

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ПОЛІВ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ ТА ЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У СТРАТОСФЕРІ ЗАХІДНОГО СЕКТОРА ПІВДЕННОЇ ПІВКУЛІ

Показані особливості впливу циркуляційних процесів в стратосфері на формування полів загального вмісту озону. Визначені статистично значущі періоди взаємодій між головними компонентами полів геопотенціальних висот поверхні АТ – 50, що характеризують циркуляційні процеси в стратосфері західного сектора південної півкулі, та головними компонентами полів загального вмісту озону

Ключові слова: геопотенціал, загальний вміст озону, головні компоненти.

Загальна постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.

У численних роботах [1, 2] доведено, що змінення концентрацій озону залежить великою мірою від характеру циркуляційних процесів великого масштабу: інтенсивності переважаючої зональної циркуляції, циркуляції в області атмосферних вихорів – циклонів та антициклонів. Саме під дією цих чинників відбувається перенос озону із «тропічного резервуару», де переважними є фотохімічні процеси утворення озону, у високі широти, у тому числі у високі широти західного сектора південної півкулі. Тому є підстави розглянути особливості статистичних зв'язків між великомасштабними характеристиками полів загального вмісту озону (ЗВО) і полів висот геопотенціальної поверхні АТ – 50, що розташовується в озоносфері. Поля геопотенціалу у вільній атмосфері дають, як відомо, повну характеристику особливостей циркуляційних процесів.

У роботі [3] були розглянуті характеристики часових рядів першої, другої й третьої головних компонент полів геопотенціальних висот поверхні АТ – 50. Задача визначення взаємозв'язків між циркуляційними процесами у стратосфері й полями ЗВО у західному секторі південної півкулі полягає у вивченні цих статистичних зв'язків між головними компонентами полів геопотенціальних висот поверхні АТ – 50 з головними компонентами полів ЗВО.

Основні статистичні характеристики рядів першої, другої й третьої головних компонент полів ЗВО розглянуті у роботі [4].

Матеріали і методи дослідження. Для дослідження взаємозв'язків між полями загального вмісту озону та особливостями циркуляційних процесів у стратосфері будемо використовувати головні компоненти полів геопотенціальних висот поверхні АТ – 50 [3] та головні компоненти полів ЗВО [4].

У якості методу дослідження взаємозв'язків між параметрами сонячної діяльності та циркуляційних процесів, був використаний метод взаємного спектрального аналізу [5].

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, $Q_{x_i x_j}(\omega)$ – 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° [5].

Щоб перейти до одиниць часу використовують формулу

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

де $\psi_{x_i x_j}^\Pi(\omega)$ – 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 $N_1 = 2^m$, $m = 1, 2, \dots, 3 \dots$

При частотному зображенні процесів з'являється можливість порівняти взаємну 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 набирати значення від 0 до 1 [5].

Результати дослідження та їх аналіз. Під час дослідження розглядалися елементи спектральної щільності між кожною із головних компонент полів геопотенціальних висот з головними компонентами полів ЗВО. Увага приділялась тим взаємозв'язкам, які відзначалися відносно великими енергіями, тобто максимумами амплітудного спектра, з одного боку, і високими значеннями когерентності, з іншого. Для цих точок визначався зсув за фазою на основі фазового спектра.

На рис. 1 – 3 наводяться амплітудні спектри $A(\omega)$ для першої головної компоненти полів геопотенціальних висот поверхні АТ – 50 й першої, другої і третьої головних компонент полів ЗВО. Як видно, амплітудні спектри характеризуються наявністю ряду сплесків при відповідних періодах взаємодій.

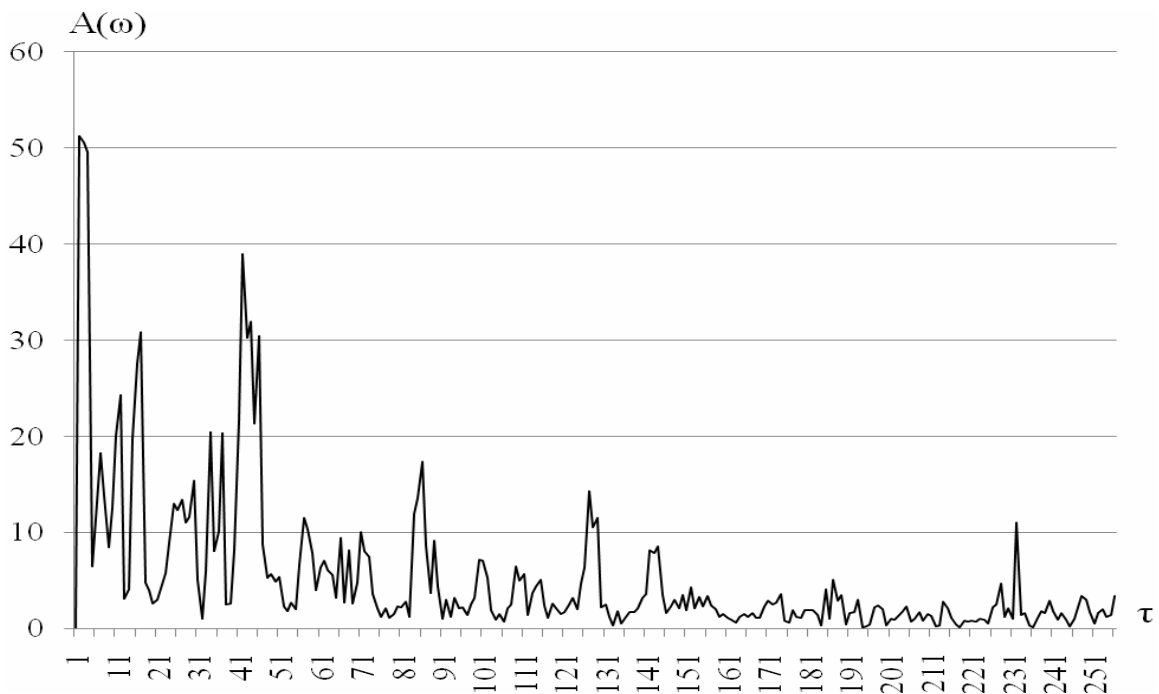


Рис. 1 – Амплітудний спектр першої головної компоненти геопотенціалу АТ – 50 та першої головної компоненти ЗВО.

В табл. 1 містяться періоди, для яких когерентність характеризується сплесками амплітудного спектра, тобто значними енергіями взаємодії між першою головною компонентою полів геопотенціальних висот АТ – 50 й першою головною компонентою полів ЗВО. Як відомо, перші головні компоненти віддзеркалюють найбільш великомасштабні характеристики структури цих полів.

З табл. 1 видно, що найбільш масштабною взаємодією між першими компонентами зазначених полів є квазідворічна взаємодія, яка відбувається синхронно, тобто одночасно в полях геопотенціальних висот АТ – 50 і полях ЗВО. Крім того, має місце річна взаємодія, причому великомасштабне зміння циркуляції випереджує зміння полів ЗВО на 2 місяця. Взаємодії часових масштабів порівняно з піврічним та

сезонним характеризуються тим, що великомасштабні коливання циркуляційних процесів дають реакцію на великомасштабні характеристики ЗВО через 10 – 20 діб.

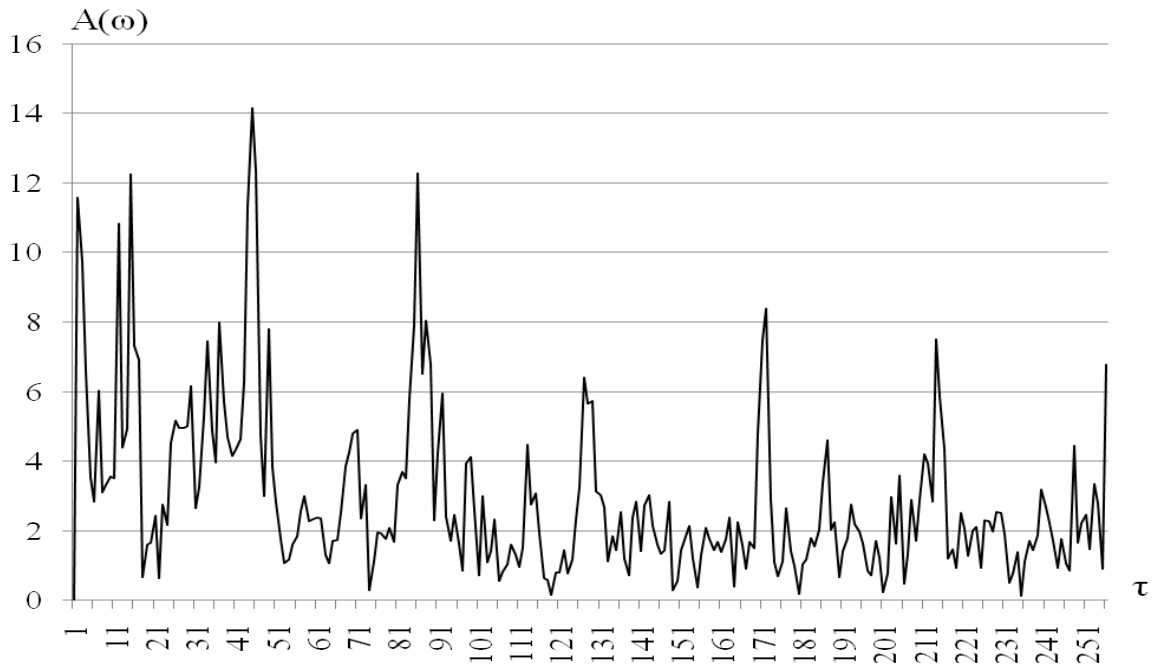


Рис. 2 – Амплітудний спектр першої головної компоненти геопотенціалу АТ – 50 та 2 головної компоненти ЗВО.

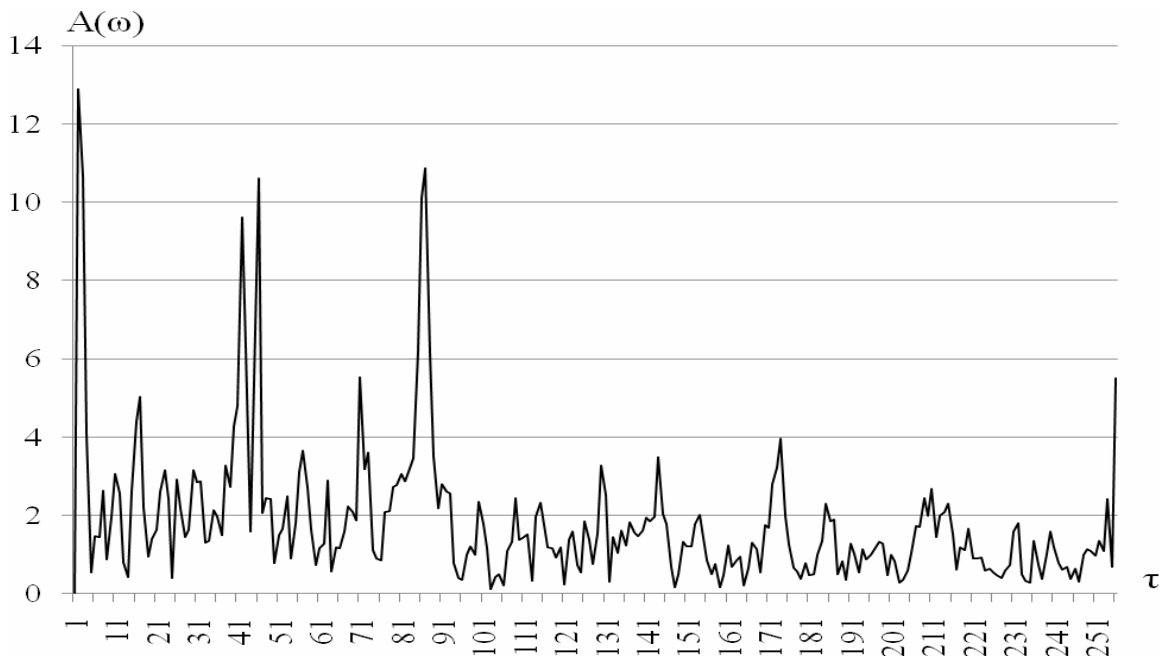


Рис. 3 – Амплітудний спектр першої головної компоненти геопотенціалу АТ – 50 та 3 головної компоненти ЗВО.

Взаємний спектральний аналіз між першою головною компонентою полів геопотенціальних висот АТ – 50 з одного боку, й другою та третьою головними компонентами полів ЗВО, з іншого, дасть можливість отримати уявлення про вплив

великомасштабних циркуляційних процесів у стратосфері західного сектора південної півкулі на формування порівняно маломасштабних структур полів ЗВО.

Таблиця 1 – Характеристики взаємозв'язків між першою головною компонентою полів геопотенціальних висот АТ – 50 і першою головною компонентою ЗВО

№ п/п	T_K , місяць	T_K , рік	$A(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$\psi(\omega)$, град.	ψ , місяць	ψ , рік
1	30,12	2,51	30,77	0,76	351,97	30,48	2,45
2	18,96	1,58	13,37	0,90	355,54	18,73	1,56
3	13,85	1,15	20,34	0,83	57,72	2,22	–
4	6,10	0,51	11,85	0,67	20,09	0,34	–
5	4,03	0,34	14,31	0,85	55,57	0,62	–
6	3,32	0,28	3,30	0,90	19,62	0,18	–

Сумісний аналіз амплітудних спектрів й когерентностей на зазначеній вище основі дають можливість визначити періоди взаємодій з великими значеннями когерентності й взаємного енергетичного спектра. Ці дані містяться у табл. 2

Таблиця 2– Характеристики взаємозв'язків між першою головною компонентою полів геопотенціальних висот АТ – 50 і другою головною компонентою ЗВО

№ п/п	T_K , місяць	T_K , рік	$A(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$\psi(\omega)$, град.	ψ , місяць	ψ , рік
1	128,09	10,67	6,60	0,95	208,1	73,9	6,2
2	42,67	3,56	10,84	0,87	109,4	13,8	1,1
3	11,38	0,95	14,15	0,86	328,1	10,4	0,9
4	7,53	0,63	3,86	0,85	170,8	3,5	–
5	5,39	0,45	2,64	0,82	47,9	0,7	–
6	2,63	0,22	1,99	0,82	1,92	0,01	–

Як видно з табл. 2, порівняно значну енергію має 11-річна взаємодія, різниця фаз між цими процесами становить близько 6 років, причому випереджує саме перша головна компонента полів геопотенціальних висот АТ – 50. Це свідчить про те, що великомасштабні циркуляційні процеси чинять вплив й на структуру полів ЗВО значно меншого масштабу.

Крім 11-річного взаємозв'язку, що збігається з 11-річним процесом сонячної діяльності, спостерігаються квазічотирирічна, річна, піврічна й сезонна взаємодії з відносно великими енергіями. Причому квазічотирирічний й річний взаємозв'язок проявляється у другій головній компоненті ЗВО, тобто у маломасштабних структурах відповідних полів із запізненням приблизно в один рік. Піврічний період взаємозв'язків характеризується зазначеними структурами полів ЗВО через 3 місяці, а сезонна компонента – майже синхронно або з відставанням приблизно у дві доби.

Що стосується взаємодії великомасштабних циркуляційних процесів з маломасштабними, які віддзеркалює третя компонента полів ЗВО, то відповідні дані наведені у табл. 3.

Порівняння табл. 2 й 3 показує, що у більшості випадків енергія взаємодій з другою головною компонентою полів ЗВО значно більша, ніж з третьою головною компонентою цих полів, що співпадає з різницею дисперсій цих компонент. Крім того

видно, що проявляється взаємодія з періодами близько 4 і 2 років, з відставанням від коливань великомасштабних циркуляційних процесів майже на один рік. Також, як і в попередньому випадку, існує взаємодія з річним, піврічним й сезонним періодами, причому змінення великомасштабної структури полів циркуляції випереджають у всіх випадках змінення структури полів ЗВО меншого масштабу.

Таблиця 3 – Характеристики взаємозв'язків між першою головною компонентою полів геопотенціальних висот АТ – 50 і третьою головною компонентою ЗВО

№ п/п	T_K , місяць	T_K , рік	$A(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$\psi(\omega)$, град.	ψ , місяць	ψ , рік
1	46,5	3,90	3,07	0,82	108,5	14,03	1,17
2	23,27	1,94	2,60	0,73	134,6	8,7	0,7
3	11,13	0,93	10,60	0,94	7,3	0,22	–
4	5,75	0,48	3,52	0,83	122,7	1,96	–
5	3,63	0,30	1,94	0,86	138,8	1,4	–

Таким чином, як свідчать одержані результати, великомасштабні циркуляційні процеси чинять вплив не тільки на формування характеристик полів ЗВО найбільших масштабів, але і на вихороподібні елементи цих полів.

Представляє інтерес розгляд питання, чи впливає друга головна компонента полів геопотенціальних висот поверхні АТ – 50, до якої відносяться великомасштабні вихрові процеси у стратосфері, на особливості статистичної структури полів ЗВО різного масштабу. Для одержання відповіді на це питання, було проведено взаємний спектральний аналіз цієї головної компоненти полів АТ – 50 з першою, другою й третьою головними компонентами полів ЗВО у західному секторі південної півкулі.

Сумісний аналіз когерентностей й амплітудного спектра дав можливість виділити ті періоди взаємозв'язку, коли взаємодія, маючи значення когерентності близьке до одиниці, характеризується відносним (порівняно з іншими періодами) максимумом енергії. Ці періоди взаємодії представлені у табл. 4.

Таблиця 4 – Характеристики взаємозв'язків між 2-ю головною компонентою полів геопотенціальних висот АТ – 50 і 1-ю головною компонентою полів ЗВО

№ п/п	T_K , місяць	T_K , рік	$A(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$\psi(\omega)$, град.	ψ , місяць	ψ , рік
1	128,0	10,67	48,19	0,94	169,5	60,3	5,0
2	64,0	5,33	11,42	0,84	166,5	33,8	2,8
3	27,0	2,30	6,82	0,84	106,0	7,9	0,7
4	12,5	1,04	9,82	0,76	135,7	4,7	0,4
5	6,17	0,51	2,55	0,86	129,2	2,2	–
6	3,51	0,29	2,43	0,96	74,5	0,7	–

Дані табл. 4 свідчать про те, що великомасштабна вихрова складова циркуляції в стратосфері чинить вплив на характер найбільш значної за масштабом структуру полів ЗВО у західному секторі південної півкулі, яку віддзеркалює перша компонента цих полів. Великою енергією взаємодії й значним кореляційним зв'язком характеризуються квазіюдинадцятирічний період, що збігається з періодом процесів на Сонці, а також квазіп'ятирічний період. У першому з них змінення циркуляційних процесів в стратосфері, що розглядаються, випереджають формування великомасштабної

компоненти полів ЗВО (першої головної компоненти) на п'ять років, а у другому періоді – на 3 роки.

Окрім зазначених великих періодів взаємозв'язків, наявність яких можна, мабуть пояснити проявами фотохімічних процесів, існує ряд відносно короткоперіодних взаємозв'язків. До них належать квазидворічна, річна, піврічна й сезонні взаємодії. Всі вони характеризуються відносно значними енергіями взаємодій, великими когерентностями. Необхідно відзначити той факт, що змінення вихрової компоненти циркуляційних процесів у стратосфері випереджають змінення великомасштабної структури полів ЗВО.

Характер взаємозв'язків між другою головною компонентою полів геопотенціальних висот й другою головною компонентою полів ЗВО у Західному секторі представлений у табл. 5.

Як видно з табл. 5, максимумами енергії взаємодії, на які припадають великі значення когерентності, значно менші, ніж енергії взаємодій між другою компонентою полів циркуляції й першою компонентою полів ЗВО, представлені в табл. 4. Це, очевидно, результат того, що дисперсія першої компоненти полів ЗВО на порядок більша за дисперсію другої компоненти полів АТ – 50. Треба звернути увагу на наявність взаємодії з одинадцятирічним періодом, квазірічної, піврічної і сезонної періодичностей. Привертає увагу те, що у всіх випадках флуктуації полів циркуляції випереджають флуктуації полів ЗВО.

Таблиця 5 – Характеристики взаємозв'язків між 2-ю головною компонентою полів геопотенціальних висот АТ – 50 і 2-ю головною компонентою полів ЗВО

№ п/п	T_K , місяць	T_K , рік	$A(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$\psi(\omega)$, град.	ψ , місяць	ψ , рік
1	128,0	10,67	2,98	0,76	126,4	44,9	3,8
2	17,07	1,42	2,30	0,90	28,7	1,4	–
3	10,67	0,89	4,49	0,85	57,5	1,7	–
4	5,63	0,47	1,96	0,86	68,8	1,1	–
5	3,30	0,28	0,72	0,82	46,8	0,6	–

Цікаві взаємозв'язки виявляються між другою компонентою полів геопотенціальних висот АТ – 50 і третьою компонентою полів ЗВО. Вони наводяться в табл. 6.

Дані табл. 6 свідчать про те, що значні за взаємною енергією й когерентністю взаємозв'язки спостерігаються на періодах, які збігаються з періодами сонячної активності і що еволюції полів геопотенціалу, яка відбиває циркуляції в стратосфері відносно малого масштабу, випереджають еволюцію полів ЗВО відповідно на 8 і 5 років. Крім цих довгоперіодних взаємодій, спостерігаються ще взаємозв'язки між циркуляційними процесами зазначеного масштабу на періодах близько 5 років, річна, піврічна й сезонна взаємодії з великими коефіцієнтами кореляцій й відносно значними енергіями. Короткоперіодні взаємозв'язки є майже синхронними.

Стосовно зв'язків між третьою головною компонентою полів геопотенціальних висот поверхні АТ – 50, то вони подібні до розглянутих вище. Це пояснюється тим, що ці обидві компоненти дають майже однаковий невеликий, порівняно з першою головною компонентою, внесок у сумарну дисперсію полів.

Таблиця 6 – Характеристики взаємозв'язків між 2-ю головною компонентою полів геопотенціальних висот АТ – 50 і 3-ю головною компонентою полів ЗВО

№ п/п	T_k , місяць	T_k , рік	$A(\omega)$	$\gamma(\omega)$	$\psi(\omega)$, град.	ψ , місяць	ψ , рік
1	256,0	21,35	7,75	0,96	134,0	95,3	8,0
2	128,0	10,67	4,17	0,91	166,3	59,1	4,8
3	64,0	5,33	4,05	0,95	141,9	25,2	2,1
4	17,07	1,42	1,08	0,92	56,9	2,7	–
5	5,57	0,46	1,59	0,78	53,5	0,8	–
6	4,23	0,35	1,14	0,82	162,1	1,9	–
7	2,40	0,20	3,12	0,95	6,31	0,04	–

Висновки. Розглядалися елементи спектральної щільності між кожною із головних компонент полів геопотенціальних висот з головними компонентами полів ЗВО. Проведені дослідження вказують на те, що характер циркуляційних процесів в стратосфері значно впливає на формування полів загального вмісту озону.

Найбільш масштабною взаємодією між першими компонентами зазначених полів є квазидвохрічна взаємодія, яка відбувається синхронно, тобто одночасно з в полях геопотенціальних висот АТ – 50 і полях ЗВО. Крім того, має місце річна взаємодія, причому крупномасштабне змінення циркуляції випереджує змінення полів ЗВО на 2 місяця. Взаємодії часових масштабів порівняно з піврічним та сезонним характеризуються тим, що великомасштабні коливання циркуляційних процесів дають реакцію на великомасштабні характеристики ЗВО через 10 – 20 діб.

Список літератури

1. Баттулга Л. Вертикальное распределение озона в высотных циклонах и антициклонах // Рабочее совещание по исследованию атмосферного озона (Тбилиси, 23 – 27 ноября 1981 г.): Матер. докл. Тбилиси: Мцниереба, 1982. С. 327 – 332.
2. Нерушаев А.Ф. Воздействие интенсивных атмосферных вихрей на озоновый слой Земли. – С. Пб.: Гидрометиздат, 2003г. – 224 с.
3. Галич Е.А., Бургаз А.А. Статистическая структура полей геопотенциальных высот в нижней стратосфере южного полушария // Вісник Одеського державного екологічного університету – 2010. – Вип. 9. – С. 114 – 123.
4. Школьный Е.П., Бургаз А.А., Галич Е.А. Статистическая структура полей общего содержания озона в атмосфере западного сектора южного полушария // Український гідрометеорологічний журнал – 2010. – №6. – С. 35 – 53.
5. Школьный Е.П., Лоева І.Д., Гончарова Л.Д. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації: Підручник – К.: Міносвіти України, 1999. – 600 с.

Особенности взаимосвязей полей общего содержания озона и циркуляционных процессов в стратосфере западного сектора южного полушария. Бургаз А.А.

Показаны особенности влияния циркуляционных процессов в стратосфере на формирование полей общего содержания озона. Определены статистически значимые периоды взаимодействий между главными компонентами полей геопотенциальных высот поверхности АТ – 50, которые характеризуют циркуляционные процессы в стратосфере западного сектора южного полушария, и главными компонентами полей общего содержания озона

Ключевые слова: геопотенциал, общее содержание озона, главные компоненты.

Intercommunications features of ozone general maintenance fields and circulation processes in the western sector of south hemisphere stratosphere. Burgaz A.A.

The features of influencing of circulation processes in a stratosphere on forming of ozone general maintenance fields are shown. The meaningful periods of intercommunications between the main components surface АТ – 50 geopotential heights fields, that characterize circulation processes in Western sector of the south hemisphere stratosphere and main components of ozone general maintenance fields are determined.

Keywords: geopotential, ozone general maintenance, main components.