ALE $\phi = 82,5^\circ$, $\lambda = 297,5^\circ$),
Туле (THU $\phi = 77,5^\circ$, $\lambda = 290,8^\circ$), Резольют

Бей (RES $\varphi = 74,7^\circ$, $\lambda = 265,5^\circ$), Моулд Бей (МВС $\varphi = 76,3^\circ$, $\lambda = 240,6^\circ$), Годхавн (GDH $\varphi = 69,2^\circ$, $\lambda = 306,5^\circ$) за весь час роботи обсерваторій. Жирна крива — згладжені 3- та 11-річні біжучі середні значення цих різниць. Такі самі позначення використано на усіх рисунках статті. Вертикальні штрихові лінії — роки мінімумів 19—21-го циклів. У 1976 р. змінився знак великомасштабного магнітного поля Сонця і знак ВВ Z-компоненти у полярній шапці Північної півкулі Сонця [Обридко и др., 2004; Сумарук, Сумарук, 2013].

На рис. 2, а чітко виділено зміни ВВ(T), пов'язані зі змінами сонячної активності (затемнені). Очевидно, що виділена варіація має дві складові: одна зумовлена 11-річним циклом, інша — циклом більшого періоду (жирна лінія). Перегиб кривої ВВ(T) більшого періоду стосується 1969 р., в якому спостерігали другий максимум сонячної активності у 20-му циклі. За даними магнітної обсерваторії Годхавн (ряд її спостережень розпочався у 1926 р.), довгоперіодна ВВ(T), як показано у статті [Sumaruk, 2001], також має зовнішнє джере-

Т а б л и ц я 1. Список магнітних бур різної інтенсивності та $\Sigma(H - S_q)$ за 19—20-й цикли сонячної активності

Рік	Малі		Помірні		Великі		Дуже великі		Усі бурі	$\Sigma(H - S_q)$
	SSC	r	SSC	r	SSC	r	SSC	r		
1954	—	6	—	7	—	—	—	—	13	3554
1955	1	15	1	8	—	—	—	—	25	3851
1956	—	29	1	15	4	8	—	—	57	5811
1957	3	32	6	10	4	2	4	—	61	6153
1958	1	27	8	11	2	4	1	—	54	6046
1959	2	28	5	19	5	4	2	—	65	7209
1960	3	28	5	15	4	4	3	—	62	6862
1961	6	21	3	6	5	2	—	—	43	4863
1962	4	17	3	3	—	—	—	—	27	3525
1963	1	11	1	7	1	1	1	—	23	3779
1964	3	5	—	3	—	—	—	—	11	2816
1965	1	3	1	2	—	—	—	—	7	2576
1966	1	10	1	3	1	2	—	—	18	3229
1967	2	9	2	5	3	—	1	—	22	4083
1968	—	14	1	4	1	2	1	—	23	4240
1969	1	6	3	1	1	3	—	—	15	3816
1970	1	5	5	—	—	1	2	—	14	4444
1971	2	15	2	4	1	—	—	—	24	3837
1972	2	8	2	—	1	—	1	—	14	4276
1973	—	15	1	8	—	1	1	—	26	4162
1974	1	14	2	4	1	3	2	—	27	4536
1975	2	18	1	7	—	—	—	—	28	3677
1976	—	9	—	3	—	2	1	—	15	4038

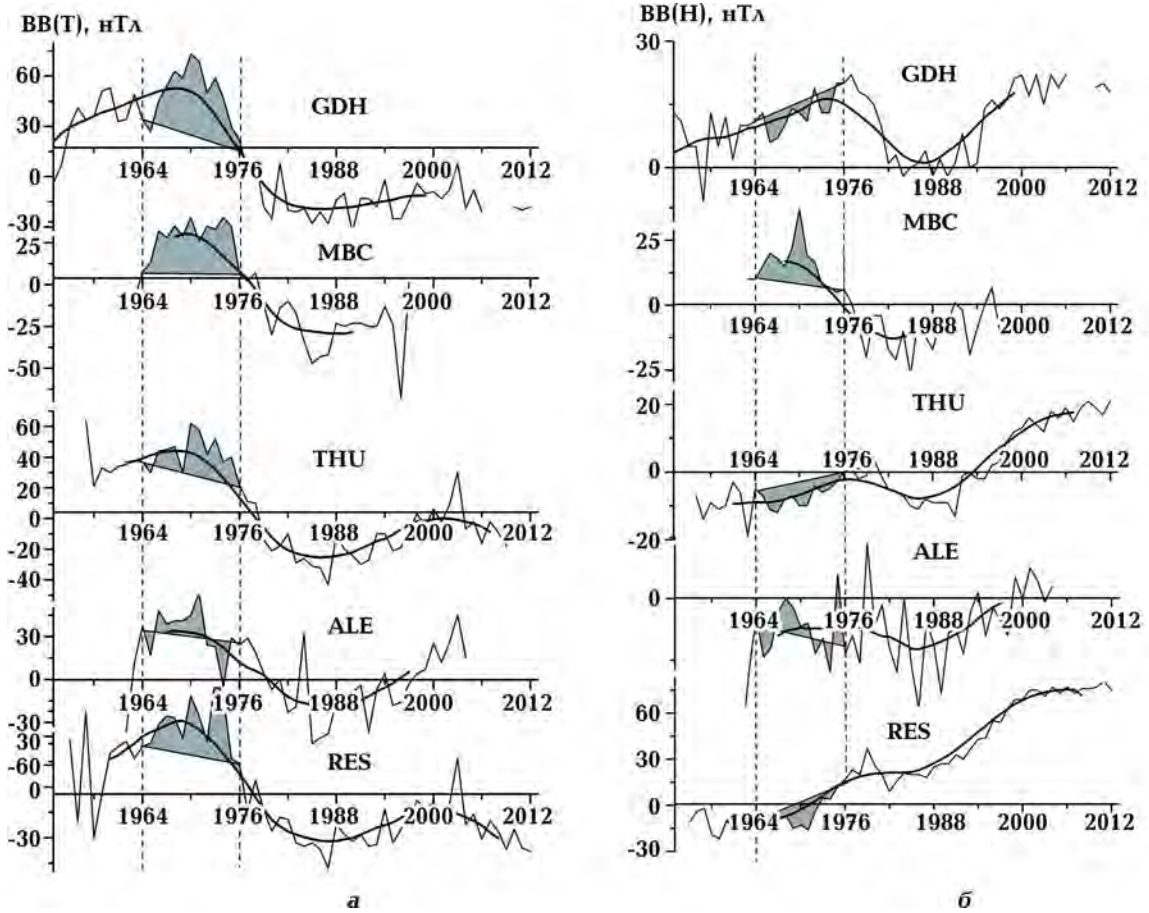


Рис. 2. $BB(T)$ (а) і $BB(H)$ (б) на магнітних обсерваторіях північної полярної шапки (ламані лінії) та їх згладжені 3- та 11-річними біжучими середніми криві за 1952—2012 рр. (жирні криві). Вертикальні штрихові прямі — 1964, 1976 рр. Значення $BB(T)$ за 1964 і 1976 рр. сполучені прямою лінією.

ло і зростала до 1969 р., на неї накладалися зміни від 11-річної циклічної варіації. Різкий спад сонячної активності у 20-му циклі відобразився у зменшенні $BB(T)$ у північній полярній шапці. Зміна знака великомасштабного магнітного поля в 1979 р. [Обридко и др., 2004] викликала зростання геомагнітної активності і, відповідно, зміну знака $BB(T)$. Варіації $BB(Z)$ у північній полярній шапці різняться незначно від $BB(T)$, тому їх не показано.

Зміни $BB(H)$ горизонтальної складової у північній полярній шапці (рис. 2, б) у 20-му циклі неоднакові на всіх обсерваторіях. На обсерваторіях ALE, THU, GDH значення $BB(H)$ близькі до нуля, а на обсерваторіях RES і MBC змінюють знак. Такі особливості $BB(H)$ та $BB(Z)$ у північ-

ній полярній шапці можна пояснити зміщенням електроструменя, який охоплює геомагнітний полюс і тече на геомагнітних широтах $\Phi \geq 80^\circ$, та зміщенням фокуса електроструменя за широтою [Сумарук и др., 1992], тобто впливом зовнішніх джерел.

На рис. 3 показано $BB(T)$ на довготному ланцюжку магнітних обсерваторій Антарктиди: Сева (SYO, $\phi = -69,0^\circ$, $\lambda = 40,0^\circ$), Маусон (MAW, $\phi = 67,6^\circ$, $\lambda = 62,9^\circ$), Мирний (MIR, $\phi = 66,6^\circ$, $\lambda = 93,0^\circ$), Дюмонд'Юрвіль (DRV, $\phi = 67,6^\circ$, $\lambda = 140,0^\circ$), Скот Бейс (SBA, $\phi = 77,8^\circ$, $\lambda = 166,8^\circ$). Величина $BB(T)$ у 20-му циклі затемнена. За згладженими кривими $BB(T)$ бачимо, що у максимумі 20-го циклу (1969—1970) відбувся перегин у ході кривих, який збіга-

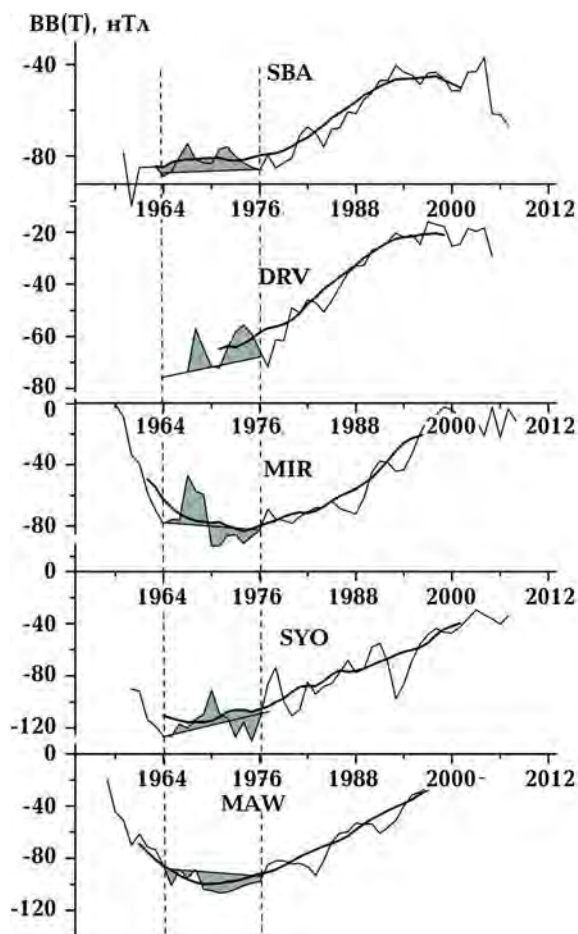


Рис. 3. Вікові варіації напруженості геомагнітного поля на обсерваторіях Антарктиди за 1960—2006 рр. Умовні позначення див. на рис. 2.

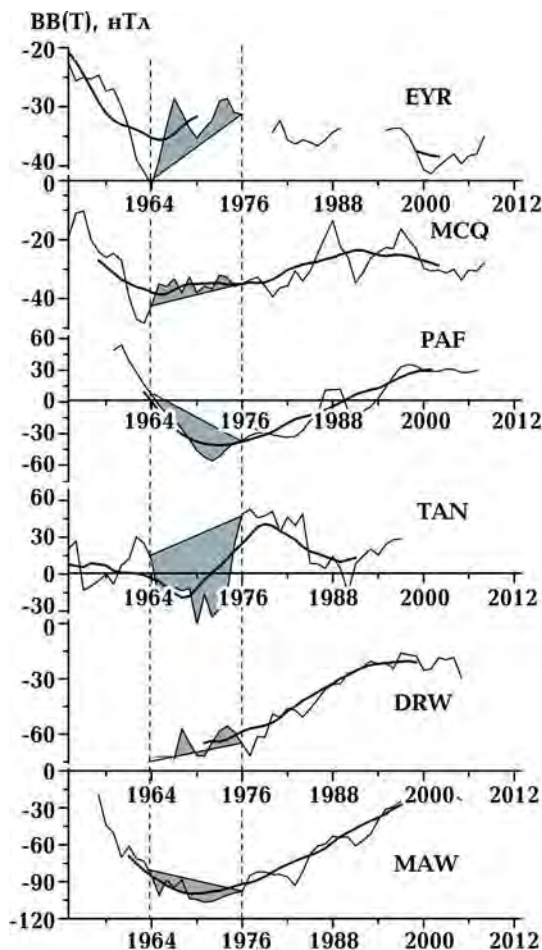


Рис. 4. $BB(T)$ на широтних ланцюжках обсерваторій у Південній півкулі Землі на довготі $\sim 60^\circ$ (MAW, PAF, TAN) та $\sim 150^\circ$ (DRW, MCQ, EYR) за 1952—2010 рр. Умовні позначення див. на рис. 2.

ється з подібним перегином у північній полярній шапці (див. рис. 2, а). Максимальні значення $BB(T)$ в точках перегину наведено у табл. 2.

Найменші значення $BB(T)$ у точці перегину зафіксовано на обсерваторіях CSY і DRV на довготі 90° — 150° , найбільші —

на обсерваторіях NVL і AIA на довготі 0° — 60° . На рис. 4 показано $BB(T)$ на широтному ланцюжку обсерваторій: на меридіані $\sim 60^\circ$ — MAW, $\varphi = -67^\circ$; PAF, $\varphi = -49^\circ$; TAN, $\varphi = -18^\circ$; на меридіані $\sim 150^\circ$ — DRW, $\varphi = -67^\circ$; MCQ, $\varphi = -54^\circ$; AML (EYR), $\varphi = -43^\circ$. Можна бачити, що на ме-

Т а б л и ц я 2. Максимальні значення $BB(T)$ у 1969—1970 рр.

Магнітна обсерваторія	NVL	SYO	MAW	MIR	CSY	DRV	SBA	AIA
Довгота, градуси	12	40	62	93	100	140	167	295
$BB(T)$, нТл	-130	-120	-100	-86	-68	-68	-84	-128

ридіані $\sim 150^\circ$ цей ефект значно менший за амплітудою і спадає до нуля з переходом у середні широти. Значна варіація на приекваторіальній обсерваторії TAN найімовірніше пов'язана з близькістю обсерваторії до екваторіального іоносферного електроструменя (розміщена у Північній півкулі Землі).

На рис. 5 показано $BB(T)$ на трьох магнітних обсерваторіях — Бейкер Лейк (BLC, $\varphi = 64,3^\circ$, $\lambda = 264,0^\circ$), Форт Черчілл (FCC, $\varphi = 58,8^\circ$, $\lambda = 265,9^\circ$), Мінук (MEA, $\varphi = 54,3^\circ$, $\lambda = 247,7^\circ$), розташованих поблизу північного магнітного полюса в Канаді. Легко можна виділити характерну варіацію $BB(T)$, пов'язану з малою сонячною активністю у 20-му циклі (на рис. 5 затемнена). Ця варіація формується двома джерелами: короткоперіодними, з періодами близько 2 (КДВ) та 11 років. Обидва джерела, безсумнівно, пов'язані із сонячною і, відповідно, геомагнітною активностями. Проте

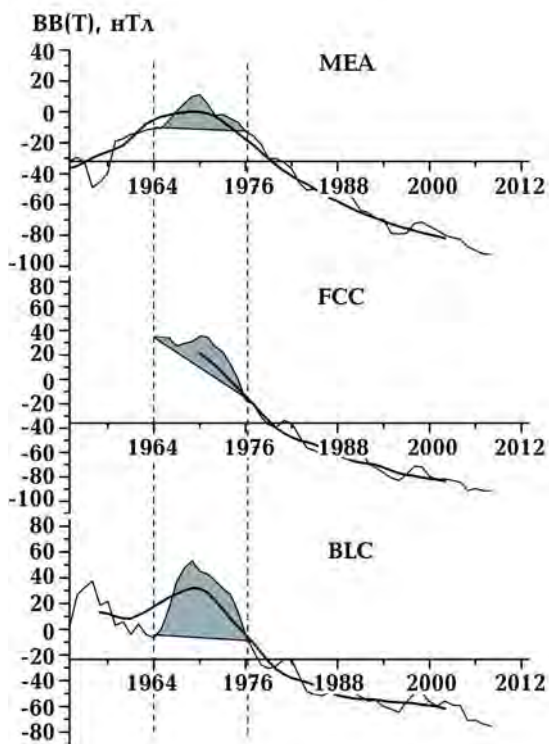


Рис. 5. $BB(T)$ на магнітних обсерваторіях, розміщених поблизу північного магнітного полюса за 1952—2010 рр. Вісь абсцис проведено через значення $BB(T)$ у 1979 р. Умовні позначення див. на рис. 2.

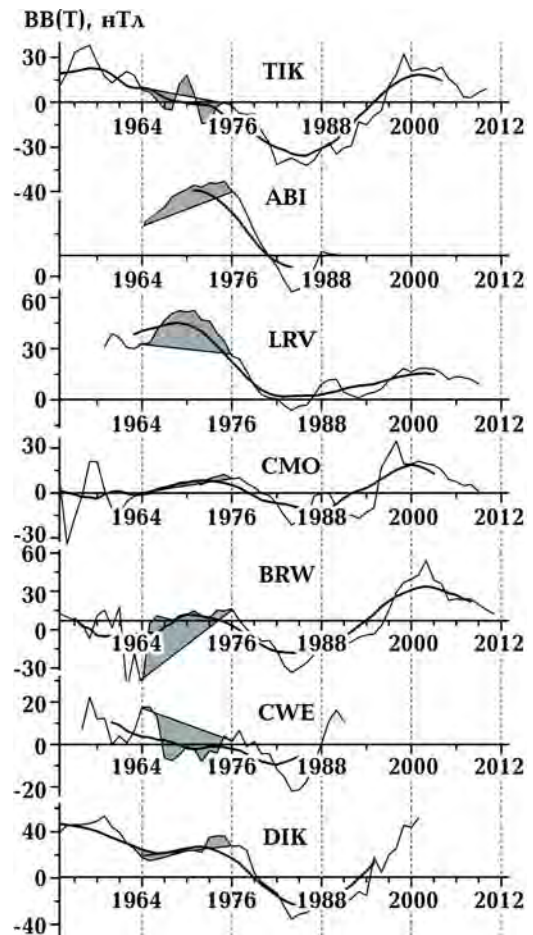


Рис. 6. $BB(T)$ на магнітних обсерваторіях, розміщених в авроральній зоні Північної півкулі Землі. Умовні позначення див. на рис. 2.

згідно з характером змін кривої, побудованої за згладженими даними $BB(T)$, існують ще два джерела: одне з періодом понад 11 років (див. також рис. 2, а), друге — квазіпостійне, яке зміщує згладжені криві по осі ординат на постійну для певної обсерваторії величину. Цю величину можна знайти, провівши через значення $BB(T)$ у 1979 р. вісь абсцис. Допускаємо, що в 1979 р. BB від зовнішніх джерел (як і в 1947 та 1903 рр.) дорівнювали нулю [Sumaruk, Reda, 2011] і значення $BB(T)$ формувалися тільки внутрішніми джерелами. Величини цих варіацій для обсерваторій BLC, FCC, MEA відповідно дорівнюють -23 , -34 і -28 нТл.

Після 1979 р. на обсерваторіях BLC, FCC, MEA $BB(T)$ стає від'ємною і збільшується

за абсолютною величиною, тобто напруженість геомагнітного поля біля північного магнітного полюса зменшується, що вказує на зменшення інтенсивності внутрішнього джерела.

У Південній півкулі у високих широтах $BB(T) < 0$ і зменшується за абсолютною величиною (див. рис. 3), тобто у цілому регіоні спад напруженості геомагнітного поля сповільнюється.

На рис. 6 показано $BB(T)$ на магнітних обсерваторіях авроральної зони у Північній півкулі: Абіско (ABI), Лейрвокур (LRV), Коледж (СМО), Барров (BRW), мис Уеллен (CWE), Тіксі (TIK), Діксон (DIK), за даними яких вираховується індекс геомагнітної активності АЕ [Davis, Sugiura, 1966]. Як бачимо, вплив зменшення сонячної ак-

тивності у 20-му циклі добре відображається на $BB(T)$ у європейському секторі авроральних обсерваторій (ABI, LRV) і слабо — в американському та азійському авроральних секторах.

На рис. 7 показано $BB(T)$ за 1960—2010 рр. на ланцюжку північноамериканських магнітних обсерваторій у середніх і низьких широтах: Вікторія (VIC $\varphi = 48,5^\circ$, $\lambda = 236,6^\circ$), Боулдер (BOU, $\varphi = 40,1^\circ$, $\lambda = 254,8^\circ$), Фредеріксбург (FRD, $\varphi = 38,2^\circ$, $\lambda = 282,6^\circ$), Таксон (TUC, $\varphi = 32,2^\circ$, $\lambda = 249,2^\circ$), Теолоюкан (ТЕО, $\varphi = 19,8^\circ$, $\lambda = 260,8^\circ$). Ефект 20-го циклу проявився в регіоні у зменшенні абсолютних значень від'ємних $BB(T)$. Таке зменшення наклалося на різкий спад $BB(T)$. Особливо добре це проявилось на магнітній обсерваторії Фредеріксбург, яка розташована близько до атлантичного від'ємного фокуса BB [Орлов и др., 1968]. Збільшення амплітуди варіацій на приекваторіальній мексиканській обсерваторії Теолоюкан найімовірніше можна пояснити впливом екваторіального іоносферного електроструменя, який тече на схід. Такий самий ефект, але протилежного знака зафіксовано на приекваторіальній обсерваторії TAN.

На рис. 8, а показано $BB(T)$ на широтному ланцюжку європейських обсерваторій Соданкюля (SOD, $\varphi = 67^\circ$), Лервик (LER, $\varphi = 60^\circ$), Ескадалемьюір (ESK, $\varphi = 55^\circ$), Німек (NGK, $\varphi = 52^\circ$), Львів (LVV, $\varphi = 49^\circ$) і Лакуїла (AQU, $\varphi = 41^\circ$). Легко побачити, що із зменшенням широти ефект впливу сонячної активності на $BB(T)$ у 20-му циклі зменшується в середніх широтах і не виділяється — у низьких (AQU).

На рис. 8, б показано $BB(T)$ на обсерваторіях Іркутськ (IRT, $\varphi = 52^\circ$, $\lambda = 104^\circ$), Шешань (SSH, $\varphi = 31^\circ$, $\lambda = 121^\circ$) і Казань (KZN, $\varphi = 56^\circ$, $\lambda = 49^\circ$). Ефект 20-го сонячного циклу має найбільшу амплітуду на обсерваторії IRT, вона дорівнює нулю на обсерваторії KZN. Порівняння рис. 5 і 8 показало, що знаки ефекту 20-го циклу в Азії та Європі і у Північній Америці протилежні. Максимальна амплітуда ефекту 20-го циклу спостерігається на північному магнітному полюсі, знак ефекту змі-

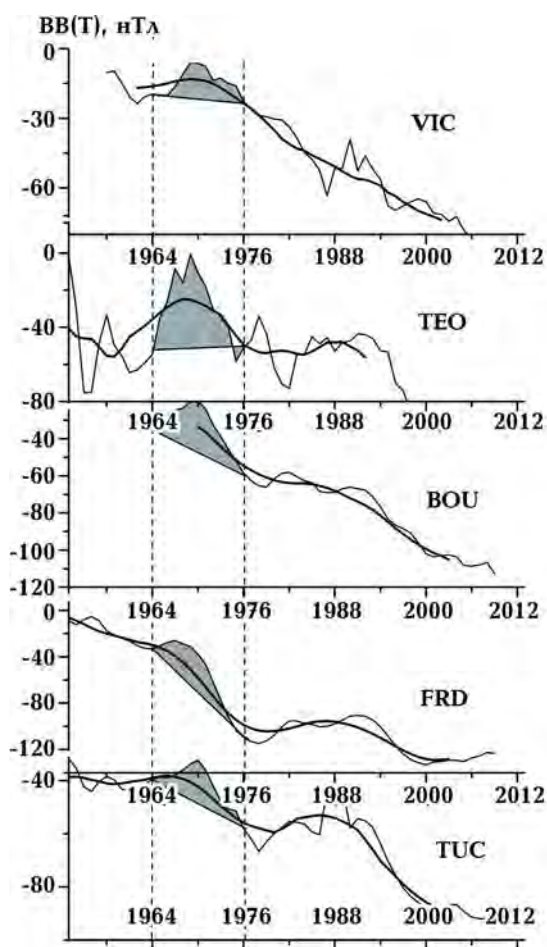


Рис. 7. $BB(T)$ на магнітних обсерваторіях у Північній Америці за 1960—2010 рр. Умовні позначення див. на рис. 2.

нюється від одного регіону до іншого на довготах 60° (KZN) і 150° — 180° (CWE, BRW).

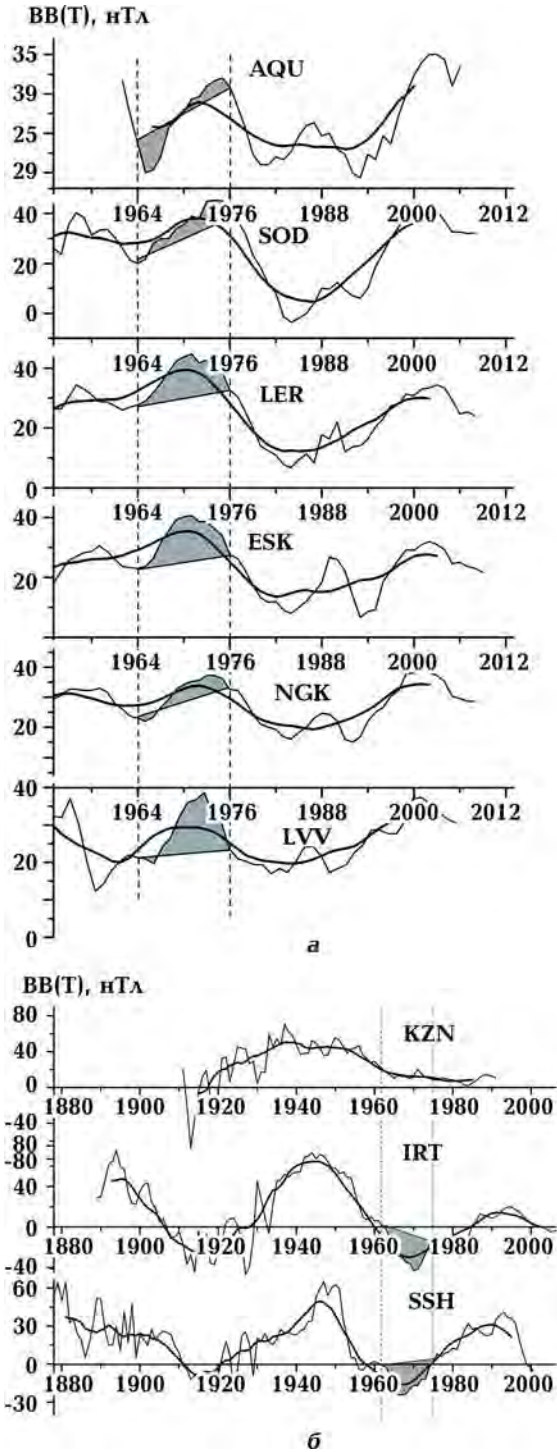


Рис. 8. $BB(T)$ за 1952—2010 рр. на магнітних обсерваторіях Європи (а) і на деяких обсерваторіях Азії за 1880—2006 рр. (б). Умовні позначення див. на рис. 2.

На рис. 9 показано карту змін знака $BB(T)$ на обсерваторіях світової сітки. Біля назви обсерваторії нанесено чотири знаки змін $BB(T)$ на ній: перший зліва — знак $BB(T)$ у 19-му циклі сонячної активності; другий зліва — $BB(T)$ у 20-му циклі; третій справа — знак $BB(T)$ у 21-му циклі; четвертий справа — характер змін $BB(T)$ від 21-го циклу до теперішнього часу.

Виділено регіони з позитивним, негативним або нульовим ефектом 20-го циклу (на рис. 9 показано жирними лініями). Вважаємо ефект позитивним, якщо при $BB(T) > 0$ абсолютні значення зростають, а при $BB(T) < 0$ — зменшуються. Ефект негативний, якщо до початку 20-го циклу при $BB(T) > 0$ абсолютні значення зменшуються, а при $BB(T) < 0$ — збільшуються.

Позитивний ефект спостерігали у районі північного магнітного (найбільший на BLC, FCC) та геомагнітного полюсів (THU, RES, MBC). У регіоні Західної Європи позитивний ефект спостерігали до лінії, що сполучає обсерваторії HIS, MOS, LVV, KOI. На всій території Північної Америки ефект позитивний. Із зменшенням широти обсерваторії амплітуда ефекту у Північній півкулі Землі зменшується.

Негативний ефект бачимо на території всієї Азії від лінії, що сполучає обсерваторії DIK, SVD, ASH, TAN, до лінії YAK, MMB, GUA, TOO, PMG. Ефект не зафіксовано у Східній Європі, на обсерваторіях авроральної зони (HIS, DIK, TIK, CWE, BRW, СМО) у Африці, у Південній Америці (окрім FUQ), на островних обсерваторіях Тихого океану, у східній частині Австралії, у Новій Зеландії, в Антарктиді. Слід виокремити низькоширотний регіон, де розташовані магнітні обсерваторії Сан Мігель (SMG), Сан Хуан (SJJ) та Фукуєна (FUQ) (на рис. 9 показано жирною лінією). У цьому регіоні знаходиться фокус негативного Атлантичного вихора [Орлов и др., 1968], обсерваторії фіксують негативний ефект у $BB(T)$ за зменшення сонячної активності у 20-му циклі.

Обговорення. Магнітосферні та іоносферні струми генерують магнітні варіа-

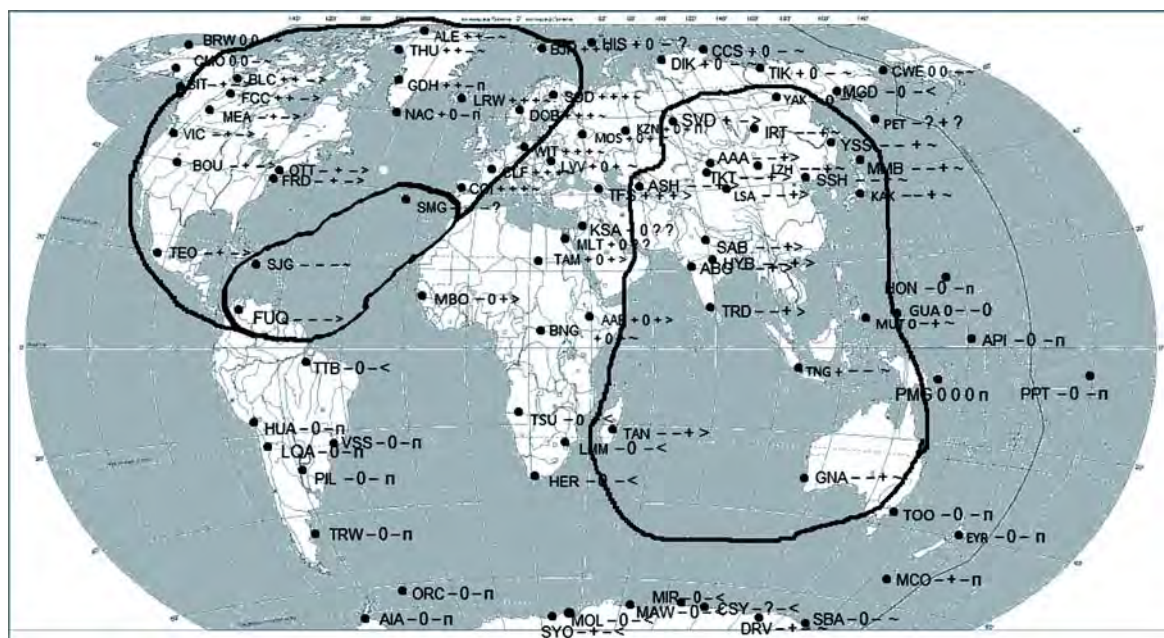


Рис. 9. Карта змін знака $BB(T)$ на обсерваторіях світової сітки у 19—24-му циклах сонячної активності. Позначення: "+" — напруженість поля зростає при $BB(T) > 0$ або спадає сповільнюється при $BB(T) < 0$; "-" — напруженість поля спадає при $BB(T) > 0$ або зростає при $BB(T) < 0$; ">" — $BB(T)$ збільшується за абсолютною величиною після 21-го циклу; "<" — $BB(T)$ зменшується за абсолютною величиною після 21-го циклу; "n" — $BB(T)$ не змінюється за абсолютною величиною після 21-го циклу; "-?" — $BB(T)$ змінюється за абсолютною величиною; "?" — даних $BB(T)$ немає; "0" — ефект 20-го циклу не спостерігається.

ції, що накладаються на головне геомагнітне поле і змінюють його. Кільцевий магнітосферний струм тече далеко від Землі і генерує однорідне поле, яке зменшує головне поле на всій Землі. Це відображається у зменшенні горизонтальної складової на екваторі і вертикальної — на полюсах унаслідок сферичності Землі. У регіонах, де $BB(T) > 0$, величина поля зменшиться, там, де $BB(T) < 0$, абсолютна величина його збільшиться. Такого самого знака буде варіація від струму, який тече впоперек хвоста магнітосфери на нічній стороні Землі. Струми на денній стороні магнітопаузи течуть на схід і генерують додатні за знаком варіації, які мають найбільшу амплітуду у низьких широтах. Іоносферні східний та західний авроральні електрострумені течуть на висотах близько 100 км, тому їх вплив на головне поле є локальним. Авроральний східний і західний електрострумені течуть у протилежних напрямках, але оскільки західний

електрострум інтенсивніший за східний, сумарний добовий ефект їх полів буде такого самого знака, як і від західного електроструменя. Зворотні струми розтікання від авроральних електроструменів у середні і низькі широти завжди слабші за авроральні, тому і ефект від них менший. Потужний екваторіальний електрострум, який тече на широтах $\pm 15^\circ$ на схід, генерує варіацію, протилежну за знаком варіації від кільцевого магнітосферного струму, оскільки струм тече на висоті ~ 100 км і величина варіації від нього на Землі співмірна з варіацією від кільцевого струму. Отже, і сумарна варіація від кільцевого магнітосферного струму і екваторіального іоносферного струму та струму на магнітопаузі близька до нуля на обсерваторіях, розміщених близько до геомагнітного екватора, що і спостерігаємо. Однак за зменшення сонячної і геомагнітної активностей струми на магнітопаузі малі, тому екваторіальний іоносферний

електрострумів дає внесок у $BB(T)$, що і зафіксовано на обсерваторіях ТЕО і TAN.

На обсерваторіях, розташованих біля геомагнітного екватора (Африка, Південна Америка), ефект зменшення сонячної активності у 20-му циклі не відобразився. Очевидно, це результат накладання варіацій від протилежно напрямлених кільцевого магнітосферного струму та струмів на магнітопаузі і екваторіального електроджету. У Західній Європі та Північній Америці ефект 20-го циклу позитивний і максимальний у полярній шапці, в регіоні магнітного та геомагнітного полюсів, де тече полярний іоносферний електрострумів [Сумарук и др., 1992]. Ефект зменшується зі зменшення широти місця спостереження. Зменшення геомагнітної активності в 20-му циклі сонячної активності відбулося у зменшенні кількості геомагнітних бур та їх амплітуд. Під час магнітних бур варіація геомагнітного поля є від'ємною, тому зменшення активності зумовило зростання середньорічних значень поля, тобто позитивні $BB(T)$, або зменшення величини негативних $BB(T)$. Однак такий сценарій не може пояснити нульового ефекту у Східній Європі. Найімовірніше, цей регіон зазнає значного впливу внутрішніх регіональних індукційних джерел, який підсилюється в Азійському регіоні та регіоні Індійського океану, де спостерігаються зміна знака ефекту і максимальна амплітуда ефекту (обсерваторія Іркутськ). Ефект 20-го циклу не зафіксовано на обсерваторіях в Антарктиді (крім DRW, що розміщена поблизу південного магнітного полюса) та на обсерваторіях, розташованих на островах (API, PMG, PPT, HON, EYR, ORC). Можна припустити, що обсерваторії, які розміщені на островах,

знають значного впливу індукційних струмів, генерованих змінним магнітним полем в океанських провідних течіях [Ruskin, 2009].

Одержані результати якісно узгоджуються з висновками, зробленими М.І. Орлюком і співавторами [Орлюк та ін., 2016, 2017].

Висновки. Різке зменшення сонячної і, відповідно, геомагнітної активності у 20-му циклі відбулося у такому самому різкому зменшенні BB геомагнітного поля. На континентальних магнітних обсерваторіях у Північній півкулі Землі (Європа і Америка) ефект був позитивний і мав найбільшу амплітуду на обсерваторіях у регіоні магнітного і геомагнітного полюсів. Амплітуда ефекту зменшувалась із зменшенням широти обсерваторії. В Азії ефект був негативним, амплітуда його була найбільшою на обсерваторії Іркутськ. Зміна знака ефекту відбулася на довготах 60° (KZN) та 150° — 180° (CWE, BRW).

На обсерваторіях в Африці і Південній Америці ефект не спостерігали. Найімовірніше, це результат накладання варіацій від внутрішніх і зовнішніх джерел, які генерують варіації протилежних знаків, а також близькості обсерваторій до геомагнітного екватора, де тече екваторіальний іоносферний електрострумів.

У Південній півкулі Землі більшість обсерваторій розміщені у прибережних регіонах або на островах. На цих обсерваторіях ефект не спостерігали. Очевидно, магнітне поле від індукційних струмів в океанських течіях компенсувало поле від зовнішніх джерел.

В Антарктиді ефект спостерігали тільки в регіоні, де знаходиться південний магнітний полюс (обсерваторія DRW).

Список літератури

- Калинин Ю. Д. Вековые геомагнитные вариации. Новосибирск: Наука, 1984. 160 с.
- Криводубский В. Н. Двовершинні максимуми сонячних циклів: VIII наукова конференція "Вибрані питання астрономії та астрофізики", Львів, 17—20 жовтня 2016. С. 25—26.
- Обридко В. Н., Голишев 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.
- Орлюк М., Марченко А., Роменец А. Зв'язок сейсмічності Землі та вікових варіацій її магнітного поля. *Вісник Київського національного університету. Геологія*. 2016. № 4 (75). С. 50—54.
- Орлюк М. И., Марченко А. В., Роменец А. А. Пространственно-временные изменения геомагнитного поля и сейсмичность. *Геофиз. журн.* 2017. Т. 39. № 6. С. 84—105. doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i6.2017.116371>.
- Сумарук Т. П., Сумарук П. В. Рекурентна геомагнітна активність і великомасштабне магнітне поле Сонця. *Космічна наука і технологія*. 2009. Т. 15. № 1. С. 57—62.
- Сумарук Ю. П., Сумарук П. В. Особливості вікових варіацій геомагнітного поля в північній полярній частині Землі. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 2. С. 137—145. doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v35i2.2013.111357>.
- Сумарук П. В., Фельдштейн Я. И., Белов Б. А. Полярная электроструя в период магнитной бури 23—24 марта 1969 г. *Геофиз. журн.* 1992. Т. 14. № 3. С. 79—81.
- Фельдштейн Я. И., Лившиц М. А., Вальчук Т. Е. Общее магнитное поле Солнца, геомагнитная активность и прогноз параметров 21-го цикла солнечной активности. *Bulgarian Geophys. J.* 1979. Т. 5. № 1. Р. 67—73.
- Шевнин А. Д., Левитин А. Е., Громова Л. Е., Дремухина Л. А., Канара Л. Н. Солнечная циклическая вариация в магнитных элементах обсерватории "Москва". *Геомагнетизм и аэрономия*. 2009. Т. 49. № 3. С. 315—320.
- Яновский Б. М. Земной магнетизм. Ленинград: Изд-во ЛГУ, 1978. 578 с.
- Davis T. N., Sugiura M., 1966. Auroral electrojet activity index AE and its universal time variations. *J. Geophys. Res.*, 21, 785—803. <https://doi.org/10.1029/JZ071i003p00785>.
- Ryskin G., 2009. Secular variation of the Earth's magnetic field: induced by the ocean flow? *New Journal of Physics*, 11, 1—23. doi: 10.1088/1367-2630/11/6/063015.
- Sumaruk Yu. P., 2001. On external sources of secular variations of the Earth's magnetic field. *Contribution to Geophysics and Geodesy*, 31 (1), 353—354.
- Sumaruk T., Sumaruk Yu., 2007. The new index of the geomagnetic activity. Publ. Inst. Geophys Pol. Acad., SC Monographic volume, 99 (398). Р. 374—379.
- Sumaruk Yu. P., Reda J., 2011. Secular variations of the geomagnetic field and solar activity. *Геофиз. журн.* 2011. Т. 33. № 4. С. 134—141. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i4.2011.116902>.
- Verbanac G., Luhr H., Rother M., Korte M., Manda M., 2007. Contributions of the external field to the observatory annual means and proposal for their corrections. *Earth Planet Space*, 59 (4), 251—257. <https://doi.org/10.1186/BF03353102>.

Peculiarities of the geomagnetic field secular variations at the 20th solar activity cycle

T. P. Sumaruk, P. V. Sumaruk, 2018

The decrease of solar and, correspondingly, geomagnetic activities at the 20th cycle has reflected on the secular variations of the geomagnetic field. On the continental magnetic observatories of the Earth north hemisphere (Europe and North America) the effect was positive and maximal amplitude was observed at the region of geomagnetic and magnetic poles. If the latitudes of the observatories diminishes amplitude of the effect also decreased and was about zero at the latitudes less 45°. At the Asia, the effect was negative and its maximal amplitude was observed at the observatory IRT. The sign of the effect changes at longitudes 60° (observatory KZN) and 150°—180° (observatory CWE, BRW). At the african and south America observatories the effect was not observed. The most probably, it was result of total variations from external and internal sources and the nearness of observatories to the geomagnetic equator. At Earth's south hemisphere, the most of the observatories are costal or are placed on the islands. The effect was not observed at these observatories. Maybe the induction current of ocean flows compensates the external variations. At the Antarctic continent the little amplitude effect was observed at the south magnetic pole region (DRV).

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

References

- Kalinin Yu. D.*, 1984. Secular geomagnetic variations. Novosibirsk: Nauka, 160 p (in Russian).
- Krivodubskiy V. N.*, 2016. Two-summit maxima of solar cycles. *VIII Scientific conference "Selected issues of astronomy and astrophysics"*, Lviv, 17—20 October 2016. P. 25—26 (in Ukrainian).
- Obridko V. N., Golishev 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—452 (in Russian).
- Orlov V. P., Ivchenko M. I., Bazarzhapov A. D., Kolomytseva G. J.*, 1968. Secular variations of the geomagnetic field for 1960—1965. Moscow: Publ. IZMIRAN, 68 p. (in Russian).
- Orlyuk M., Marchenko A., Romenets A.*, 2016. Connection of Earth's seismicity and its secular variation. *Visnik Kievskogo natsionalnogo universitetu. Geologia*, (4), 50—54 (in Ukrainian).
- Orlyuk M. I., Marchenko A. V., Romenets A. A.*, 2017. Spatial-temporal changes in the geomagnetic field and seismicity. *Geofizicheskiy zhurnal* 39 (6), 84—105 (in Russian). doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v39i6.2017.116371>.
- Sumaruk T. P., Sumaruk P. V.*, 2009. Recurrent geomagnetic activity and large-scale magnetic field of the Sun. *Kosmichna nauka i tekhnologiya*, 15 (1), 57—62 (in Ukrainian).
- Sumaruk Yu. P., Sumaruk P. V.*, 2013. Features of age variations of the geomagnetic field in the northern polar part of the Earth. *Geofizicheskiy zhurnal*, 35 (2), 137—142 (in Ukrainian). doi: <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v35i2.2013.111357>.
- Sumaruk P. V., Feldstein Ya. I., Belov B. A.*, 1992. Polar electrojet during magnetic storm of 23—24 march 1969. *Geofizicheskiy zhurnal* 14 (3), 79—81 (in Russian).
- Feldstein Ya. I., Livshits M. A., Valtchuk T. E.*, 1979. General magnetic field of the Sun, geo-

- magnetic activity and prognosis of the parameters of the 21th cycle of solar activity. *Bulgarian Geophys. J.*, 5(1), 67—73. (in Russian).
- Shevnin A. D., Levitin A. E., Gromova L. I., Dremuhina L. A., Kaynara L. N., 2009. Solar cyclic variation in magnetic elements of Moscow observatory. *Geomagnetism i aeronomiya*, 49(3), 315—320 (in Russian).
- Yanovskiy B. M., 1978. Geomagnetism. Leningrad: Publ. LGU., 591 p. (in Russian).
- Davis T. N., Sugiura M., 1966. Auroral electrojet activity index AE and its universal time variations. *J. Geophys. Res.*, 21, 785—803. <https://doi.org/10.1029/JZ071i003p00785>.
- Ryskin G., 2009. Secular variation of the Earth's magnetic field: induced by the ocean flow? *New Journal of Physics*, 11, 1—23. doi: 10.1088/1367-2630/11/6/063015.
- Sumaruk Yu. P., 2001. On external sources of secular variations of the Earth's magnetic field. *Contribution to Geophysics and Geodesy*, 31(1), 353—354.
- Sumaruk T., Sumaruk Yu., 2007. The new index of the geomagnetic activity. Publ. Inst. Geophys Pol. Acad., SC Monographic volume, 99(398). P. 374—379.
- Sumaruk Yu. P., Reda J., 2011. Secular variations of the geomagnetic field and solar activity. *Geofizicheskiy zhurnal* 33(4), 134—141. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v33i4.2011.116902>.
- Verbanac G., Luhr H., Rother M., Korte M., Manda M., 2007. Contributions of the external field to the observatory annual means and proposal for their corrections. *Earth Planet Space*, 59(4), 251—257. <https://doi.org/10.1186/BF03353102>.