

## Відображення хейлівських циклів сонячної активності у вікових варіаціях геомагнітного поля

*Т.П. Сумарук, П.В Сумарук, 2020*

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна  
Надійшла 30 червня 2020 р.

Досліджено вплив різкого зменшення сонячної активності у двадцятому циклі на вікові варіації геомагнітного поля Землі. Зменшення сонячної активності веде до зменшення кількості магнітних бур на Землі. У роки великої сонячної активності збільшуються негативні варіації від зовнішніх джерел поля — кільцевого магнітосферичного струму, а також збільшуються амплітуди змін авроральних і екваторіальною іоносферних електроструменів. Кільцевий струм зменшує горизонтальну складову магнітного поля Землі в низьких і середніх широтах і збільшує вертикальну складову у високих широтах. У авроральних широтах під час магнітної бурі збільшується інтенсивність авроральних електроструменів. Таким чином, в активніші роки середньорічні абсолютні значення горизонтальної складової магнітного поля будуть менше на обсерваторіях, розташованих у низьких і середніх широтах, а середньорічні абсолютні значення вертикальної складової магнітного поля будуть більше у високих широтах Землі. Оскільки вікові варіації визначають як різницю між середньорічними значеннями поля, вплив зовнішніх джерел поля підвищується із зростанням сонячної активності. На обсерваторіях північної півсфери Землі (Західна Європа і Північна Америка) зменшення сонячної активності веде до збільшення середньорічних значень поля, т. е. до позитивних вікових варіацій. Ефект максимальний в регіоні магнітного полюса. Амплітуда ефекту знижується зі зменшенням широти обсерваторії. Знак ефекту змінюється (тобто від'ємні значення вікових варіацій для Північної півкулі) на довготах  $60^\circ$  E (обсерваторія «Казань») і  $150\text{—}160^\circ$  E (обсерваторія «Мис Уеллен», «Барров»). Амплітуди негативних вікових варіацій максимальні на магнітній обсерваторії «Іркутськ». Ефект не спостерігається на островних обсерваторіях, а також на обсерваторіях у Південній Америці. Це, мабуть, результат накладення варіацій різних знаків від зовнішніх і внутрішніх джерел, таких як варіації від струмів у океанських течіях, і рівності за величиною амплітуди вікових варіацій від зовнішніх і внутрішніх джерел.

**Ключові слова:** хейлівський цикл сонячної активності, вікові варіації, великомасштабне магнітне поле Сонця, геомагнітна активність.

**Вступ.** Сонячне магнітне поле можна вважати дипольним. На геліоширотах близько  $50^\circ$  воно домінує в обох півкулях. Однак це поле не має строго означеної осі і не є симетричним, тобто не можна допускати, що його створює якийсь диполь, що знаходиться всередині Сонця [Гібсон, 1977]. Найімовірніше таке поле є результатом накладання багатьох невеликих поверхневих полів. Подібне поле називають великомасштабним магнітним полем Сонця (ВМПС).

Сонце має диференціальне обертання, тобто його екваторіальні області обертаються швидше за полярні. ВМПС напрямлене від одного полюса Сонця до іншого. Внаслідок диференціального обертання Сонця напруженість ВМПС зростає [Livingston, 1966], що приводить до збільшення магнітного тиску у конвективній зоні. Силкові трубки магнітного поля із конвективної зони Сонця «спливають» у фотосферу, і їх поперечні перерізи ми бачимо як плями, оскільки температура в них

менша, ніж у навколишньому середовищі. Плямотвірна діяльність Сонця розвивається циклічно з періодом близько 11 років, причому геліоширота появи плям змінюється протягом циклу. На початку циклу плями з'являються на геліоширотах  $\pm 40^\circ$ , потім вони переміщуються до екватора і коли досягають широти  $\pm 5^\circ$ , розпочинається новий цикл. Більшість плям або груп плям об'єднані в біполярні групи, в яких ведуча пляма (щодо напрямку обертання Сонця) має полярність, протилежну полярності веденої плями. Протягом усього циклу всі ведучі плями північної півкулі Сонця мають однакову полярність. У південній півкулі Сонця розподіл полярностей протилежний. Слабкі магнітні поля біля полюсів Сонця мають таку саму полярність, як і ведучі плями певної півкулі.

У високоширотних доменах конвективної зони Сонця також генеруються торіодальні магнітні поля, однак вони не спливають, оскільки блокуються спрямованими донизу ефектами турбулентної магнітної антиплавучості [Рябов, Лукашук, 2010]. Тільки через 1—2 роки вони переносяться глибинною меридіональною течією до низьких широт і спливають. У такий спосіб формуються двовершинні сонячні цикли.

З початком нового циклу сонячної активності полярності плям змінюються на протилежні. Зміна знака полярності плям та поля біля полюсів відбувається у максимумів циклу. Таким чином, для повернення Сонця до тієї самої загальної конфігурації магнітних полярностей плям і магнітних полів біля його полюсів потрібні два 11-річні цикли, тобто приблизно 22 роки. Такий цикл називають хейлівським. Протягом одного 11-річного циклу ВМПС на північному полюсі Сонця буде напрямлене до Сонця, під час другого циклу — від Сонця. При напрямленому від Сонця ВМПС на північному полюсі на орбіті Землі має бути від'ємне значення компоненти міжпланетного магнітного поля (ММП), при цьому і геомагнітна активність зростає [Фельдштейн и др., 1979].

Модель, яка добре пояснює цикл сонячної активності, запропонував Бабкок [Bab-

cock, 1961] і вдосконалив Лейтон [Leighton, 1964, 1969]. Магнітні поля Сонця виносяться плазмою, яка повністю витікає із Сонця у міжпланетний простір (сонячний вітер). Сонячний вітер зустрічає на своєму шляху від Сонця магнітосферу Землі. Залежно від параметрів плазми сонячного вітру та напрямку «вмороженого» в плазму магнітного поля Сонця в магнітосфері формуються струми, які збурюють магнітне поле Землі. Величина збурення геомагнітного поля, в основному, залежить від напрямку вертикальної компоненти ММП [Arnoldy, 1971]. Наявність південної компоненти ММП, її величина й тривалість ведуть до появи геомагнітних збурень, амплітуда яких залежить від величини параметрів сонячного вітру [Rostoker, Falthamar, 1967].

Збурення геомагнітного поля є іррегулярними, але в них можна виділити і регулярну компоненту. Так, під час магнітних бур у магнітосфері формується кільцевий струм, який зменшує напруженість геомагнітного поля [Акасофу, 1971]. Отже, у роки високої сонячної активності і, відповідно, геомагнітної активності середньорічні значення напруженості геомагнітного поля будуть меншими. Вікові варіації вираховують як різницю між середньорічними значеннями компонент геомагнітного поля, тому можна припустити, що у змінах цих варіацій має відобразитися хейлівський цикл сонячної активності.

Мета статті — виявлення у вікових варіаціях геомагнітного поля компоненти, пов'язаної з хейлівськими циклами сонячної активності.

**Використані дані.** Для дослідження використано середньорічні значення абсолютних величин геомагнітного поля на магнітних обсерваторіях світової сітки та каталог середньорічних чисел Вольфа (*W*) (<http://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar/sgd/html/>).

**Результати досліджень.** Хейлівські цикли сонячної активності розпочинаються в роки максимумів, оскільки в ці роки ВМПС змінює знак. За даними щодо сонячної активності можна визначити знак ВМПС і, таким чином, знайти тривалість

хейлівських циклів за час, коли ВМПС не вимірювали експериментально. Початком хейлівського циклу обрано роки максимумів непарних циклів сонячної активності.

У таблиці показано роки екстремумів сонячної активності від 1913 до 2013 р. і тривалість циклів Хейла за цей проміжок часу. Нумерацію циклів розпочато умовно з 1917 р. За третій та четвертий цикли Хейла є експериментальні дані щодо величини та полярності ВМПС [Обридко и др., 2004]. Знаки за перший та другий цикли ми визначили, припустивши, що цикл розпочинається у рік зміни знака ВМПС, тобто у максимумі сонячної активності непарного 11-річного циклу. У третій колонці таблиці показано середньомісячні значення чисел Вольфа за певний рік, а в четвертій — знак ВМПС. Знак «+» означає, що у північній півкулі Сонця ВМПС напрямлено від Сонця, а знак «0» — ВМПС змінює знак. Із даних таблиці легко побачити, що в непар-

них 11-річних циклах сонячна активність більша, ніж у парних (правило Гневишева — Оля), винятком є 22-й та 23-й 11-річні цикли. У 22-му циклі сонячна активність більша, ніж у 23-му, але правило Гневишева—Оля не порушувалось щодо геомагнітної активності [Гвишиани и др., 2015]. В останній колонці таблиці показано реперні роки вікових варіацій напруженості геомагнітного поля у ХХ ст. і на початку ХХІ ст. [Сумарук и др., 2016].

У реперні роки вікові варіації геомагнітного поля змінюють знак або змінюється швидкість зміни абсолютної величини варіацій. На графіках залежності вікових варіацій від часу швидкість їхнього змінення показує перегин кривої. За даними таблиці, всі реперні роки ВВ(Т) — це роки максимумів циклів сонячної активності, тільки 1996-й рік — мінімум між 22-м та 23-м циклами. Слід підкреслити, що реперні роки збігаються з максимумами парних

### Хейлівські цикли, ВМПС, реперні роки ВВ (Т)

Роки екстремумів	Екстремуми	$W_{\max}$	Знак ВМПС	$N_x$	Тривалість циклу Хейла	Реперні роки ВВ(Т)
1913	min 14—15	—	+	—		—
1917	max 15	154	0	I		1920
1923	min 15—16	—	-	I		—
1928	max 16	98	0	I	20	1928
1933	min 16—17	—	+	I		—
1937	max 17	165	0	I—II		1936
1944	min 17—18	—	-	II		—
1947	max 18	201	0	II		1947
1954	min 18—19	—	+	II	20	—
1957	max 19	254	0	II—III		1960
1964	min 19—20	—	-	III		—
1969	I max 20	140	0	III	22	1969
1970	II max 20	127	0	III		—
1976	min 20—21	—	+	III		—
1979	max 21	188	0	III—IV		1979
1986	min 21—22	—	-	IV		—
1989	max 22	176	0	IV	21	1989
1996	min 22—23	—	+	IV		1996
2000	max 23	170	0	IV—V		2003
2009	min 23—24	—	+	V		—
2013	max 24	62	0	V		—

11-річних циклів сонячної активності і відстають на 1—3 роки відносно максимумів непарних циклів. Це явище легко пояснити, якщо згадати, що в непарних циклах сонячна і, відповідно, геомагнітна активність більша. Кожен хейлівський цикл сонячної активності розпочинається в максимумах непарних 11-річних циклів (1917, 1937, 1957, 1979, 2000 р.), а зміна знака ВМПС — у максимумах парних циклів.

Геомагнітна активність на фазі спаду парних циклів і на фазі росту непарних циклів завжди розвивається при ВМПС, напрямленому на північному полюсі Сонця від Сонця, що веде до збільшення ймовірності появи південної компоненти ММП і геомагнітних бур та зменшення рекурентності геомагнітної активності [Сумарук Т., Сумарук П., 2009].

На рис. 1 нанесено кількість днів кожного року ( $N_r$ ), коли спостерігали рекурентні збурення. Збурення вважали рекурент-

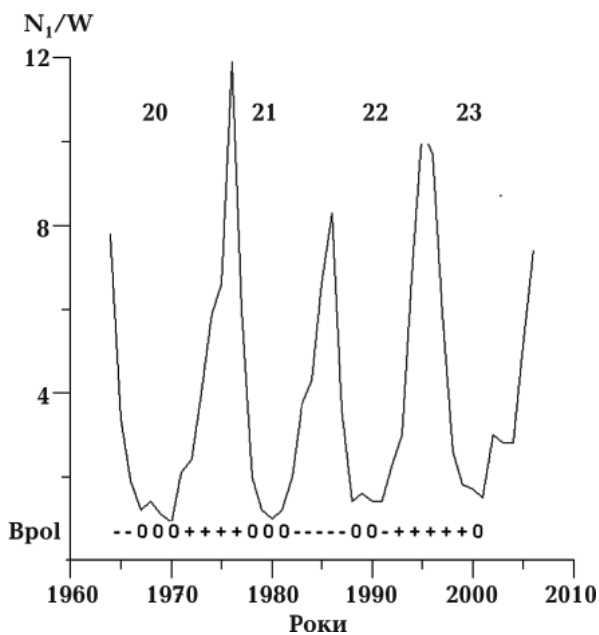


Рис. 1. Зміни відношення числа днів у році з рекурентними збуреннями геомагнітного поля до відповідних середньорічних значень чисел Вольфа та знака ВМПС ( $B_{pol}$ ) за 20—23-й цикли сонячної активності.

Fig. 1. Changes of the relations between the number of recurrent geomagnetic field days in year to mean year Wolf numbers and GMFS for 20—23 solar activity cycles.

ним, якщо воно повторювалось не менш як у 2 обертах Сонця. Для виключення впливу змін амплітуд 11-річних циклів активності Сонця величину  $N_r$  нормували на числа Вольфа у цьому циклі. На рис. 1 вгорі показано номер 11-річного циклу, внизу — знак ВМПС. Бачимо чітку залежність рекурентності від знака ВМПС. Рекурентність мінімальна у роки зміни знака ВМПС, тобто у роки великої сонячної активності (1968—1970, 1979—1980, 1988—1991). Рекурентність максимальна у роки мінімумів сонячної активності.

Таким чином, хейлівський цикл сонячної активності починається в максимумі непарного 11-річного циклу. У досліджуваному інтервалі часу перший хейлівський цикл розпочався у максимумі 15-го 11-річного циклу. Від максимуму 15-го до максимуму 16-го 11-річних циклів (1917—1928) ВМПС було негативним, у 1928—1937 р. — позитивним. Другий хейлівський цикл тривав від максимуму 17-го до максимуму 19-го 11-річних циклів (1937—1957). Знак ВМПС змінився у 1947 р., у максимумі 18-го циклу. Таку саму послідовність подій спостерігали і для третього та четвертого хейлівських циклів (див. таблицю). Слід вказати, що всі ці події відбуваються на фоні розвитку 80-річного циклу сонячної активності [Гібсон, 1977].

На рис. 2 показано зміни середньорічних значень індексу  $\Sigma(H-S_q)$  [Sumaruk T., Sumaruk Yu., 2007] за 1953—2009 р. на магнітних обсерваторіях «Львів» (LVV,  $\Phi=48^\circ$ ,  $\Lambda=107^\circ$ ) та «Фредеріксбург» (FRD,  $\Phi=48^\circ$ ,  $\Lambda=353^\circ$ ). Обсерваторії LVV та FRD знаходяться на однакових геомагнітних широтах і рознесені за довготою на  $146^\circ$ . Індеси  $\Sigma(H-S_q)$ , які обраховано за даними обох обсерваторій, добре корелюють. Індекс  $\Sigma(H-S_q)$  добре відображає геомагнітну активність, оскільки враховує іррегулярні варіації поля, амплітуди і періоди яких змінюються в широкому діапазоні. Варіацію відраховуємо від рівня спокійної сонячно-добової варіації ( $S_q$ ). Підсумовування ведемо за місяць, далі знаходимо середньомісячну величину. Криву змін чисел Вольфа ( $W$ ) нанесено пунктирною

лінією. Короткими стрілками позначено роки максимумів сонячної активності, довгими — роки максимумів геомагнітної активності. Велика рекурентність на фазі спаду сонячної активності у 20-му циклі привела до росту геомагнітної активності, яка залишалась на такому самому рівні, як у максимумі циклу, і хоч вона була удвічі меншою, ніж у максимумі 19-го циклу [Гвишиани и др., 2015], мінімум між 20-м і 21-м циклами в геомагнітній активності не відобразився. Найімовірніше, це було реакцією магнітосфери на неозначеність знака ВМПС у 1966—1970 р. [Обридко и др., 2004]. Низька геомагнітна активність у 20-му циклі зумовила зростання абсолютних величин ВВ(Т), максимум яких був досягнутий у максимумі циклу у 1969 р. У 21-му циклі геомагнітна активність зросла і абсолютні величини ВВ(Т) почали спадати. Спад тривав до кінця циклу у 1979 р. З початком 22-го 11-річного циклу і початком

4-го циклу Хейла знак ВВ(Т) у північній полярній шапці Землі змінився.

На рис. 3 показано згладжені 3- та 11-річними біжними середніми ВВ(Т) на середньоширотних магнітних обсерваторіях «Хартленд» (HAD,  $\Phi=51^\circ$ ,  $\Lambda=356^\circ$ ), «Фредеріксбург» (FRD,  $\Phi=48^\circ$ ,  $\Lambda=353^\circ$ ) та на обсерваторіях «Туле» (THU,  $\Phi=88^\circ$ ,  $\Lambda=14^\circ$ ), «Годхавн» (GDH,  $\Phi=79^\circ$ ,  $\Lambda=35^\circ$ ) у північній полярній шапці, «Дюмон д'Юрвіль» (DRV,  $\Phi=-75^\circ$ ,  $\Lambda=232^\circ$ ) — у південній полярній шапці Землі за 1910—2010 рр. Цим інтервалом часу охоплено чотири цикли Хейла (їх номери показано римськими цифрами внизу), вони обмежені вертикальними лініями. ВВ(Т) знакозмінні у північній полярній шапці та на обсерваторії HAD і мають від'ємні значення на обсерваторіях FRD і DRV. Максимальні абсолютні значення спостерігали у 1969 р. (максимум 20-го циклу сонячної активності). Знак ВВ(Т) у північній полярній шапці змінився у 1979 р. (кінець

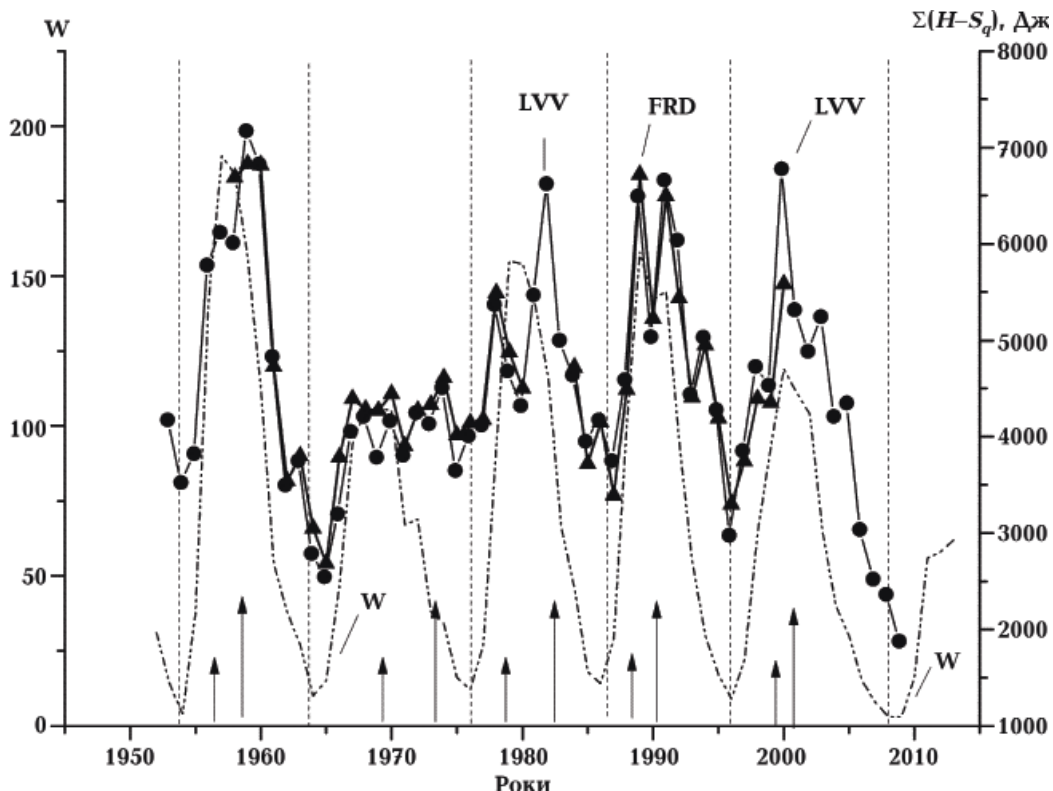


Рис. 2. Графіки зміни середньорічних значень індексу  $\Sigma(H-S_q)$  за 1953—2003 рр. на магнітних обсерваторіях «Львів» та «Фредеріксбург» і крива змін середньорічних значень чисел Вольфа.

Fig. 2. Mean years indexes  $\Sigma(H-S_q)$  graphs for 1953—2003 years at the magnetic observatories «Lviv» and «Fredericksburg» and changes of mean years Wolf numbers.

3-го циклу Хейла). В середніх широтах того року спостерігали лише перегини кривих ВВ(Т). Перегин кривої ВВ(Т) на обсерваторії FRD у 1969 р. можна пояснити варіаціями, пов'язаними також з 80-річним сонячним циклом [Гібсон, 1977; Sumaruk, 2001].

На рис. 3 значення ВВ(Т) на початку кожного циклу Хейла та на його кінці сполучені прямими лініями, а площа між прямою лінією і кривою ВВ(Т) затемнена. Номери 11-річних циклів нанесено вверху (арабські цифри), номери хейлівських циклів (згідно з даними таблиці) позначено римськими цифрами внизу рисунка. ВВ(Т) з періодом хейлівського циклу сонячної активності максимальні в полярних шапках

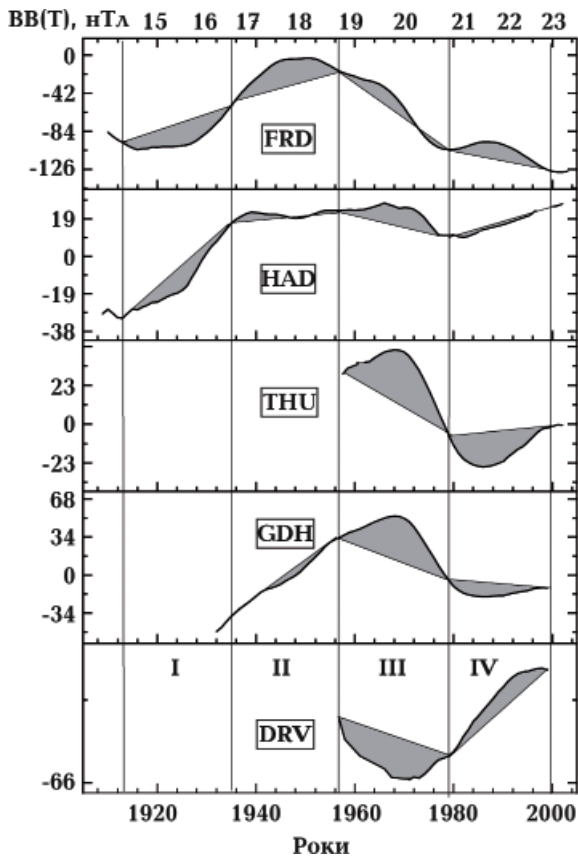


Рис. 3. Вікові варіації геомагнітного поля, згладжені 3- та 11-річними біжучими середніми на магнітних обсерваторіях «Фредеріксбург», «Хартленд», «Туле», «Годхавн», «Дюмон Д'юрвіль».

Fig. 3. Secular geomagnetic field variations smoothed by three and eleven years running means at magnetic observatories «Fredericksburg», «Hartland» and «Thule», «Godhavn» and «Dumont d'Urville».

Землі. Амплітуда їх спадає в середніх широтах. Абсолютна величина варіації збільшується протягом фази спаду непарного 11-річного і фази росту парного циклу сонячної активності та зменшується до нуля наприкінці наступного парного 11-річного циклу.

Максимальна хейлівська варіація ВВ(Т) спостерігається в максимумі парного 11-річного циклу. Знаки хейлівської варіації ВВ(Т) у полярних шапках Землі протилежні. У четвертому хейлівському циклі (1979—2000) у полярних шапках Землі варіація змінила знак, її амплітуда зменшилась, що, найімовірніше, пов'язане зі зменшенням напруженості ВМПС та геомагнітної активності [Иванов, Харшиладзе, 2008; Гвишиани и др., 2015].

**Висновки.** За даними щодо сонячної активності, яку виражено числами Вольфа, та експериментальними даними стосовно полярності та величини ВМПС (для третього і четвертого циклів Хейла) виділено чотири цикли Хейла сонячної активності з 1917 до 2000 р. У кожному з цих циклів геомагнітна активність і вікові варіації геомагнітного поля змінюються у відповідності до змін ВМПС.

Кожен цикл Хейла починається у максимумі активності непарного 11-річного циклу, коли ВМПС на північному полюсі Сонця напрямлене від Сонця (позитивне на фазі спаду непарного циклу і на фазі росту активності парного 11-річного циклу). Це веде до росту геомагнітної активності і збільшення абсолютної величини ВВ(Т). У наступний інтервал часу на фазі спаду парного циклу і фазі росту непарного циклу ВМПС напрямлене на північному полюсі до Сонця (негативне), геомагнітна активність спадає і абсолютна величина ВВ(Т) зменшується. Ефект максимальний за амплітудою в полярних шапках Землі і зменшується з переходом до середніх і низьких широт. У високих широтах Південної півкулі Землі зміна величини ВВ(Т) з циклом Хейла відбувається у протифазі до змін у високих широтах Північної півкулі.

### Список літератури

- Акасофу С.-І. Полярные и магнитосферные суббури. Москва: Мир, 1971. 357 с.
- Гвишиани А.Д., Старостенко В.И., Сумарук Ю.П., Соловьев А.А., Легостаева О.В. Уменьшение солнечной и геомагнитной активности с 19-го по 24-й цикл солнечной активности. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2015. Т. 55. № 3. С. 314—322.
- Гибсон Э. Спокойное Солнце. Москва: Мир, 1977. 408 с.
- Иванов К.Г., Харшиладзе А.Ф. Начало нового 24-го цикла солнечной активности в крупномасштабном открытом магнитном поле Солнца. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2008. Т. 48. № 5. С. 291—298.
- Криводубський В.Н. Двовершинні максимуми сонячних циклів: *Матеріали VIII наук. Конф. «Вибрані питання астрономії та астрофізика», Львів, 17—20 жовтня 2016 р.* С. 25—26.
- Обридко В.Н., Гольшев С.А., Левитин А.Е. Связь структуры 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.
- Рябов М.И., Лукашук С.А. Характеристики 23-го солнечного цикла и роль комплексов активности в развитии его вспышечных проявлений. *Космична наука і технологія*. 2010. Т. 16. № 1. С. 77—85.
- Сумарук Т.П., Сумарук П.В. Рекурентна геомагнітна активність і великомасштабне магнітне поле Сонця. *Космична наука і технологія*. 2009. Т. 15. № 1. С. 57—61.
- Сумарук Ю.П., Сумарук Т.П., Реда Я. Динаміка вікових варіацій геомагнітного поля з часом. *Геофиз. журн.* 2016. Т. 38. № 6. С. 152—159. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i6.2016.91884>.
- Фельдштейн Я.И., Лившиц М.А., Вальчук Т.Е. Общее магнитное поле Солнца, геомагнитная активность и прогноз параметров 21-го цикла солнечной активности. *Bulgarian Geophysical Journal*. 1979. Т. 5. № 1. С. 67—73.
- Arnoldy, R.L. (1971). Signature in the interplanetary medium for substorms. *Journal of Geophysical Research*, 76(22), 5189—5201. <https://doi.org/10.1029/JA076i022p05189>.
- Bablock, H.W. (1961). Topology of Sun's magnetic field and 22-year cycle. *Astrophysical Journal*, 133, 572—587.
- Leighton, R.B. (1969). Magnetic — kinematic model of Sun cycle. *Astrophysical Journal*, 156, 1—26.
- Leighton, R.B. (1964). Transport of magnetic field on the Sun. *Astrophysical Journal*, 140, 1547—1562.
- Livingston, W.S. (1966). Magnetic fields on the quiet Sun. *Scientific American*, 215(5), 107—116.
- Rostoker, G., & Fälthammar, C.-G. (1967). Relationship between changes in the interplanetary magnetic field and variations in the magnetic field at the Earth surface. *Journal of Geophysical Research*, 72(23), 5853—5863. <https://doi.org/10.1029/JZ072i023p05853>.
- Sumaruk, T., & Sumaruk, Yu. (2007). The new index of geomagnetic activity. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., Monographic volume*, 374—379.
- Sumaruk, Yu.P. (2001). On external sources of secular variations of the Earth magnetic field. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 31(1), 353—354.

## Reflection of the solar activity Hale cycles on the geomagnetic field secular variations

*T.P. Sumaruk, P.V. Sumaruk, 2020*

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

The effect of dramatic decaying of solar activity in the twentieth cycle on secular variations of the Earth's geomagnetic field has been investigated. Solar activity decay leads to reduction of the number of magnetic storms on the Earth. During the years of large-scale solar activity negative variations from external sources of the field — circular magnetospheric current, increase, as well as amplitudes of changes of auroral and equatorial ionospheric electrojets. Circular current reduces the horizontal component of the Earth's magnetic field in low and medium latitudes and increases the vertical component in the high latitudes. In auroral latitudes the intensity of auroral electrojets increases during a magnetic storm. Therefore in more active years average annual absolute values of horizontal component of magnetic field will be smaller at the observatories situated in low and medium latitudes and average annual absolute values of the vertical component of magnetic field will be higher in the high latitudes of the Earth. As far as secular variations are determined as the difference between average annual values of the field, the effect of external sources of the field increases with the growth of solar activity.

At the observatories of the northern hemisphere of the Earth (West Europe and North America) decaying of solar activity leads to the increase of average annual values of the field, i.e., to positive secular variations. The effect is maximal in the region of the magnetic pole. The amplitude of the effect decreases with the decrease of the latitude of the observatory. The sign of the effect changes (i.e. negative values of secular variations for the northern hemisphere) at the longitudes 60°E («Kazan») and 150—160°E («cape Uellen», «Barrov»). Amplitudes of negative secular variations are maximal at the magnetic observatory «Irkutsk». The effect is not observed at the insular observatories as well as the observatories in South America. It is evidently a result of superposition of variations with different signs from the external and internal sources such as variations from the currents in the oceanic flows and the equality by the value of amplitude of secular variations from external and internal sources.

**Key words:** heilian cycle of solar activity, secular variations, large-scale magnetic field of the Sun, geomagnetic activity.

### References

- Akasofu, S.-I. (1971). *Polar and magnetospheric substorms*. Moscow: Mir, 357 p. (in Russian). *magnetizm i aeronomiya*, 48(5), 291—298 (in Russian).
- Gvishiani, A.D., Starostenko, V.I., Sumaruk, Yu.P., Soloviev, A.A., & Legostaeva, O.V. (2015). Decreasing of the solar and geomagnetic activity from 19-th till 20-th cycle. *Geomagnetizm i aeronomiya*, 55(3), 314—322 (in Russian).
- Gibson, E. (1977). *The Quiet Sun*. Moscow: Mir, 408 p. (in Russian).
- Ivanov, K.G., & Kharshiladze, A.D. (2008). The beginning of the new 24-th solar activity cycle in large-scale open magnetic of the Sun. *Geomagnetizm i aeronomiya*, 44(4), 449—452 (in Russian).
- Krivodubskyy, V.N. (2016). Twopeaks solar cycle maximum: *Proc. of the VIII Sci. conference «Selected questions of astronomy and astrophys»*, Lviv, 17—20 October 2016 (pp. 25—26) (in Ukrainian).
- Obridko, V.N., Golishev, S.A., & Levitin, A.E. (2004). Connection of the GMFS at the cycles solar activity to the structure of the IMF, influenced on the geomagnetic activity. *Geomagnetizm i aeronomiya*, 44(4), 449—452 (in Russian).



- Ryabov, M.I., & Lukashchuk, S.A. (2010). Characteristics of the 23 solar activity cycle and role complexes of activity at the flares. *Kosmichna nauka i tekhnolohiya*, 16(1), 77—85 (in Russian).
- Sumaruk, T.P., & Sumaruk, P.V. (2009). Recurrent geomagnetic activity and GMFS. *Kosmichna nauka i tekhnolohiya*, 15(1), 57—61 (in Ukrainian).
- Sumaruk, Yu.P., Sumaruk, T.P., & Reda, J. (2016). Dynamics of temporal changes of geomagnetic field secular variations. *Geofizicheskiy zhurnal*, 38(6), 152—159. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v38i6.2016.91884> (in Ukrainian).
- Feldsteyn, Y.I., Livshits, M.A., & Valchuk, T. (1979). GMPS, geomagnetic activity and prognosis of 21-st solar cycle activities parameters. *Bulgarian Geophysical Journal*, 5(1), 67—73 (in Russian).
- Arnoldy, R.L. (1971). Signature in the interplanetary medium for substorms. *Journal of Geophysical Research*, 76(22), 5189—5201. <https://doi.org/10.1029/JA076i022p05189>.
- Bablock, H.W. (1961). Topology of Sun's magnetic field and 22-year cycle. *Astrophysical Journal*, 133, 572—587.
- Leighton, R.B. (1969). Magnetic—kinematic model of Sun cycle. *Astrophysical Journal*, 156, 1—26.
- Leighton, R.B. (1964). Transport of magnetic field on the Sun. *Astrophysical Journal*, 140, 1547—1562.
- Livingston, W.S. (1966). Magnetic fields on the quiet Sun. *Scientific American*, 215(5), 107—116.
- Rostoker, G., & Fälthammar, C.-G. (1967). Relationship between changes in the interplanetary magnetic field and variations in the magnetic field at the Earth surface. *Journal of Geophysical Research*, 72(23), 5853—5863. <https://doi.org/10.1029/JZ072i023p05853>.
- Sumaruk, T., & Sumaruk, Yu. (2007). The new index of geomagnetic activity. *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., Monographic volume*, 374—379.
- Sumaruk, Yu.P. (2001). On external sources of secular variations of the Earth magnetic field. *Contributions to Geophysics and Geodesy*, 31(1), 353—354.

## Отражение хейловских циклов солнечной активности в возрастных вариациях геомагнитного поля

Т.П. Сумарук, П.В Сумарук, 2020

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

Исследовано влияние резкого уменьшения солнечной активности в двадцатом цикле на вековые вариации геомагнитного поля Земли. Уменьшение солнечной активности ведет к уменьшению количества магнитных бурь на Земле. В годы большой солнечной активности увеличиваются отрицательные вариации от внешних источников поля — кольцевого магнитосферного тока, а также увеличиваются амплитуды изменений авроральных и экваториальной ионосферных электроструй. Кольцевой ток уменьшает горизонтальную составляющую магнитного поля Земли в низких и средних широтах и увеличивает вертикальную составляющую в высоких широтах. В авроральных широтах во время магнитной бури увеличивается интенсивность авроральных электроструй. Таким образом, в более активные годы среднегодовые абсолютные значения горизонтальной составляющей магнитного поля будут меньше на обсерваториях, расположенных в низких и средних широтах, а среднегодовые абсолютные значения вертикальной составляющей магнитного поля будут больше в высоких широтах Земли. Поскольку вековые вариации определяются как разность между среднегодовыми значениями поля, влияние внешних источников поля повышается с ростом солнечной активности. На обсерваториях Северного полушария (Западная Европа и Северная Америка) уменьшение солнечной активности ведет

к увеличению среднегодовых значений поля, т. е. к положительным вековым вариациям. Эффект максимален в регионе магнитного полюса. Амплитуда эффекта снижается с уменьшением широты обсерватории. Знак эффекта изменяется (т. е. отрицательные значения вековых вариаций для Северного полушария) на долготах  $60^{\circ}$  E (обсерватория «Казань») и  $150 - 160^{\circ}$  E (обсерватория «Мыс Уэллен», «Барров»). Амплитуды отрицательных вековых вариаций максимальны на магнитной обсерватории «Иркутск». Эффект не наблюдается на островных обсерваториях, а также на обсерваториях в Южной Америке. Это, по-видимому, результат наложения вариаций разных знаков от внешних и внутренних источников, таких как вариации от токов в океанских течениях, и равенства по величине амплитуды вековых вариаций от внешних и внутренних источников.

**Ключевые слова:** хейловский цикл солнечной активности, вековые вариации, крупномасштабное магнитное поле Солнца, геомагнитная активность.