

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ІНТЕНСИВНОСТІ СОНЯЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТА СТАТИСТИЧНОЇ СТРУКТУРИ ПОЛІВ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ

Бургаз О.А.

Одеський державний екологічний університет

Показані особливості впливу сонячної активності на формування полів загального вмісту озону. Визначені статистично значущі періоди взаємодій між головними компонентами полів загального вмісту озону та часовими послідовностями чисел Вольфа, що являються параметрами сонячної активності.

Ключові слова: загальний вміст озону, числа Вольфа, головні компоненти.

Постановка проблеми. У другій половині 1980-х років спочатку в наукових журналах і на конференціях, а потім і в газетах, науково-популярних і суспільно-політичних журналах з'явилися повідомлення про виникнення – озонової «діри» в Антарктиці, що супроводжувалися інтенсивною дискусією як науковою, так і «не науковою». Ці повідомлення, доповнені багатьма чутками, привернули увагу широких мас до проблем атмосферного озону, що давно вже турбував учених і фахівців. Проблеми озону, що відносяться до сучасних глобальних проблем, настільки актуальні, що останніми роками прийнятий ряд міжнародних угод, направлених на їх рішення, – перших в історії людства загальносвітових угод по охороні атмосфери.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Численні дослідження у галузі сонячно-земних зв'язків свідчать про те, що існують статистично значущі кореляційні зв'язки між сонячною активністю та характеристиками погоди і клімату [1-4].

Коли розглядаються сонячно-земні зв'язки, то найбільш привабливою гіпотезою виявляється гіпотеза про те, що чинником впливу процесів на Сонці є змінення сонячної сталої I^*_o . Однак, як показали спостереження, сонячна стала змінюється на 0,075% у границях від 1,322 до 1,428 КВт·м². Такі значення її у цих границях порівняні з точністю вимірювань. Тому вважають, що $I^*_o = const$. Глобальна кількість сонячного випромінювання на верхній границі атмосфери складає, якщо прийняти альбедо Землі як планети $a = 0,28$,

$$I = \pi r^2 I^*_o (1-a) = 8,9 \cdot 10^{16} \text{ Вт.}$$

де r – радіус верхньої межі атмосфери.

Коливання сонячної сталої у зазначених межах не можуть внести помітного внеску в баланс енергії сонячного випромінювання на верхній границі атмосфери. Тому така гіпотеза не має підстави, оскільки промениста енергія Сонця, яка надходить до поверхні Землі, значно менша енергії УФ і рентгенівського випромінювання, сонячного вітру та сонячних корпускулярних потоків.

Загальний потік енергії який досягає магнітосфери, складає $8,9 \cdot 10^{16}$ Вт. Як показано [5], повна енергія сонячного вітру й міжпланетного магнітного поля, що надходить на верхню границю атмосфери у одиницю часу з урахуванням того, що під дією екрануючого впливу геомагнітного поля на Землю проникає менше 1% енергії, може бути розраховано за формулою [5]

$$P_e = \left[\pi r_m^2 \left(0,5 \delta V_s^2 + \frac{B^2}{2\mu_0} \right) V_s \right] \cdot 10^{-2} = 5 \cdot 10^{10} \text{ Вт}$$

де r_m – радіус магнітосфери, V_s – швидкість сонячного вітру, δ – густина потоку сонячного вітру, B – напруженість міжпланетного магнітного поля.

Видно, що $P_e/I \approx 10^{-6}$. Звичайно така величина потоку енергії P_e недостатня для збурення або пере-

творення атмосферної циркуляції після її проникнення в мезосферу, стратосферу і тропосферу. Але, як показується в роботах [5-9] з урахуванням додаткових факторів потік корпускулярного випромінювання може бути стимулом, який чинить вплив на атмосферні процеси. Це обумовлює наступна гіпотеза [5-9].

Середня річна кількість променистої енергії, яка надходить на приполюсні області, складає 0,4 від її значення на екваторі. В нічний бік Землі, а також взимку на денний бік у області полярних шапок промениста енергія взагалі не надходить. Але у високих широтах заряджені частки можуть легко проникнути у густі шари атмосфери через хвіст магнітосфери. Оцінки, які наводяться у роботі [5], показують, що з урахуванням того, що корпускулярна та магнітна енергія надходить через вузьку приполюсну широтну зону біля зони полярних сьвів (авроральний овал), то доля цієї енергії досить значна. Дійсно, якщо прийняти ширину цього овалу, центр якого розташовується на 84° широти, у 10° то його площа на боці Землі, що освітлюється Сонцем, складає $9,35 \cdot 10^6$ км². На цю площу необхідно помножити сонячну сталу у попередній формулі, а також на $\cos \varphi = 0,42$, що враховує кут падіння променів на горизонтальну площину. Якщо враховувати, що взимку сніговий покрив й хмарність можуть збільшити альбедо до $a = 0,9$, то потік променистої енергії для цієї частини земної поверхні у одиницю часу складає $5 \cdot 10^{14}$ Вт.

З іншого боку, при інтенсивній магнітній бурі енергія, яка накопичується у хвості магнітосфери і складає біля 10^{18} Дж, переходить у верхні шари атмосфери за 10^4 с, тобто біля трьох діб. Отже у вузькому поясі дисипується енергія близько 10^{14} Вт. На нічній стороні Землі енергія сонячного вітру достатня, щоб чинити вплив на атмосферу, особливо у зимовий період. Отже, якщо потік цієї енергії ефективно направлений, то магнітосфера володіє ресурсами, які можуть чинити вплив на циркуляцію атмосфери. Повної ясності відносно механізму передачі цієї енергії ще немає. Але є підстави вважати, що дисипація цієї енергії у мезосфері й стратосфері призведе до підвищення температури в області аврорального овалу, що повинно чинити вплив на циркуляцію повітря у стратосфері. Дослідження останніх років свідчать про те, що між стратосферою й тропосферою, як показали чисельні розрахунки [10], в області добре розвинуеного циклону існують канали обміну повітрям. Можливо по цих каналах й відбувається перенос зазначеної енергії в тропосферу.

Важливу роль в утворенні або дисипації молекул озону верхньої атмосфери відіграють фотохімічні процеси. Ці реакції відбуваються за рахунок поглинання квантів сонячної енергії у короткохвильовому діапазоні спектру випромінювання. Інтенсивність смуг поглинання у цьому спектрі залежить

від процесів, які мають місце в атмосфері Сонця, тобто від сонячної активності. Остання, у свою чергу характеризується процесами утворення систем сонячних плям. Параметром, який характеризує сонячну активність, являються числа Вольфа. Отже виникає питання, у якій мірі сонячна активність чинить вплив на характеристики статистичної структури полів загального вмісту озону (ЗВО). Як відомо, основна частина концентрації ЗВО приходить на озоносферу, а тому структура його полів залежить саме від стратосферного озону.

Матеріали і методи дослідження. У якості параметрів сонячної активності будемо використовувати середньомісячні значення чисел Вольфа [11], а у якості характеристик полів загального вмісту озону – головні компоненти середньомісячних полів ЗВО у Західному секторі південної півкулі, а саме для сектора обмеженого координатами $0 \leq \lambda \leq 120^\circ$ зах. д., $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$ півд. ш. [12].

У якості методу дослідження взаємозв'язків між параметрами сонячної діяльності та циркуляційних процесів, був використаний метод взаємного спектрального аналізу [13].

Характер взаємозв'язку між двома випадковими функціями визначають взаємна коваріаційна – $K_{xy}(t_i, t_j)$ та взаємна кореляційна – $R_{xy}(t_i, t_j)$ функції.

Для системи випадкових процесів розглядаються взаємні спектральні щільності $S(x_i, x_j)(\omega)$, які є перетвореннями Фур'є від відповідних взаємних коваріаційних функцій. Взаємна спектральна щільність є функцією комплексною

$$S_{x_i x_j}(\omega) = C_{x_i x_j}(\omega) - iQ_{x_i x_j}(\omega), \quad (1)$$

де: $C_{x_i x_j}(\omega)$ – ко-спектр, $Q_{x_i x_j}$ – квадратурний спектр.

Ко-спектр характеризує розкладання по частотах енергії синхронної взаємодії процесів $X_i(t)$ та $X_j(t)$. Квадратурний спектр характеризує розподіл по частотах енергії несинхронної взаємодії процесів $X_i(t)$ та $X_j(t)$.

Модуль взаємної спектральної щільності

$$|S_{x_i x_j}(\omega)| = \sqrt{C_{x_i x_j}^2(\omega) + Q_{x_i x_j}^2(\omega)} \quad (2)$$

називають амплітудним спектром, а функцію

$$\psi_{x_i x_j}(\omega) = \arctg \left[\frac{Q_{x_i x_j}(\omega)}{C_{x_i x_j}(\omega)} \right], \quad (3)$$

фазовим спектром.

Фазовий спектр визначає відставання по фазі процесу $X_j(t)$ від процесу $X_i(t)$ за умови, що величину $\psi_{x_i x_j}(\omega)$ вважають додатною від 0° до 180° і відставання $X_i(t)$ від $X_j(t)$, якщо фазовий спектр є від'ємним, тобто розташовується в межах від 180° до 360° [13].

Щоб перейти до одиниць часу використовують формулу:

$$\psi_{x_i x_j}^\tau(\omega) = \frac{T_k}{360^\circ} \psi_{x_i x_j}^o(\omega), \quad (4)$$

де $\psi_{x_i x_j}^o(\omega)$ – зсув фаз між двома процесами в градусах; T_k – період коливання в одиницях часу, який відповідає частоті ω_k і розраховується як

$$T_k = \frac{N_1 \Delta t}{k}, \quad (5)$$

де $N_1 = 2^m$, $m = 1, 2, 3, \dots$

При частотному зображенні процесів з'являється можливість порівняти взаєм-

ну енергію на фіксованій частоті з енергіями кожного з процесів на цій же частоті за допомогою такого співвідношення:

$$\gamma(\omega) = \sqrt{\frac{C_{x_i x_j}^2(\omega) + Q_{x_i x_j}^2(\omega)}{S_{x_i}(\omega) S_{x_j}(\omega)}}. \quad (6)$$

Дана величина має сенс спектрального коефіцієнта взаємної кореляції процесів $X_i(t)$ та $X_j(t)$, який визначає тісноту кореляційного зв'язку між цими процесами на фіксованих частотах. Вона має назву когерентності й може приймати значення від 0 до 1 [13].

Виклад основного матеріалу. Для того щоб дати відповідь у якій мірі сонячна активність чинить вплив на характеристики статистичної структури полів загального вмісту озону, було проведено взаємний спектральний аналіз між статистичними послідовностями середньомісячних значень чисел Вольфа й головними компонентами середньомісячних полів ЗВО у Західному секторі південної півкулі за період з вересня 1957 по серпень 2002 року. Таким чином ряди даних складають по 540 членів.

Амплітудні спектри часових послідовностей чисел Вольфа та перших трьох головних компонент полів ЗВО наводяться на рис. 1-3.

Сумісний аналіз амплітудного спектру й когерентності показує, що значна кількість великих значень когерентності, які характеризують значний кореляційний зв'язок між коливаннями чисел Вольфа й го-

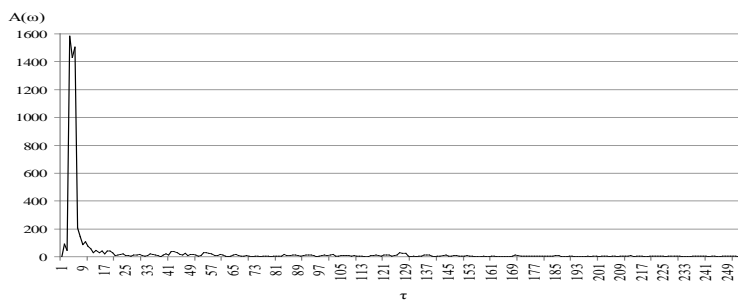


Рис. 1. Амплітудний спектр взаємної спектральної щільності чисел Вольфа та першої головної компоненти ЗВО

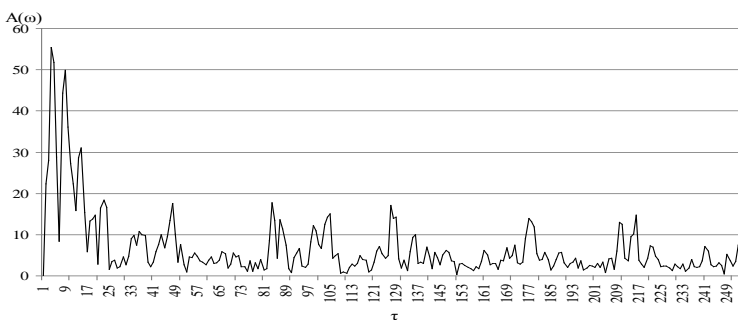


Рис. 2. Амплітудний спектр взаємної спектральної щільності чисел Вольфа та другої головної компоненти ЗВО

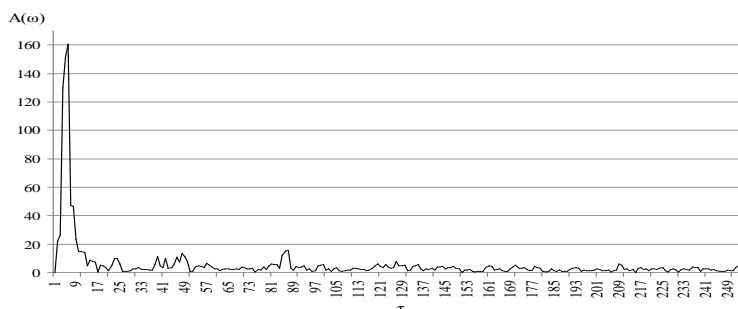


Рис. 3. Амплітудний спектр взаємної спектральної щільності чисел Вольфа та третьої головної компоненти ЗВО.

ловних компонент полів ЗВО сполучені з незначними взаємними енергіями цих коливань. Тому при аналізі взаємодії зазначених процесів розглядалися лише ті випадки, коли високим значенням когерентності $\gamma(\omega)$ відповідають частинні максимуми (сплески) енергії взаємодій, тобто амплітудного спектру $A(\omega)$.

Результати характеристик взаємного спектрального аналізу за таких умов, а саме періоди взаємодій, амплітуди, когерентності й зсуви за фазою представлені в табл. 1-3 для чисел Вольфа й трьох головних компонент полів ЗВО у західному секторі південної півкулі, які характеризують основні великомасштабні особливості полів ЗВО.

Таблиця 1
Характеристики взаємозв'язків між числами Вольфа і першою головною компонентою ЗВО

№ з/п	T_k , місяць	T_k , рік	$A(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$\psi(\omega)$, град.	ψ , місяць	ψ , рік
1	128,00	10,67	1583,4	0,72	337,27	119,9	10,0
2	85,33	7,11	1506,9	0,88	347,77	82,4	6,9
3	12,80	1,07	20,9	0,73	43,28	1,5	0,1
4	5,17	0,43	12,7	0,96	145,76	2,1	0,3
5	3,56	0,30	10,6	0,87	176,85	1,7	0,1
6	2,49	0,21	4,2	0,97	102,64	0,7	

Таблиця 2
Характеристики взаємозв'язків між числами Вольфа і другою головною компонентою ЗВО

№ з/п	T_k , місяць	T_k , рік	$A(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$\psi(\omega)$, град.	ψ , місяць	ψ , рік
1	45,55	3,88	27,25	0,88	117,1	15,1	1,3
2	21,33	1,78	16,60	0,82	158,41	9,4	0,8
3	11,64	0,97	9,99	0,97	4,47	0,1	
4	6,10	0,51	17,81	0,89	50,2	0,8	
5	4,88	0,41	15,00	0,97	40,8	0,6	
6	3,48	0,29	6,24	0,89	165,6	1,6	
7	2,02	0,17	10,14	0,96	108,5	0,6	

Як видно з табл. 1, мають місце взаємодії з великими значеннями когерентності й енергії взаємодії з періодами біля 11 років, що співпадає з відомими циклами сонячної активності, а також біля 7 років. Обидві ці взаємодії відбуваються майже у фазі. Крім того, спостерігаються річна, піврічна й сезонні взаємодії з невеликим зсувом за фазою, причому коливання сонячної активності випереджають коливання першої головної компоненти ЗВО, яка відбиває властивості найбільш великомасштабних особливостей статистичної структури полів ЗВО.

Таблиця 3
Характеристики взаємозв'язків між числами Вольфа і третьою головною компонентою ЗВО

№ з/п	T_k , місяць	T_k , рік	$A(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$\psi(\omega)$, град.	ψ , місяць
1	12,8	1,07	20,9	0,73	43,6	1,5
2	5,17	0,43	12,7	0,96	145,8	2,1
3	3,57	0,30	10,55	0,97	90,2	0,8
4	2,75	0,23	4,21	0,97	102,6	0,7
5	2,25	0,19	4,22	0,82	59,2	0,4

Статистичні характеристики взаємозв'язків чисел Вольфа та другої головної компоненти полів ЗВО у Західному секторі південної півкулі наводяться у табл. 2. Видно, що великі спектральні коефіцієнти кореляції у сполученні зі значними

взаємними енергетичними спектрами, притаманні лише відносно коротким періодам: квазічотирирох-дворічним періодам, річним піврічним й сезонним взаємодіям. У всіх випадках процеси на Сонці випереджають змінення другої головної компоненти, причому чотирирохрічне й дворічне коливання другої компоненти реагує на прояву сонячної активності з відставанням майже на один рік, а коливання річні, піврічні й сезонні, відстають від процесів на Сонці на 0,5-1,5 місяця.

Характеристики взаємодії між інтенсивністю сонячної активності й третьою головною компонентою полів ЗВО утримуються у табл. 3.

Із табл. 3 видно, що як і взаємозв'язки чисел Вольфа з другою компонентою, взаємодії сонячної активності з третьою головною компонентою припадають також на порівняно невеликі періоди взаємодії: річний, піврічний сезонний. Крім того, зсув за фазою складає теж для річного й піврічного періодів 1,5-2,0 місяця, а для менших періодів – менше місяця.

Доцільно нагадати, що, як було показано в [12], на другу й третю головні компоненти припадає майже однакова дисперсія й значно менша, ніж дисперсія першої компоненти. Таким чином, можна зробити висновок, що сонячна активність чинить вплив як на довгоперіодні змінення структури полів ЗВО у Західному секторі південної півкулі, про що свідчать наведені кореляційні зв'язки чисел Вольфа з першою головною компонентою полів ЗВО, так і на короткоперіодні змінення цих полів, що підтверджують наведені у табл. 2 і 3 статистичні зв'язки з другою і третьою головними компонентами, які віддзеркалюють характеристики збурень цих полів, що мають масштаб порівняний з масштабами атмосферних вихорів синоптичного масштабу.

Отримані взаємозв'язки між числами Вольфа й головними компонентами полів ЗВО у Західному секторі південної півкулі свідчать про те, що інтенсивність процесів на Сонці, що проявляється у фотосфері, хромосфері й сонячній короні, чинить безпосередній вплив на структуру полів загального вмісту озону.

Числа Вольфа, які відбивають загальну кількість сонячних плям у фотосфері Сонця, звичайно не можуть розглядатися у якості безпосередніх чинників змінення структури полів ЗВО чи якихось інших параметрів атмосфери. Вони характеризують лише загальну інтенсивність процесів на Сонці. Як вже зазначалось вище, поля концентрацій озону формуються під дією фотохімічних реакцій, а також озонобіном, обумовленого циркуляційними чинниками.

Висновки. Між числами Вольфа і першою головною компонентою полів ЗВО існують взаємодії з великими значеннями когерентності й енергії взаємодії з періодами біля 11 та 7 років, що відбуваються майже у фазі. Крім того, спостерігаються річна, піврічна й сезонні взаємодії, причому коливання сонячної активності випереджають коливання першої головної компоненти ЗВО.

Взаємодії сонячної активності та другої головної компоненти середньомісячних полів ЗВО характеризуються квазічотирирох-дворічним періодами, річним піврічним й сезонним взаємодіями. У всіх випадках процеси на Сонці випереджають змінення другої головної компоненти полів озону.

Взаємозв'язки чисел Вольфа з третьою головною компонентою припадають на порівняно невеликі періоди взаємодії: річний, піврічний сезонний. Крім того, зсув за фазою складає для річного й піврічного періодів 1,5-2,0 місяця, а для менших періодів – менше місяця.

Список літератури:

1. Монин А. С. Введение в теорию климата / А. С. Монин – Л.: Гидрометиздат, 1982 – 246 с.
2. Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата / А. С. Монин, Ю. А. Шишков // – Л.: Гидрометиздат, 1979 – 408 с.
3. Караханян А. А. Долговременные изменения атмосферной циркуляции и климата на территории Сибири / А. А. Караханян // Оптика атмосферы и океана – 2005. – Т. 18, № 12. – С. 1104-1106.
4. Караханян А. А., Жеребцов Г. А. и др. Долговременные изменения характеристик влажности воздуха на территории Северного полушария во второй половине XX века / А. А. Караханян, Г. А. Жеребцов и др. // Оптика атмосферы и океана – 2007. – Т. 20, № 6. – С. 559-566.
5. Бахмутов В. Г. Палеогеомагнитные вариации / В. Г. Бахмутов – Киев: Наукова думка – 2006 – 295 с.
6. Bucha V. Influence of solar activity / V. Bucha // Anal. Geophys. – 1988. – 6(5). – P. 513-524.
7. Bucha V. Influence of corpuscular radiation on changes in the middle atmosphere and troposphere / V. Bucha // Adv. Space Res. – 1988. – 8, № 2. – P. (7) 205 – (4) 210.
8. Bucha V. Bucha V. jr. Geomagnetic forcing of changes in climate and in the atmospheric circulation. / V. Bucha V. jr. Bucha // J. Atmosph. and Solar – Terrestrial Phys. – 1998, – 60, № 2 – P. 145-149.
9. Roberts W. O., Olson R. H. New evidence for effects of variable solar corpuscular emission on the weather / W. O. Roberts, R. H. Olson // Rev. Geophys. Space Phys. – 1973. – № 11. – 731 p.
10. Мартазинова В. Ф., Бахмутов В. Г., Чулков И. С. Геомагнитная активность и атмосферная циркуляция / В. Ф. Мартазинова, В. Г. Бахмутов, И. С. Чулков // Геофизический журнал. – 2004 – 26. № 1 – С. 96-108.
11. Служба даних СРС/NCEP [Електронний ресурс]. – Режим доступу до журналу <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysismonitoring>
12. Школьный Е. П., Бургаз А. А., Галич Е. А. Статистическая структура полей общего содержания озона в атмосфере западного сектора южного полушария / Е. П. Школьный, А. А. Бургаз, Е. А. Галич // Український гідрометеорологічний журнал – Одеса. – 2010. – № 6. – С. 35-53.
13. Школьный Е. П., Лосва І. Д., Гончарова Л. Д. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації / Е. П. Школьний, І. Д. Лосва, Л. Д. Гончарова // – Одеса, 1999. – 600 с.

Бургаз А.А.

Одесский государственный экологический университет

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И СТАТИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛЕЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА

Аннотация

Показаны особенности влияния солнечной активности на формирование полей общего содержания озона. Определены статистически значимые периоды взаимодействий между главными компонентами полей общего содержания озона и часовыми последовательностями чисел Вольфа, которые являются параметрами солнечной активности.

Ключевые слова: общее содержание озона, числа Вольфа, главные компоненты.

Burhaz O.A.

Odessa State Environmental University

FEATURES OF INTERACTION OF SOLAR ACTIVITY INTENSITY AND STATISTICAL STRUCTURE OF TOTAL OZONE FIELDS

Summary

The features of solar activity influence on the formation of total ozone fields are shown. The statistically meaningful intercommunication periods between the main components of total ozone fields and Wolf numbers time sequences, which are solar activity parameters, are determined.

Keywords: total ozone content, Wolf numbers, main components.