

УДК 550.385:523.745

Т. П. Сумарук, П. В. Сумарук

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна Національної академії наук України, Київ

РЕКУРЕНТНА ГЕОМАГНІТНА АКТИВНІСТЬ І ВЕЛИКОМАСШТАБНЕ МАГНІТНЕ ПОЛЕ СОНЦЯ

Досліджено залежність рекурентності магнітної активності, вираженої варіаціями на середньоширотній магнітній обсерваторії «Львів» за 1964–2006 роки від сонячної активності та знаку великомасштабного магнітного поля Сонця (ВМПС). Показано, що величина рекурентності залежить як від фази сонячного циклу, так і від знаку ВМПС. Рекурентність зменшується у фазу росту сонячної активності і збільшується у фазу спаду. Мінімальна рекурентність у роки зміни знаку ВМПС під час максимуму сонячної активності. Максимуми рекурентності при додатному ВМПС на північному полюсі Сонця значно вищі, ніж при від'ємному.

Спостереження та вимірювання магнітних полів на Сонці започатковані Хейлом на початку 20-го століття. Магнітне поле Сонця має складну структуру. Прийнято розрізняти магнітні поля сонячних плям, активних областей поза плямами, уніполярні магнітні області і великомасштабне магнітне поле Сонця (ВМПС). Напруженість ВМПС сягає не більше 1 ерстеда. Зміна полярності магнітних полів Сонця триває близько 22 років (цикл Хейла), з таким періодом змінюється і сонячна активність (СА). Окрім 22 річного циклу відомі 2-річний, 11-річний, 80–90-річний і навіть 600-річний цикли сонячної активності.

Геомагнітна активність тісно пов'язана із сонячною, і окрім вище згаданих циклів має тенденцію до повторюваності через 27 днів, що відповідає періоду обертання екваторіальних областей Сонця навколо його осі.

Складні процеси, що проходять на Сонці, призводять до появи сонячного вітру двох типів: «квазіпостійного» та «змінного».

«Квазіпостійні» потоки сонячного вітру пов'язані із структурними утвореннями магнітного поля Сонця та тривають від декількох днів до декількох тижнів, а то й місяців. Причинами їх є високошвидкісні потоки від корональних дірок, геліосферний «струмовий шар» з корональними

струмерами навколо нього і т.п. Ці потоки приводять до рекурентних геомагнітних бур.

До «змінного» потоку сонячного вітру відносять потоки від викидів корональних мас (СМЕ) та плазми ударної хвилі, що призводять до появи геомагнітних бур з раптовим початком [5].

Відомо, що найбільш геоєфективним параметром сонячного вітру є вертикальна складова V_z міжпланетного магнітного поля (ММП). Поява цієї складової, напрямленої на південь ($V_z < 0$), спричиняє ріст геомагнітної активності. Механізми генерації складової $V_z < 0$ вивчаються від початку дослідження космічного простору штучними супутниками Землі. Процеси у міжпланетному просторі під час руху сонячного вітру від Сонця до Землі приводять до швидких змін знаку і амплітуди V_z -складової. Із ними в більшості випадків пов'язані геомагнітні бурі з раптовим початком.

Стампер та ін. [6] показали, що великомасштабне магнітне поле Сонця (ВМПС) впливає на геомагнітну активність і на основі цього припустили, що ВМПС збільшилося удвічі за останні сто років. Збільшення магнітного моменту сонячного диполя відмічається і в роботі [2]. В роботі [3] показано, що знак і амплітуда усередненої за рік V_z -складової вектора ММП узгоджуються зі структурою ВМПС в його полярних областях. Зроблено припущення, що геліосферне магнітне поле складається з двох систем маг-

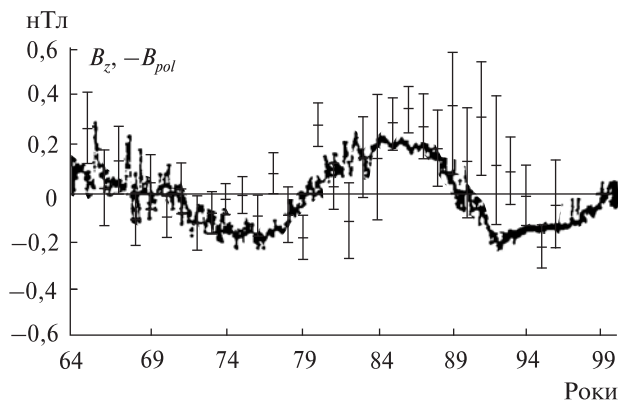


Рис. 1. Варіації великомасштабного магнітного поля Сонця B_{pol} (точки) та середньорічні значення B_Z ММП (квадратики) у 1965–1999 рр.

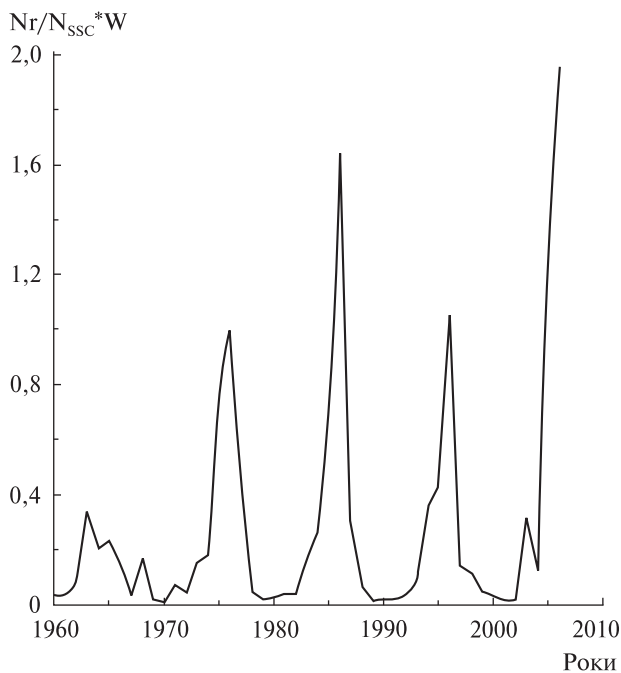


Рис. 2. Відношення кількості бур з поступовим початком (N_r) до кількості бур з раптовим початком (N_{SSC}), нормоване на величину середньорічних чисел Вольфа W за 1964–2006 рр.

нітних полів, котрі мають «квазіпостійну» і «змінну» структуру, і тому для аналізу багаторічних геомагнітних варіацій необхідно врахувати «квазіпостійну» систему ВМПС, а для аналізу індивідуальних геомагнітних збурень — «змінну» систему.

Зміна знаку ВМПС відбувається поблизу максимумів одинадцятирічних циклів СА. Динаміку зміни знаку ВМПС за 1996–2003 рр. детально розглянуто в роботі [1]. Складний процес зміни знаку на полюсах Сонця тісно пов'язаний з розвитком секторної структури ММП, а, як відомо [4], на границях секторної структури збільшується змінність складової B_Z ММП.

При наявності на північному полюсі Сонця додатнього ВМПС (від Сонця) B_Z -компонента його дипольного магнітного поля буде від'ємною і, таким чином, повинна збільшувати рекурентну геомагнітну активність.

Метою даної роботи є виявлення зв'язку рекурентності геомагнітної активності зі знаком ВМПС та даними про кількість магнітних бур, а також з індексами $\Sigma(H - S_q)$, визначеними за даними спостережень середньоширотної магнітної обсерваторії «Львів».

На рис. 1, взятому з роботи [3], представлені графіки зміни середньорічних значень B_Z -складової ММП та розраховано величину магнітного поля на північному полюсі Сонця з протилежним знаком ($-B_{pol}$) за 1965–1996 роки. Як бачимо, зміна знаку B_{pol} відбувалася у 1968–1969, 1979, 1989 рр., тобто в роки максимумів сонячної активності. В інтервали часу 1971–1978, 1992–1998 рр. на північному полюсі Сонця магнітне поле було додатним. Екстремуми цього поля спостерігалися в 1976, 1986 та 1996 роках.

На рис. 2 показано зміни відношення різної кількості магнітних бур з поступовим початком (N_r) до кількості бур з раптовим початком (N_{SSC}), нормоване на величину активності Сонця, виражену середньорічними числами Вольфа W за 1964–2006 рр. (нормування виключає вплив змін сонячної активності). Враховувались всі бурі (малі (М), помірні (П), великі та дуже великі (В)). Як бачимо, збільшення показника $(N_r/N_{SSC})/W$ спостерігається в 1974–1977, 1984–1987 та 1994–1996 рр., тобто в роки екстремумів B_{pol} . Таким чином, рекурентність геомагнітної активності збільшується в роки, близькі до мінімумів сонячної активності.

У таблиці показано кількість магнітних бур різної інтенсивності з поступовим початком (г)

Кількість магнітних бур з поступовим (r) та раптовим (SSC) початком

Рік	Малі		Помірні		Великі		Всі		Разом
	r	SSC	r	SSC	r	SSC	r	SSC	
1960	30	3	13	5	7	6	50	14	64
1961	22	7	4	3	2	5	28	15	43
1962	16	4	3	3	—	—	19	7	26
1963	12	—	6	1	1	1	19	2	21
1964	5	3	3	1	—	—	8	4	12
1965	5	1	2	1	—	—	7	2	9
1966	9	1	4	1	2	1	13	2	15
1967	8	3	5	2	1	3	13	5	18
1968	14	—	4	1	2	2	18	1	19
1969	6	1	—	3	2	2	6	4	10
1970	6	1	—	6	1	1	6	7	13
1971	15	2	4	2	—	1	19	4	23
1972	9	2	1	2	1	2	10	4	14
1973	8	1	9	2	2	—	17	3	20
1974	14	1	4	2	4	3	18	3	21
1975	17	2	7	—	—	—	24	2	26
1976	9	1	3	—	2	1	12	1	13
1977	9	—	4	1	2	2	13	1	14
1978	8	1	11	4	6	6	19	5	24
1979	3	—	14	6	4	1	17	6	23
1980	11	3	10	3	1	—	21	6	27
1981	7	2	14	2	5	3	21	4	25
1982	7	—	19	6	9	3	26	6	32
1983	21	2	20	2	1	6	41	4	45
1984	19	2	17	1	3	—	36	3	39
1985	19	—	14	3	2	1	33	3	36
1986	16	—	7	1	1	2	23	1	24
1987	19	2	8	1	—	—	27	3	30
1988	21	2	5	2	5	3	26	4	30
1989	11	5	11	7	5	3	22	12	34
1990	1	1	11	3	2	3	12	4	16
1991	4	2	9	3	10	3	13	5	18
1992	10	4	9	3	2	4	19	7	26
1993	14	3	12	3	6	1	26	6	32
1994	16	—	5	2	5	4	21	2	23
1995	16	2	13	2	1	—	29	4	33
1996	12	2	7	—	—	—	19	2	21
1997	15	3	3	3	1	1	18	6	24
1998	22	4	6	—	6	3	28	4	32
1999	14	3	10	3	3	1	24	6	30
2000	29	8	5	3	4	5	34	11	45
2001	23	13	2	5	4	6	25	18	43
2002	22	10	6	6	3	5	28	16	44
2003	22	1	19	1	2	5	41	2	43
2004	25	3	3	3	—	4	28	6	34
2005	26	1	10	—	4	4	36	1	37
2006	26	1	3	—	—	1	29	1	30

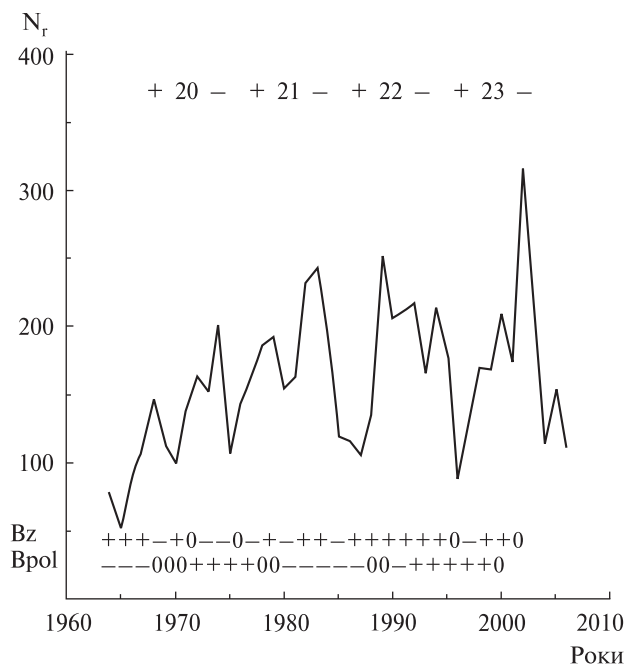


Рис. 3. Кількість N_r днів року, коли спостерігались рекурентні збурення для 1964–2006 рр.

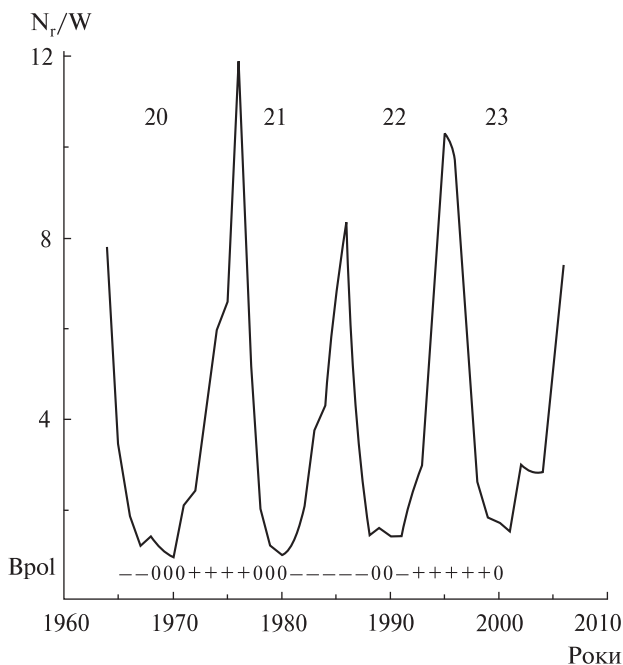


Рис. 4. Відношення N_r до середньорічних значень числа Вольфа W для 1964–2006 рр.

та раптовим початком (SSC) за 1964–2006 рр. Як бачимо, спостерігається тенденція збільшення кількості малих магнітних бур з поступовим по-

чатком в роки, коли $V_{pol} > 0$, максимумами їхньої кількості спостерігаються в роки мінімумів сонячної активності.

Максимальна кількість малих магнітних бур з раптовим початком спостерігається в роки, близькі до максимумів сонячної активності і залежить від знаку V_{pol} . Максимальна кількість помірних магнітних бур з поступовим початком спостерігається у фазу спаду сонячної активності, а бур з раптовим початком — у роки, близькі до максимуму, і також залежить від знаку V_{pol} . Кількість великих та дуже великих магнітних бур залежить від фази циклу сонячної активності; виявити залежність від знаку магнітного поля на полюсі Сонця не вдалося. Таким чином, тільки для малих магнітних бур можна побачити залежність їхньої кількості від знаку ВМПС.

Оскільки магнітними бурями вважаються варіації з амплітудами певної величини (для магнітної обсерваторії «Львів» ця величина не менша за 100 нТл), очевидно, що проміжки часу, в яких збурення менші за 100 нТл, випали із аналізу. Тому ми за величину збурення прийняли добову суму різниць середньогодинних значень горизонтальної H складової геомагнітного поля та відповідних значень цієї ж складової, усереднених по п'яти міжнародно-спокійних днях за місяць ($\Sigma(H - S_q)$). Горизонтальна складова найкраще відображає вплив зовнішніх джерел, S_q — вплив хвильового випромінювання Сонця. Добова сума вибрана для того, щоб обчислити варіації від усіх зовнішніх джерел (DR, DT, DCF, AL, AU). Як показано в роботі [7], ця величина може бути використана як індекс магнітної активності і добре корелює з іншими індексами. Добові суми $\Sigma(H - S_q)$ за 1964–2006 рр. були згруповані в ряди по 27 днів у відповідності з обертами Сонця по Бартельсу. Одержану таблицю значень за 1785–2258 оберти Сонця (474 оберти) досліджено на наявність рекурентних збурень. Збуреним прийнято поле при $\Sigma(H - S_q) \geq 100$ нТл. Збурення вважалося рекурентним, якщо воно повторялося не менше як у двох обертах Сонця. Не враховувались ті значення $\Sigma(H - S_q)$, де спостерігались бурі з раптовим початком.

На рис. 3 показано кількість днів кожного року, коли спостерігалися рекурентні збурення, внизу нанесені знаки ВМПС (B_{pol}) на північному полюсі та середньорічних B_Z -складових ММП за даними [3]. Вверху номер сонячного циклу. Рік максимуму активності відмічено знаком «+», а мінімуму — знаком «-». Як бачимо, рекурентність зростає від 20 до 23 циклу. Вона спадає у фазу росту сонячної активності і зростає у фазу спаду. Однак залежність від знаку ВМПС виявити неможливо, оскільки необхідно виключити вплив варіацій пов'язаних з одинадцятирічним циклом.

На рис. 4 показані ті ж величини, що і на рис. 3, нормовані на середньорічні числа Вольфа. Бачимо чітку залежність рекурентності від знаку ВМПС. Рекурентність мінімальна в роки зміни знаку ВМПС, тобто в роки великої сонячної активності (1968–1970, 1979–1980, 1988–1991 рр.). Максимальна рекурентність — у роки мінімумів сонячної активності (1964, 1976, 1986, 1995, 2007 рр.). Піки рекурентності в 1976 та 1995 рр. значно вищі, ніж у двох інших. В ці роки ВМПС було додатним.

ВИСНОВКИ

1. Рекурентність геомагнітної активності залежить як від фази циклу сонячної активності, так і від знаку великомасштабного магнітного поля Сонця.

2. Рекурентність спадає у фазу росту сонячної активності і зростає у фазу спаду. Мінімальна рекурентність спостерігається у роки максимумів сонячної активності, а максимальна — у роки, близькі до мінімумів або в роки мінімумів сонячної активності. У роки максимумів сонячної активності ВМПС змінює знак.

3. Максимуми рекурентності значно вищі при додатньому ВМПС на північному полюсі Сонця.

1. *Иванов К. Г., Харшладзе А. Ф.* Динамика открытого магнитного поля Солнца в 1996–2003 гг. и его особенности в зоне главных активных долгот // Геомагнетизм и аэрономия. — 2004. — **44**, № 6. — С. 723–733.
2. *Макаров В. И., Обридо В. Н., Тлатов А. Г.* Об увеличении магнитного потока от полярных областей Солнца за последние 120 лет // Астрон. журн. — 2001. — **78**, № 9. — С. 850–864.
3. *Обридо В. Н., Гольшев С. Л., Левитин А. Е.* Связь крупномасштабного магнитного поля Солнца в циклах солнечной активности со структурой ММП, оказавшей влияние на геомагнитную активность // Геомагнетизм и аэрономия. — 2004. — **44**, № 4. — С. 449–452.
4. *Сумарук П. В., Фельдштейн Я. И.* Изменчивость ZSE-составляющей ММП на границе секторной структуры // Астрон. вестник. — 1973. — 7. — С. 111–112.
5. *Хвилюзова Т. А.* Солнечные источники и типы потоков солнечного ветра // Физика околоземного космического пространства: Сб. ПГИ. — Апатиты, 2000. — Т. 2.
6. *Stamper R., Lockwood M., Wold M. N., Clark T. D. J.* Solar causes of the long term increase in geomagnetic activity // J. Geophys. Res. — 1999. — **104**. — P. 28325–28342.
7. *Sumaruk T., Sumaruk Yu.* The new index of geomagnetic activity // Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences. Monographic volume. — 2007. — С–99(398). — P. 380–382.

Надійшла до редакції 06.10.08

T. P. Sumaruk, P. B. Sumaruk

THE RECURRENCE OF THE GEOMAGNETIC ACTIVITY AND LARGE-SCALE MAGNETIC FIELD OF THE SUN

We investigated the dependence of the geomagnetic activity recurrence expressed by variations at the mid-latitude magnetic observatory «Lviv» during 1964–2006 on the solar activity and the sign of large-scale magnetic field of the Sun. It is shown that the recurrence depends both on the phase of the solar activity cycle and on the sign of the solar dipole magnetic field. The recurrence has its maximum at a solar activity minimum and at the positive dipole magnetic field of the solar north pole.