

# ГЕОГРАФІЧНІ НАУКИ

УДК 504.3.054

## ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ДИНАМІКА ПОЛІВ ЗАГАЛЬНОГО ВМІСТУ ОЗОНУ НАД ТЕРИТОРІЄЮ УКРАЇНИ

Бургаз О.А.

Одеський державний екологічний університет

Досліджені особливості просторової структури полів загального вмісту озону в атмосфері над територією України. На основі матриць вихідних значень загального вмісту озону побудовані матриці коваріації та кореляції. Були побудовані та досліджені поля середніх значень, мінливості та кореляційних зв'язків. Виявлена часова динаміка перелічених компонентів та зроблена спроба пояснення її сезонного характеру.

**Ключові слова:** загальний вміст озону, поля вмісту озону, градієнт, структура, матриці коваріації.

**Постановка проблеми.** Дослідження мінливості параметрів озоносфери різних часових масштабів і пошуки фізичних причин цієї мінливості до теперішнього часу залишаються актуальною проблемою. Актуальність ця визначається тією істотною роллю, яку відіграє озон в термодинамічному балансі атмосфери, у формуванні клімату, в розвитку глобальних змін навколишнього середовища. За допомогою багаторічних однорідних рядів спостережень на світовій мережі озонметричних обсерваторій і завдяки наявності спеціальних спектрометрів на борту дослідницьких штучних супутників Землі (наприклад, велими ефективного інструмента Total Ozone Mass Spectrometer, TOMS) найбільше інформації накопичено про такий параметр як загальний вміст озону в атмосфері.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема та результати досліджень озону досить широко висвітлені в науковій літературі. Достатньо згадати праці А.Х. Хрґіана, Г.П. Гуцина, Е.Л. Александрова, І.Л. Кароля [1–4]. У північній півкулі просторові особливості полів загального вмісту озону (ЗВО) досліджувалися А.Ф. Нерушаєвим на основі стандартних числових масивів, одержаних за допомогою приладу TOMS [5].

**Матеріали і методи дослідження.** В якості вихідних використовувались дані міжнародного проекту МАСС (Monitoring Atmospheric Composition and Climate) [6]. Даний проект використовує інформацію отриману за допомогою радіометрів високого дозволу, що встановлені на метеорологічних супутниках. Вихідна супутникова інформація була оброблена у моделі реаналізу з метою прив'язки даних до регулярної сітки точок. Таким чином використовувалась строкова інформація про загальний вміст озону в атмосфері за 12 годин (за Гринвічем) у регулярній сітці точок з просторовим дозволом 1,125° широти × 1,125° довготи. Інформація про загальний вміст озону надається у одиницях Добсона (о.Д.). Інформація була відібрана за період з 1 січня 2003 р. по 30 квітня 2009 р. за 12 годин СГС. Таким чином ряд даних склав 2312 значень для кожного вузла сітки точок.

На основі вихідних даних, методом осереднення, були отримані середньомісячні значення за-

гального вмісту озону в атмосфері. В результаті осереднення ми отримали ряд середньомісячних значень загального вмісту  $O_3$  в атмосфері, що склав 76 членів для кожного вузла сітки точок.

В якості території дослідження був взятий сектор північної півкулі між 52,875 та 43,875° півн. ш. та 21,345 і 40,5° сх. д. Таким чином, враховуючи крок сітки точок 1,125° широти × 1,125° довготи, загальна кількість точок склала 162 значення. Це дало нам змогу побудувати матрицю середньомісячних значень загального вмісту вуглекислого газу в атмосфері розміром 162×76.

Осереднені поля  $O_3$  представляють інтерес, так як відображають характер просторової мінливості озону з часом над територією України.

На основі матриці середньомісячних значень, були отримані матриці коваріації, які, в свою чергу, дали змогу отримати матриці кореляції та середніх квадратичних відхилень. Таке розділення значно спрощує коваріаційний аналіз полів загального вмісту озону часом над територією України.

Дослідження статистичної структури полів ЗВО виконувалось за допомогою методу багатовимірного статистичного аналізу, а саме – кореляційного аналізу [7].

Для одержання матриць коваріацій використовувалось матричне рівняння

$$K_X = \frac{1}{m-1} \Delta \hat{X} \Delta X \quad (1)$$

де  $m$  – об'єм вибірки,  $\Delta X$  – матриця центрованих елементів,  $\Delta \hat{X}$  – транспонована матриця центрованих елементів.

На головній діагоналі матриці коваріацій розташовуються дисперсії величини, що досліджується. Маючи матрицю коваріацій, можна легко сформулювати діагональну матрицю середніх квадратичних відхилень, а з неї – обернену матрицю середніх квадратичних відхилень. Якщо помножити ліворуч та праворуч матрицю коваріацій на обернену матрицю середніх квадратичних відхилень, то отримаємо матрицю кореляцій:

$$R_X = \sigma^{-1} K_X \sigma^{-1} \quad (2)$$

**Виклад основного матеріалу.** Як зазначалося вище, у якості вихідної використана супутникова інформація про загальний вміст озону (ЗВО) над територією України.

Для дослідження отримані поля середньомісячних значень загального вмісту озону в атмосфері, що дало змогу побудувати поля осереднених значень ЗВО для кожного місяця року.

Розглядаючи структуру полів середньомісячних значень загального вмісту озону над територією України, можна помітити їх трансформацію на протязі року.

В зимовий період (січень – лютий) поля середньомісячних значень ЗВО досить схожі (рис. 1).

Відмітною особливістю цих полів є яскраво виражена зональна структура у всьому секторі дослідження. В даний період меридіональні градієнти ЗВО складають близько 3 о.Д./1° широти.

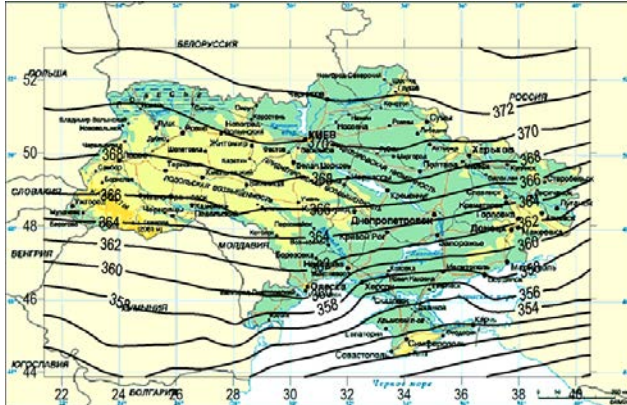


Рис. 1. Поле середньомісячних значень ЗВО (лютий)

В березні структура полів загального вмісту озону починає змінюватись (рис. 2). Видно, що в даному місяці на південь від 48° півн. ш. меридіональні градієнти збільшуються до 4 о.Д./1° широти. На північ від 48° півн. ш. меридіональні градієнти навпаки – зменшуються і складають 2 о.Д./1° широти.

У квітні починає формуватись гребінь загального вмісту озону над північною та центральною частиною України, що досягає максимального розвитку у травні (рис. 3). Звертає увагу те, що в даний період року над західною частиною України формується улоговина ЗВО.

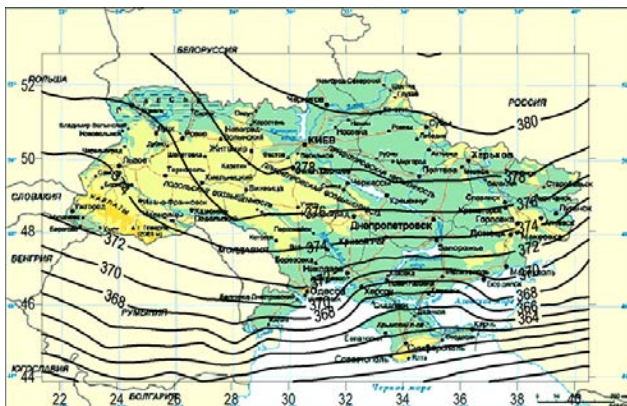


Рис. 2. Поле середньомісячних значень ЗВО (березень)

У місяці літа, структура полів середньомісячних значень загального вмісту озону схожа (рис. 4). В даний період року і гребінь і улоговина ЗВО слабшають. Особливості формування полів озону в даний сезон подібні до особливостей у

лютому: ізолінії поля майже паралельні кругам широт. Ще однією особливістю розподілу загального вмісту озону можна назвати зменшення меридіональних градієнтів ЗВО з південного сходу на північний захід.



Рис. 3. Поле середньомісячних значень ЗВО (травень)

Дуже цікаву структуру має поле середньомісячних значень ЗВО у вересні (рис. 5). В цьому місяці над південно-західною частиною України формується замкнута область підвищених значень загального вмісту озону. Видно, що у вересні зона підвищених градієнтів над південно-східною частиною сектору, що досліджується зберігає своє положення. Вміст озону у вказаній зоні підвищених значень досягає 300–302 о.Д.

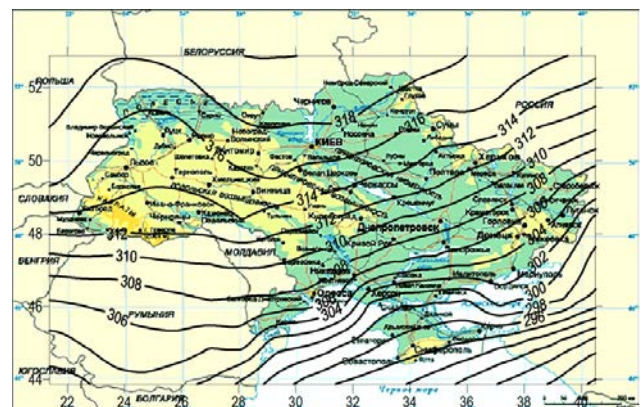


Рис. 4. Поле середньомісячних значень ЗВО (липень)

У наступні місяці структура полів ЗВО зазнає трансформації. З рисунку 6 видно, що зона підвищених значень загального вмісту озону разом із зоною високих меридіональних градієнтів переміщується на південний схід, а вміст озону в області максимумів зменшується. Подібний характер формування полів загального вмісту озону в атмосфері зберігається і у листопаді.

У грудні (рис. 7) починається перебудова поля ЗВО до зимового типу. Видно, що в даному місяці над територією України утворюється поле підвищених значень загального вмісту озону з віссю над 48° півн. ш.

В цілому, якщо прослідкувати динаміку просторового розподілу загального вмісту озону на протязі року, то можна помітити, що кількість озону в атмосфері над територією України зменшується починаючи з лютого ( $\approx 364\text{--}365$  о.Д.) і у

жовтні стає найменшим ( $\approx 290$  о.Д.). Після цього, починаючи з листопаду, відбувається досить швидке відновлення вмісту озону на протязі 1-2-х місяців до попереднього рівня.



Рис. 5. Поле середньомісячних значень ЗВО (вересень)



Рис. 6. Поле середньомісячних значень ЗВО (жовтень)



Рис. 7. Поле середньомісячних значень ЗВО (грудень)

Вихідні дані дозволили також отримати поля розподілу загального вмісту озону для кожного сезону окремо.

При розгляді полів середньосезонних значень ЗВО звертає увагу той факт, що їх структура взимку, навесні та влітку досить схожа. Прикладом може слугувати поле середніх значень ЗВО весняний сезон (рис. 8).

Видно, що над територією України відбувається збільшення загального вмісту озону з півдня на північ. При цьому північні і центральні

райони охоплює гребінь середньосезонних значень ЗВО, а над західною частиною України розташовується улоговина. Відмітною особливістю полів є також те, що при переході від зимового до весняного сезону відбувається загальне збільшення вмісту озону в атмосфері. Середнє значення загального вмісту озону взимку складає близько 340 о.Д., навесні – 360 о.Д. У літній період навпаки, відбувається зменшення ЗВО і складає близько 310–312 о.Д.



Рис. 8. Поле середньосезонних значень ЗВО (весняний період)

Дуже цікаву структуру має поле середньосезонних значень загального вмісту озону в осінній період (рис. 9).

Видно, що над центральними і південно-західними регіонами України утворюється замкнута область підвищених значень ЗВО. Крім того, значення загального вмісту озону зменшується у порівнянні з літнім періодом і не перевищують 296 о.Д.

Такий характер формування просторової структури полів загального вмісту озону у секторі дослідження та його причини потребує подальшого дослідження.

Вихідні дані дали можливість побудувати матриці середньомісячних значень, а з них отримати матриці коваріацій, за допомогою кореляційного аналізу.

Матриці коваріації, у свою чергу, можна розділити на діагональні матриці середніх квадратичних відхилень (СКВ) та матриці кореляцій, що істотно спрощує аналіз коваріаційної структури полів ЗВО.



Рис. 9. Поле середньосезонних значень ЗВО (осінній період)

Перш за все розглянемо особливості полів середніх квадратичних відхилень, які характеризують просторову мінливість загального вмісту озону.

Поля середніх квадратичних відхилень побудовані окремо для кожного сезону.

Відмітною особливістю полів СКВ у зимовий сезон є його яскраво виражена зональна структура (рис. 10). В цей період відбувається збільшення значень середніх квадратичних відхилень загального вмісту озону на північ. Меридіональні градієнти при цьому складають близько  $1 \text{ о.Д./}1^\circ$  широти.

Кардинально протилежна ситуація спостерігається навесні (рис. 11). З рисунку видно, що ізолінії поля в цей період мають квазімеридіональний напрямок, а значення СКВ збільшуються із заходу на схід.

Така структура полів мінливості свідчить про те, що формування полів загального вмісту озону у зимовий і весняний періоди відбувається під впливом чинників, які значно відрізняються.

Влітку, над більшою територією України формується гребінь СКВ загального вмісту озону з північного сходу на південний захід (рис. 12).



Рис. 10. Поле середніх квадратичних відхилень ЗВО (зимовий період)



Рис. 11. Поле середніх квадратичних відхилень ЗВО (весняний період)

Значення мінливості ЗВО в даний період року в цілому зменшується по відношенню до зими та весни. Восени, над більшістю областей України спостерігається малоградієнтне поле СКВ загального вмісту озону (рис. 13). Значення мінливості в осінні місяці стають найменшими на протязі усього року.



Рис. 12. Поле середніх квадратичних відхилень ЗВО (літній період)



Рис. 13. Поле середніх квадратичних відхилень ЗВО (осінній період)

Як зазначалося вище матриці коваріацій, можна розділити на діагональ у матрицю середніх квадратичних відхилень та матрицю кореляцій. Поля кореляцій представляють досить значний інтерес.

Зазвичай поля просторових кореляційних зв'язків будують з полюсами, які співпадають з центрами найбільшої мінливості ЗВО. Це дозволяє повно охарактеризувати коваріаційну структуру полів загального вмісту озону.

Просторова структура полів СКВ не дозволяє виділити чіткі центри підвищеної мінливості ЗВО, тому в якості полюсів кореляції були обрані довільні точки поля. Не дивлячись на такі обставини структура просторових кореляційних зв'язків загального вмісту озону виявилась досить цікавою.

Перш за все звертає на себе увагу значна схожість полів кореляції у зимовий та літній сезони.

Поля у зимовий сезон характеризуються дуже повільним зменшенням коефіцієнтів кореляції між полюсом і вузлами сітки точок (рис. 14).

Крім того, значення коефіцієнтів просторових кореляційних зв'язків в даний сезон складають близько 0,98. Такі особливості полів свідчать про значну однорідність процесів формування озоносфери у зимовий період. На цей факт вказує і незначне зміння мінливості ЗВО взимку, про що йшлося вище.

Влітку структура полів кореляції дуже подібна до зимового розподілу, з тією різницею, що зміння коефіцієнтів кореляції відбувається дещо швидше.



Рис. 14. Поле кореляції загального вмісту озону (зимовий сезон, полюс кореляції –  $48,375^\circ$  півн. ш,  $38,25^\circ$  зах. д.)

Навесні структура полів кореляції в цілому схожа до описаної вище структури у зимовий та літній періоди (рис. 15).

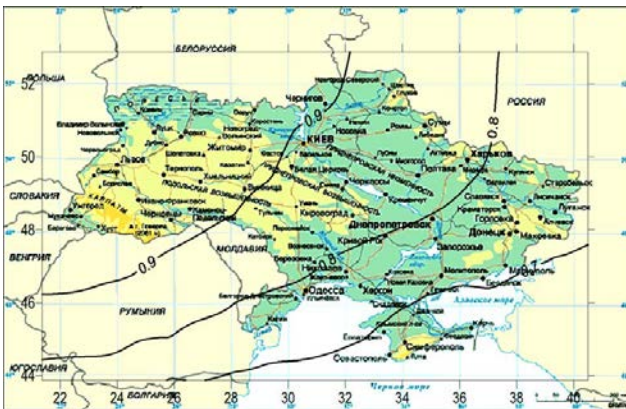


Рис. 15. Поле кореляції загального вмісту озону (весняний сезон, полюс кореляції –  $51,75^\circ$  півн. ш,  $22,5^\circ$  зах. д.)

Відмітною особливістю полів у даний сезон є більш швидке змінення кореляційних зв'язків між полюсом кореляції та вмістом озону у вузлах регулярної сітки точок в регіоні дослідження. Восени спостерігається ситуація аналогічна до розподілу кореляційних зв'язків навесні (рис. 16).

До особливостей полів кореляції в даний період року можна віднести більш інтенсивніше зменшення кореляційних зв'язків між вмістом озону у полюсі кореляції та його вмістом у вузлах сітки точок.

При розгляді полів кореляційних зв'язків неможливо не відмітити їх спільну особливість у

всі сезони року: ізолінії поля мають вигляд концентричних кіл навколо полюсу кореляції. Така структура не змінюється при зміні полюсу кореляції. Ці особливості свідчать про квазіоднорідність та квазіізотропність полів загального вмісту озону у секторі дослідження.



Рис. 16. Поле кореляції загального вмісту озону (осінній сезон, полюс кореляції –  $48,375^\circ$  півн. ш,  $36^\circ$  зах. д.)

**Висновки.** Поля середньомісячних значень загального вмісту озону у різні пори року мають визначні особливості. Можна помітити їх трансформацію на протязі року. Звертає на себе увагу формування замкнутої області підвищених значень ЗВО над південно-західною частиною України у вересні. Вміст озону у вказаній зоні підвищених значень досягає  $300\text{--}302$  о.д./ $1^\circ$ .

Поля середньосезонних значень вмісту озону свідчать про значну схожість процесів формування у зимовий, весняний та літній періоди. Восени, відбувається значна трансформація полів ЗВО, що може бути пов'язано зі швидкою зміною характеристик циркуляції у стратосфері, при переході до зимового періоду, і зменшення надходження сонячного випромінювання.

Середньосезонні значення ЗВО свідчать про максимум його концентрації в атмосфері у весняний період і мінімум – восени.

Поля середніх квадратичних відхилів ЗВО значно трансформуються на протязі року. В цілому можна відмітити досить невеликі значення СКВ, що не перевищують  $28\text{--}30$  о.д. (зимовий період).

Поля просторових кореляційних зв'язків свідчать про однорідність та ізотропність полів ЗВО. Можна відмітити дуже повільне зменшення кореляційного зв'язку між полюсами кореляції та точками поля.

## Список літератури:

1. Хргиан А.Х., Кузнецов Г.И. Проблема наблюдений и исследований атмосферного озона. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 216 с.
2. Гушин Г.П., Виноградова Н.Н. Суммарный озон в атмосфере – Л.: Гидрометиздат, 1983. – 239 с.
3. Александров Э.Л., Израэль Ю.А. Кароль И.Л., Хргиан А.Х. Озонный щит земли и его изменения. – Санкт-Петербург: Гидрометиздат, 1992. – 288 с.
4. Кароль И.Л. Озонный щит Земли и человек. – СПб.: Знание, 1992. – 32 с.
5. Нерушаев А.Ф. Воздействие интенсивных атмосферных вихрей на озоновый слой Земли. – СПб.: Гидрометиздат, 2003. – 222 с.
6. Служба даних ESMWF [Електронний ресурс]. – Режим доступу до журналу: [http://data-portal.ecmwf.int/data/d/mass\\_reanalysis](http://data-portal.ecmwf.int/data/d/mass_reanalysis).
7. Школьнік Є.П., Лосєва І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: Підручник. – К.: Мінсвіти України, 1999. – С. 331-421.

**Бургаз А.А.**

Одесский государственный экологический университет

## **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПОЛЕЙ ОБЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ ОЗОНА НАД ТЕРРИТОРИЕЙ УКРАИНЫ**

### **Аннотация**

Исследованы особенности пространственной структуры полей общего содержания озона в атмосфере над территорией Украины. На основе матриц исходных значений общего содержания озона построены матрицы ковариации и корреляции. Были построены и исследованы поля средних значений, изменчивости и корреляционных связей. Обнаружена временная динамика перечисленных компонентов и предпринята попытка объяснения ее сезонного характера.

**Ключевые слова:** общее содержание озона, поля содержания озона, градиент, структура, матрицы ковариаций.

**Burgaz A.A.**

Odessa State Environmental University

## **SPATIO-TEMPORAL DYNAMICS OF TOTAL OZONE FIELDS ABOVE TERRITORY OF UKRAINE**

### **Summary**

The features of total ozone content fields spatial structure in an atmosphere above territory of Ukraine are probed. On the basis of total ozone initial values matrices the covariance and correlation matrix were built. The fields of averages, variability and correlations were constructed and investigated. The temporal dynamics of these components was detected, and attempt to explain of its seasonal nature.

**Keywords:** Total ozone content, ozone content field, gradient, structure matrices of covariances.