

УДК 550.385

П. В. Сумарук, Т. П. Сумарук

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

СОНЯЧНА АКТИВНІСТЬ І ВІКОВІ ВАРІАЦІЇ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

Досліджено зміни вікових варіацій геомагнітного поля за даними середньоширотних обсерваторій «Львів», «Бельськ», «Ленінград». Показано, що короткоперіодні варіації генеруються зовнішніми джерелами і величина їх залежить від рівня сонячної і геомагнітної активності. Зроблено припущення, що деяка частина короткоперіодних варіацій генерується внутрішніми джерелами.

Динамічні процеси всередині Землі відображаються у вікових варіаціях (SV) геомагнітного поля [6]. SV-варіації — дуже складне природне явище, оскільки вони генеруються як внутрішніми, так і зовнішніми джерелами.

Як відомо, SV-варіації геомагнітного поля обчислюються як різниця між послідовними середньорічними значеннями складових поля та його напруженості. У роки високої сонячної та геомагнітної активності кількість магнітних бур збільшується. Головною особливістю магнітної бурі є розвиток у магнітосфері кільцевого струму, який тече на відстані 3–4 радіусів Землі від її поверхні і зосереджений в екваторіальній площині. Такий струм дає різке зменшення горизонтальної (H) складової на поверхні Землі, яке названо D_{st} -варіацією. На екваторі D_{st} -варіація максимальна і зменшується із збільшенням широти точки спостереження по закону косинуса. Величини D_{st} -варіації можуть набувати значень кількох сотень нанотесла. Таким чином, у роки високої сонячної активності середньорічні значення H -складової поля будуть меншими, ніж у роки низької сонячної активності. D_{st} -варіація спостерігається і у вертикальній (Z) складовій геомагнітного поля. Кільцевий магнітосферний струм дає збільшення Z -складової на полюсах Землі [9]. Ефект зменшується із зменшенням широти обсерваторії по закону синуса від нуля на екваторі до максимуму на полюсах. Таким чином, у роки високої сонячної активності, коли

кількість магнітних бур збільшується, середньорічні значення Z -складової на полюсах будуть більшими, ніж у роки низької активності. В середніх широтах з ростом сонячної активності середньорічні значення H -складової поля будуть зменшуватися, а Z -складової — збільшуватися. Із збільшенням широти обсерваторії ефект повинен підсилюватися.

Окрім магнітосферного кільцевого струму на величину компонентів поля впливають також авроральні іоносферні електрострумені та їхні струми розтікання у середні та низькі широти, які генерують магнітні суббурі. Та оскільки направлений на захід авроральний електрострум, який тече в опівнічні та ранкові години, генерує зменшення H -складової поля, а східний електрострум, який розвивається в денні та вечірні години, дає збільшення H -складової, то сумарний вплив авроральних електроструменів на величину H -складової на даній обсерваторії буде залежати від кількості суббур, які зареєстровані на даній обсерваторії у певні години місцевого часу.

Крім прямого впливу на величину SV магнітосферних та іоносферних струмів, який проявляється в глобальному масштабі, спостерігаються і регіональні зміни вікових варіацій. Особливо добре явище проявляється у вертикальній складовій поля. Регіональні зміни SV-варіацій пояснюються впливом індукованих струмів в підстильних поверхнях обсерваторій.

Взаємодія Землі з космічними полями веде до зміни ротаційного режиму Землі і відповідно

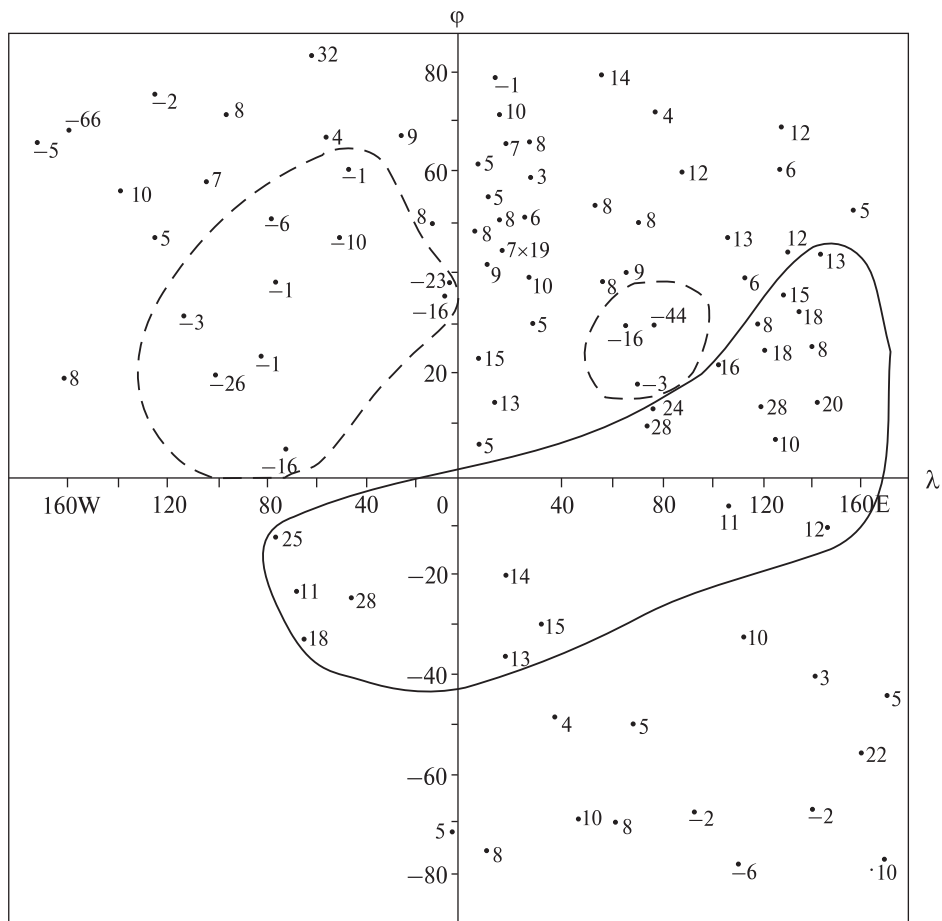
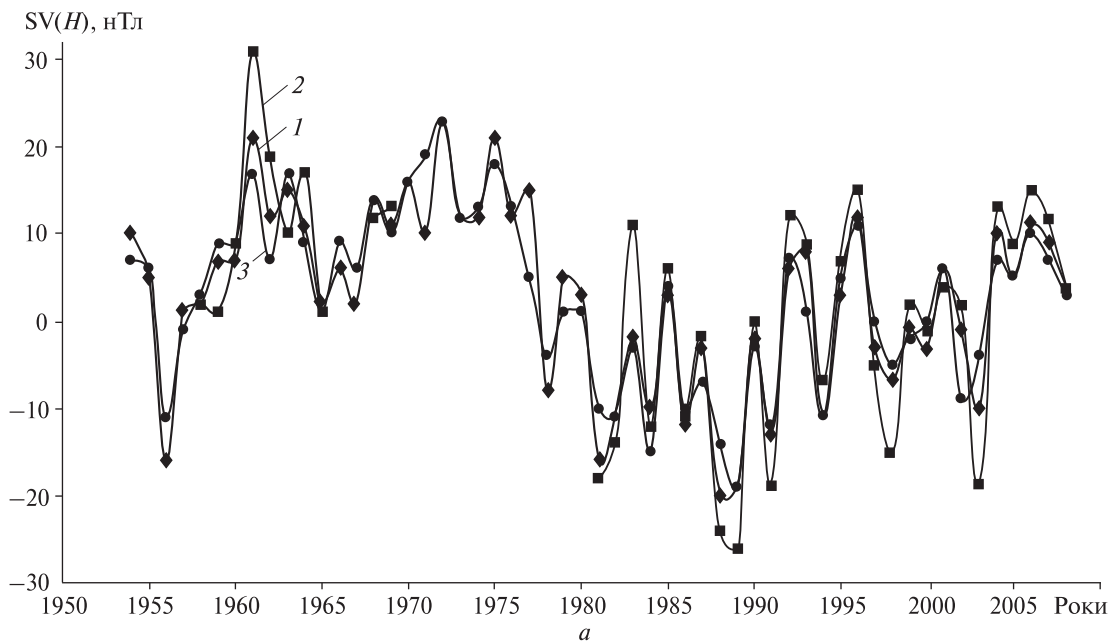


Рис. 1. Розподіл змін SV(H) на поверхні Землі в 1975 р. при $\Delta\Sigma K_p = -4.2$



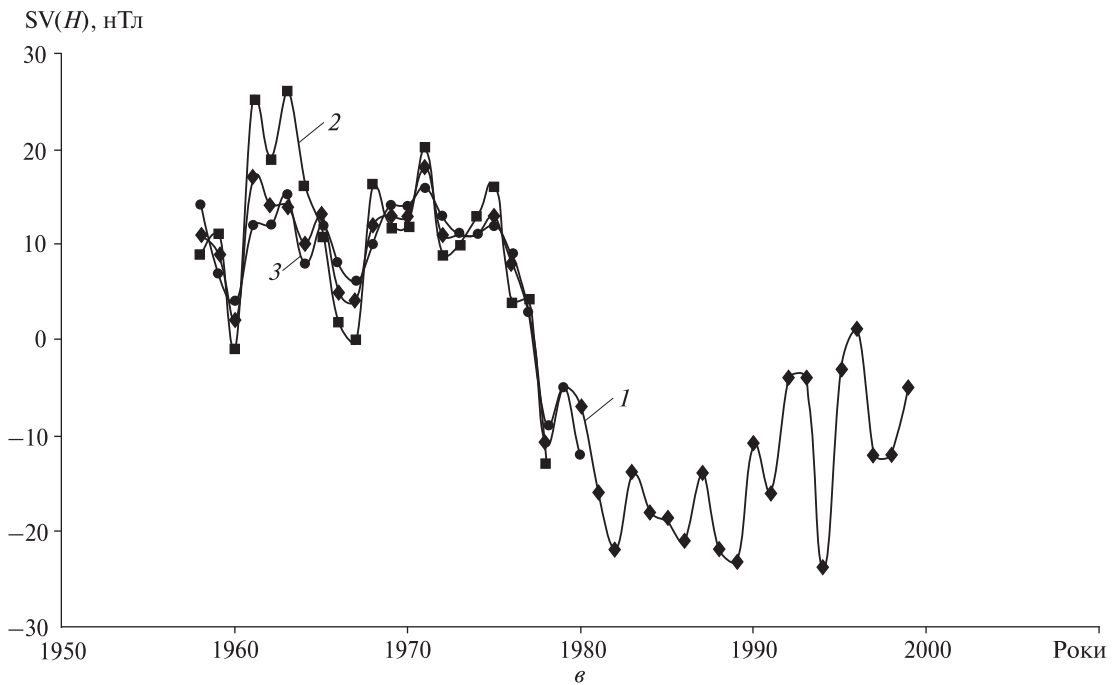
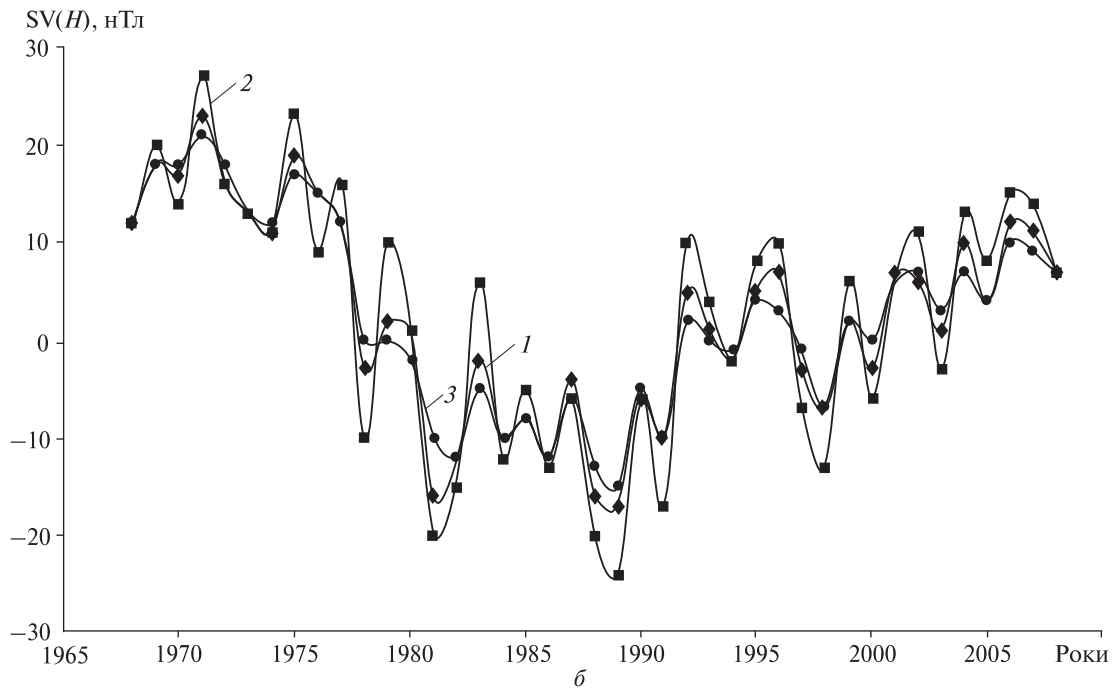
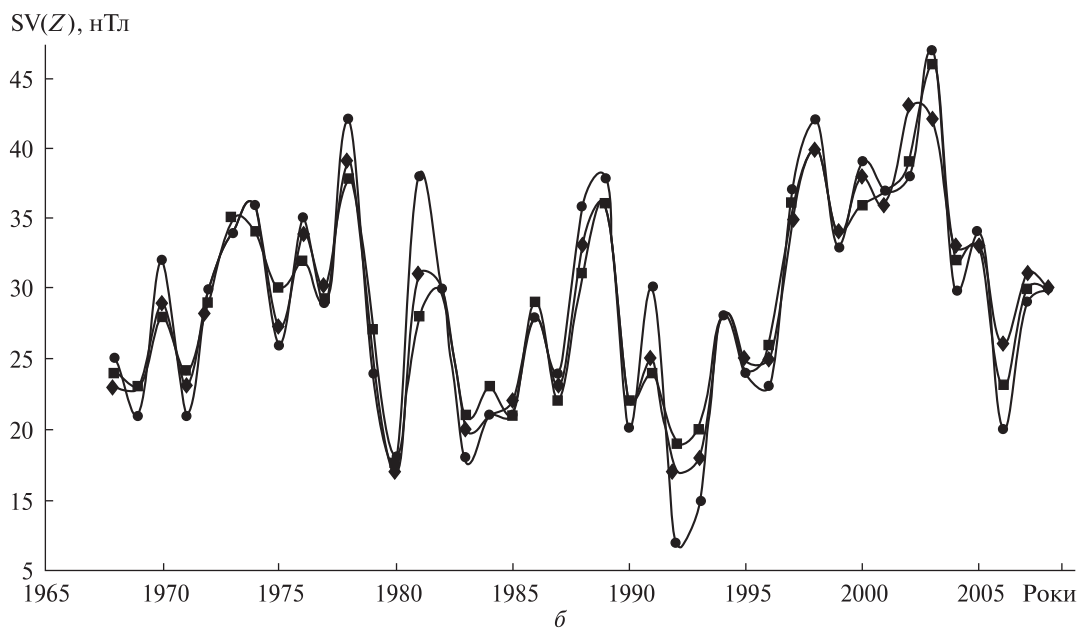
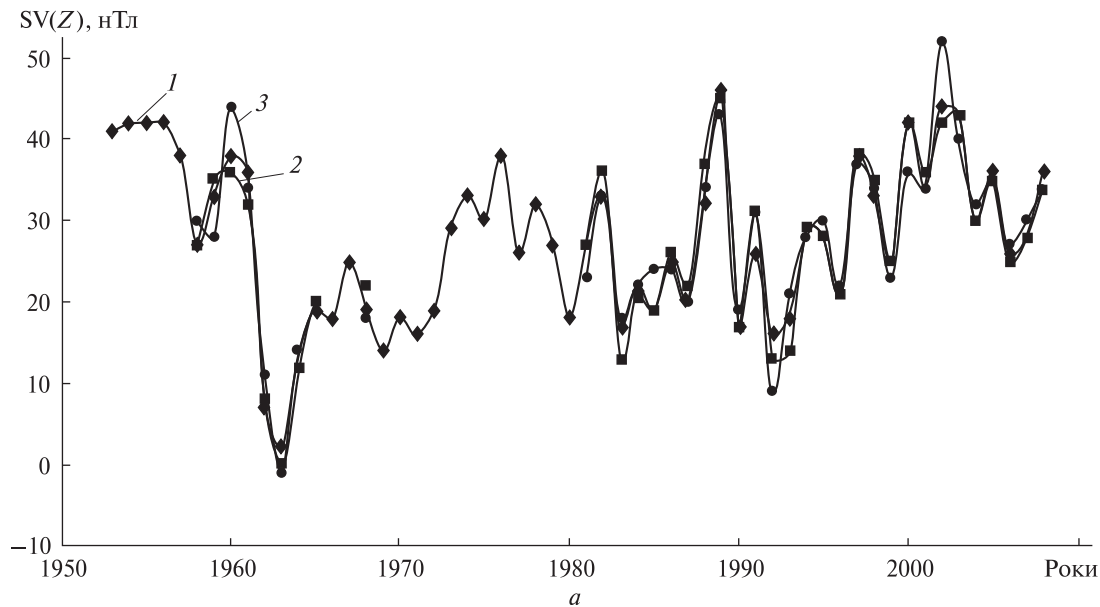


Рис. 2. Варіації $SV(H)$ на магнітних обсерваторіях «Львів» (а), «Бельськ» (б), «Ленінград» (в) по всіх днях (лінія 1), по спокійних днях (лінія 3), по збурених днях (лінія 2)



до зміни процесів, які генерують як магнітне поле Землі, так і його вікові варіації [4]. Зміна ротаційного режиму Землі виводить її із стану рівноваги (геоізостазії), а намагання відтворення ізоостазії, яка відповідає новому ротаційному режиму, веде як до виникнення і нагромадження планетарних напружень в тектоносфері [5], так і до зміни геомагнітного поля. Таким чином, можна припустити, що зовнішні поля впливають

і безпосередньо на величину SV-варіацій, і на внутрішні джерела, які генерують ці варіації.

Розділення SV на складові від зовнішніх і внутрішніх джерел дуже складна задача, оскільки вони змінюються як у часі, так і в просторі [8]. Вікові варіації мають періодичний характер; виділяються періоди від одного до кількох сотень років. Для визначення довгоперіодних складових ще немає надійних даних про хід елементів

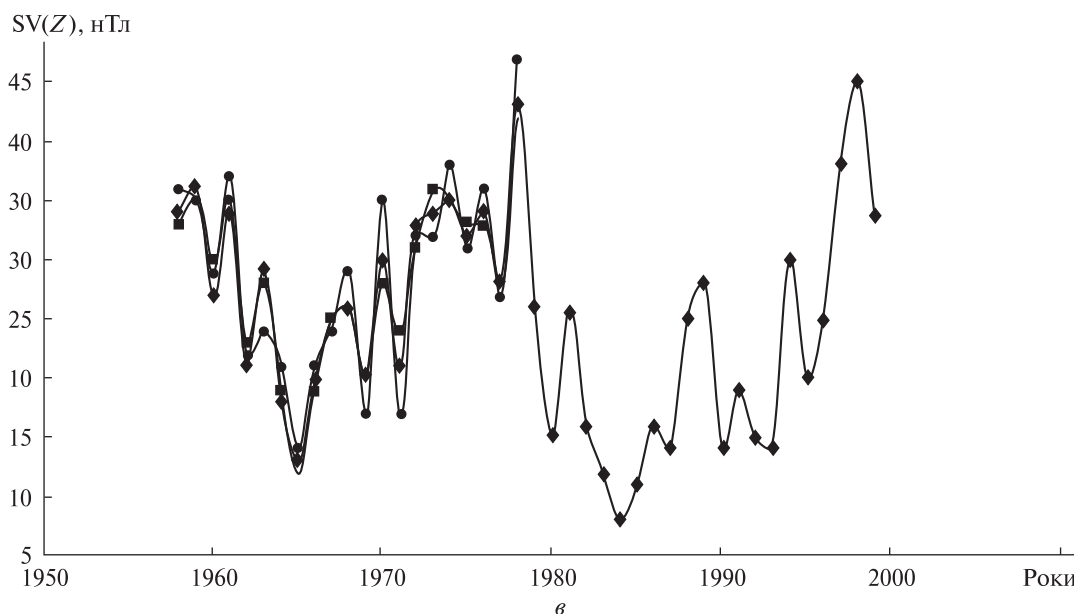


Рис. 3. Те ж для варіації $SV(Z)$

поля, бо регулярні спостереження поля ведуться лише кілька сотень років. Тому в даній роботі було досліджено тільки короткоперіодні варіації. Були використані середньорічні значення горизонтальної і вертикальної складових поля по всіх спокійних (Q) та збурених (D) днях за 1954—2008 рр., отримані на магнітних обсерваторіях «Львів» (LVV), «Бельськ» (BEL) та «Ленінград» (LNN). Географічні координати обсерваторій показані в таблиці. До 1978 р. дані опубліковані в роботі [1], а для наступних років — на сайті <http://www.geomag.bgs.ac.uk>.

На рис. 1 показано в географічних координатах розподіл змін $SV(H)$ на поверхні Землі в 1975 р. при різкому зменшенні геомагнітної активності (мінімум сонячної активності спостерігався в 1976 р.). Геомагнітна активність виражена середньою за рік добовою сумою K_p -індексу (ΣK_p). При $\Delta \Sigma K_p = -4.2$ на більшості середньопівнічних обсерваторій і в субавроральних зонах обох півкуль значення $\Delta SV(H)$ змінюються від 2 до 14 нТл (цифри біля точок, якими показано положення обсерваторій). Серед європейських обсерваторій виділяється румунська обсерваторія Сурларь (на рис. 1 відмічена хрестиком). Значення $\Delta SV(H)$ на цій обсерваторії значно більше, ніж на навко-

Магнітні обсерваторії та їхні координати

Назва	Код	Широта ϕ , град	Довгота λ , град
Ленінград	LNN	59.95	30.70
Бельськ	BEL	52.80	21.80
Львів	LVV	49.90	23.75

лишніх обсерваторіях (19 нТл). Можна виділити два регіони, де $\Delta SV(H) < 0$ при $\Delta \Sigma K_p < 0$, на рис. 1 вони окреслені штриховими лініями. Це північ Індостану та середньо- і низькоширотний район басейну Атлантичного океану. Найбільш імовірно, такі відхилення пов'язані з локальними особливостями підстильних поверхонь. Є велика область на поверхні Землі, в якій чутливість $\Delta SV(H)$ до змін $\Delta \Sigma K_p$ дуже велика. В 1975 р. значення $\Delta SV(H)$ у цій області змінюються від 11 до 28 нТл. На рис. 1 ця область окреслена суцільною лінією. Вона охоплює прибережні обсерваторії і обсерваторії, розміщені на островах, а також регіон Бразильської магнітної аномалії.

На рис. 2 показані зміни вікової варіації H -складової поля на магнітних обсерваторіях «Львів» (а), «Бельськ» (б) і «Ленінград» (в) від

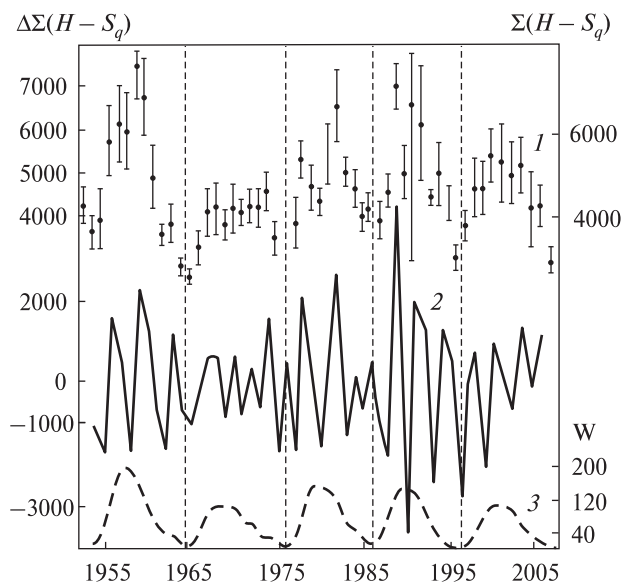


Рис. 4. Середньорічні значення $\Sigma(H - S_q)$ на обсерваторії «Львів» та їхня дисперсія (1), квазидворічні варіації (2) та числа Вольфа (3) за 1954—2006 рр.

1958 до 2008 рр. для всіх днів (лінія 1), спокійних днів (лінія 3) та збурених днів (лінія 2) кожного року. Можна бачити короткоперіодні та довгоперіодні варіації. Амплітуди короткоперіодних варіацій зростають від Ленінграда до Львова і найбільше — для збурених днів. Довгоперіодні варіації змінюються як квазисинусоїда для даного інтервалу часу. Для впевненого висновку про довгоперіодні варіації необхідні довші ряди спостережень. В даний інтервал часу вкладається тільки одне коливання.

На рис. 3 показані вікові варіації вертикальної складової $SV(Z)$ на тих же обсерваторіях та за цей же інтервал часу, позначення ті самі. Амплітуди короткоперіодних $SV(Z)$ також більші для збурених днів, аніж для спокійних днів, причому для Львова явище виражене найкраще. Не спостерігається зростання амплітуд короткоперіодних $SV(Z)$ від Львова до Ленінграда. Очевидно, це пов'язано з тим, що різниця широт обсерваторій всього 10° . Порівняння рис. 2 і 3 показує, що $SV(H)$ і $SV(Z)$ змінюються у протифазі, крім того, можна побачити квазидворічні варіації.

Квазидворічні варіації виявлені у варіаціях геомагнітного поля в середніх широтах [3]. На

рис. 4 взятому з роботи [3], показано середньомісячні значення суми $\Sigma(H - S_q)$ відхилень горизонтальної складової поля за дані роки на магнітній обсерваторії «Львів» від спокійного рівня поля з їхнім стандартним відхиленням (фрагмент 1) за 1954—2006 рр. За спокійний рівень S_q взято добовий хід цієї ж складової, усереднений по п'яти міжнародно-спокійних днях за кожен місяць. Крива 2 — квазидворічні варіації активності $\Delta\Sigma(H - S_q)$, обчислені по методиці [7]. Крива 3 показує зміну середньорічних чисел Вольфа.

Порівняння рис. 2 і 4 показує, що $SV(H)$ та $\Delta\Sigma(H - S_q)$ змінюються у протифазі і добре корелюють. Це дає підставу говорити, що короткоперіодні зміни вікової варіації пов'язані із сонячною, а значить і з геомагнітною активністю. Однак у роботі [2] вказується, що квазіперіодичні флуктуації швидкості вікового ходу дипольного поля — це проявлення коливань в структурі систем струмів, які генерують дипольне поле. Таким чином, однозначно сказати, що короткоперіодні варіації SV генеруються тільки зовнішніми джерелами, не можна. Напевне, в їхній генерації беруть участь і внутрішні джерела, на які впливають зовнішні чинники.

ВИСНОВКИ

Спостерігаються короткоперіодні та довгоперіодні вікові варіації геомагнітного поля Землі, пов'язані з сонячною активністю. Для впевненого висновку про зв'язок довгоперіодних SV -варіацій із сонячною активністю необхідні довгі часові ряди спостережень.

Амплітуди короткоперіодних $SV(H)$ -варіацій найбільші для D -днів, а також зростають із зменшенням широти обсерваторії. Амплітуди $SV(Z)$ -варіацій також максимальні для D -днів. Варіації $SV(H)$ та $SV(Z)$ змінюються у протифазі.

На прибережних та островних обсерваторіях, а також в районі магнітних аномалій, явище залежності SV -варіацій від сонячної активності підсилюється.

Збіг по фазі короткоперіодних SV , обчислених по спокійних і збурених днях, показує, що в їхній генерації беруть участь і внутрішні джерела.

1. Головков В. П., Коломийцева Г. И., Коняшенко Л. П., Семенова Г. М. Каталог среднегодовых значений элементов геомагнитного поля мировой сети магнитных обсерваторий. — М.: ИЗМИРАН, 1983. — Вып. 16. — 342 с.
2. Ладьнин А. В., Попова А. А. Квазипериодические флуктуации скорости векового хода геомагнитного поля по данным мировой сети обсерваторий за 1985—2005 гг. // Геология и геофизика. — 2008. — **49**, № 12. — С. 1262—1273.
3. Сумарук П. В., Сумарук Т. П. Квазідворічні варіації магнітного поля Землі в середніх широтах // Доп. Національної академії наук України. — 2009. — № 1. — С. 114—116.
4. Тяпкин К. Ф. Новая ротационная модель магнитного поля Земли // Геофиз. журн. — 1996. — **18**, № 1. — С. 30—37.
5. Тяпкин К. Ф. Достижения кафедры геофизических методов разведки Национального горного университета в области науки и образования за последние 10 лет (1998—2008) // Геофиз. журн. — 2009. — **31**, № 3. — С. 146—154.
6. Яновский Б. М. Земной магнетизм. — Л.: Изд-во Ленинград. ун-та., 1978. — 592 с.
7. Ivanov-Kholodny G. S., Chernoprud V. Ye. Analysis of the extrema of quasi-biennial variations of the solar activity // Astron. Trans. — 1992. — **3**, N 1. — P. 81—84.
8. Manda M. How well is main — field secular variations known? // Contribs Geophys. and Geodesy. — 2001. — **31**, N 1. — P. 233—243.
9. Sumaruk P. V., Feldstein Ya. I., Porchkhidze Ts. Geomagnetic variation at geomagnetic poles // Phys. Solariterrestris. — 1980. — N 2. — P. 70—78.

Надійшла до редакції 01.10.09

P. V. Sumaruk, T. P. Sumaruk

SOLAR ACTIVITY AND GEOMAGNETIC FIELD SECULAR VARIATIONS

Some changes of the geomagnetic secular variations are investigated from data obtained at the middle-latitude magnetic observatories «Lviv», «Belsk», and «Leningrad». It is shown that short-period variations are generated by external sources and the values of these variations depend on the solar and geomagnetic activities. It is suggested that some part of the short-period variations is generated by internal sources.