

## **СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ НАЯВНОСТІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ СОНЯЧНОЮ АКТИВНІСТЮ ТА ЗАГАЛЬНИМ ВМІСТОМ ОЗОНУ**

В статті розглянуто сучасний стан вивчення питання наявності зв'язків між загальним вмістом озону та сонячною активністю. Отримані результати досить різнопланових досліджень вказують на те, що зв'язки між досліджуваними величинами є, проте вони істотно змінюються в просторі і часі.

**Ключові слова:** сонячна активність, озон, взаємозв'язок.

**Постановка проблеми.** Є загальновідомим факт впливу сонячного випромінювання на процеси утворення та руйнування загального вмісту озону (ЗВО). Сонячне випромінювання, в свою чергу, може впливати не тільки безпосередньо на хімічні процеси в атмосфері Землі, а й викликати істотні зміни через пов'язані з ним астрономічні та геофізичні фактори. Проте, питання щодо прямого зв'язку між вмістом озону в стовпі атмосфери над певною територією та змінами сонячного випромінювання ще не отримало чіткої відповіді. Мета даного дослідження полягає у виявленні механізмів та характеру зв'язків між сонячною активністю та ЗВО шляхом аналізу останніх наукових досліджень по даному напрямку. Особливу увагу приділено узагальненню результатів, отриманих різними авторами, визначення основних аспектів та використаних методик, відзначення характерних особливостей зв'язку ЗВО та сонячної активності, відмічених різними авторами. Актуальність даного дослідження не викликає сумніву адже останнє формує напрямок для подальших пошуків.

**Виклад основного матеріалу.** Інтерес вчених до досліджень наявності зв'язків між ЗВО та сонячною активністю значним чином зріс ще в 60х роках ХХ століття. Так, Е. Краус [13] приходять до висновку, що зміни ЗВО є наслідками пристосування кліматичної системи до кліматичних змін в високих і низьких широтах протягом

останніх десятиліть. Вчений, що продовжив ці дослідження, Н. Willett [15], отримав дані про середній планетарний ЗВО за період з 1933 по 1959 роки провів аналіз наявності кореляційних зв'язків між ЗВО та відносним числом сонячних плям. Дослідження в цьому напрямку продовжила низка вчених 80-тих років – J. Angel [11], M. Shmidt [14] та ін. В наш час зв'язки між ЗВО та сонячною активністю продовжують привертати до себе увагу багатьох вчених [1-9, 12, 16].

Незважаючи на єдиний напрямок досліджень різні автори вивчають різні аспекти взаємозв'язку ЗВО та сонячної активності. Так, Н. Willet [15], J. Angel [11] та M. Shmidt [14] в своїх дослідженнях вивчали зв'язки між ЗВО та кількістю сонячних плям. Для свої робіт J. Angel [11] та Н. Willet [15] використовували середні планетарні значення ЗВО, тоді як M. Shmidt [14] результати вимірів ЗВО на станціях. Як показник сонячної активності ці вчені використовували відносне число сонячних плям. Застосовуючи такі методи, як співставлення досліджуваних рядів та кореляційний аналіз було отримано результати, які дещо відрізнялися. Зокрема, результати досліджень Н. Willet [15] вказують на те, що за 27-річний період 1933-1959 рр. включно, виявлено вельми значну негативну кореляцію між відносним числом сонячних плям та середнім планетарним загальним вмістом озону. Також було виявлено, що зміни ЗВО є чутливішими до величини сонячних плям, ніж до їх числа. Дослідження, проведені J. Angel [11] вказують на наявні зв'язки між ЗВО та циклами змін кількості сонячних плям, проте результати відрізняються для різних широт. А от результати отримані M. Shmidt [14] говорять про те, що прямого зв'язку між числом сонячних плям та ЗВО знайти не вдасться, якщо порівнювати з 20 та 21 циклами сонячної активності. Домінуючим фактором для станцій в високих та середніх широтах є меридіональне перенесення ЗВО в стратосфері, яке значною мірою формується під впливом сонячної активності, якщо брати до уваги не лише число плям на сонці, а й інтенсивність спалахів. Враховуючи це, відслідковується непрямий зв'язок між сонячною активністю та ЗВО через атмосферну циркуляцію.

Динаміку ЗВО в Канаді вивчали R. Hosseinian та ін. [12], крім цього, цими вченими проводилися дослідження зв'язків між ЗВО, квазідворічним коливанням, стратосферною циркуляцією та коливанням кількості плям на Сонці. Як вихідні дані по ЗВО було

використано добові значення в одиницях Добсона (о.Д.) з World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Center (WOUDC) [10], а для оцінки впливу сонячної активності використовувались дані відділу сонячно-земної фізики National Geophysical Data Center (NGDC) [18]. Основними методами досліджень стали спектральний та інші види статистичного аналізу. В результаті було отримано, що загальна товщина озонного шару зменшується в досліджуваному регіоні в середньому на 0,64% в рік протягом останніх 38 років. Виявлено також, що ЗВО пов'язаний з квазидворічним коливанням, стратосферною циркуляцією та кількістю плям на сонці.

Деякі вчені (С. Zerefos та ін. [16]) досліджували зв'язки між активністю сонця та озоном у вертикальному розподілі ЗВО. У своїх дослідженнях вони використовували дані супутникового зондування. Аналіз є продовженням попередніх робіт, які показали, що ефект впливу сонячної активності на вертикальний профіль загального вмісту озону більш виражений в тропіках. Ці результати були отримані після видалення сезонних та місячних флуктуацій з досліджуваних даних.

Л. Соловйова, та ін. [7] використовували дані про загальний вміст озону, осереднені за широтами, місяцями і днями з супутників «Nimbus» та «Earth probe» [20], дані по сонячній активності, отримані з обсерваторії SoHO [19], а також дані про космічне випромінювання з сайту NOAA [21]. Як характеристики сонячної активності в цій роботі було використано Число Вольфа, а також індекс F10 (щільність потоку сонячного випромінювання). Методом кореляційного аналізу виявлено, що основні індекси сонячної активності корелюють з загальним вмістом озону.  $R = +0,7$ . В динаміці загального вмісту озону відслідковується залежність від варіацій космічних променів сонячного походження.

Вплив спалахової активності досліджували К. Вишератін, та ін. [1-2]. Авторами було проведено аналіз часових та просторових варіацій загального вмісту озону в періоди найбільш потужних спалахових процесів на Сонці. В роботах цих науковців також було проведено аналіз варіацій полів загального вмісту озону та індексів сонячної активності в області періодів від 8 до 12 років. Застосовувались середні добові значення загального вмісту озону, отримані з допомогою супутникової апаратури TOMS [20] за період з 1979 по 2005pp, а також найбільший за довжиною ряд загального вмісту озону, отриманий на наземній станції Ароза. В якості

індексів спалахової активності Сонця застосовувався індекс УФ-випромінювання MgII, та деякі інші. Побудовані карти глобального розподілу загального вмісту озону, що характеризують його реакцію на спалахову активність. Результати аналізу вказують на складний характер просторових і часових варіацій загального вмісту озону в період, який настає після спалахової активності. Кореляційні зв'язки загального вмісту озону і спалахової активності Сонця найбільш помітні для середньозональних рядів і переважно для помірних і високих широт. Можливі зв'язки між стратосферним озоном та інтенсивністю космічного випромінювання вивчалися також групою вчених у складі А. Кислякова, Ю. Куликова та І. Ястребова [6]. В їх дослідженнях використовуються дані тривалих мікрохвильових (лінії озону в 3-міліметровому діапазоні довжин хвиль) спостережень озону на висотах  $h > 20$  км в полярних і помірних широтах. Виявлено появу значущих коефіцієнтів кореляції між щільністю озону і кількістю протонів у періоди підвищеної сонячної активності.

Модельне дослідження впливу сонячної активності на газовий склад і тепловий режим атмосфери, дослідження чутливості вмісту озону на зміну позаатмосферних потоків сонячної радіації в різних ділянках спектру проводилося П. Зименко [4]. Для досягнення поставлених задач відбувалися чисельні експерименти з двовимірною фотохімічною моделлю РГГМУ з фіксованими динамічними параметрами та тривимірною моделлю загальної циркуляції атмосфери Інституту обчислювальної математики РАН. Результати обчислень найбільше співпадають з результатами наземних спостережень в низьких широтах. Серед основних результатів автор вказує на розроблену методику обліку змін спектральних потоків сонячної радіації в 11-річному циклі сонячної активності при моделюванні мінливості озону і температури в атмосфері. Врахування сонячного циклу в моделі озоносфери дозволило істотно поліпшити відтворення міжрічної мінливості атмосферного озону. При підвищенні сонячної активності максимальний позитивний ефект відгуку озону спостерігається в діапазоні довжин хвиль 200-225 нм. Загальний вміст озону в середніх широтах зростає при високому рівні сонячної активності в порівнянні з періодом мінімуму сонячної активності.

На відміну від інших авторів, Н. Зуєва [5] вивчала зв'язки між змінами біологічно активної УФ-Б сонячної радіації з коливаннями

ЗВО. Для аналізу було сформовано ряди середньодобових значень УФ радіації на довжині хвилі 305нм (УФ-305), оскільки цьому значенню практично відповідає максимум спектру біологічної дії. Ряди добових значень загального вмісту озону були отримані за даними космічного моніторингу [21]. У ході дослідження впливу коливань загального вмісту озону на приземний рівень УФ-Б радіації було виконано кореляційний аналіз часових рядів добових і середньомісячних рядів ЗВО і УФ-305 п'яти регіонів Канади. Отримані результати однозначно показують, що в регіонах помірних широт Північної півкулі, вище 50 °пн.ш., незалежно від метеорологічних і геофізичних чинників генеральним модулятором міждодової мінливості біологічно активної УФ-305 радіації є озоносфера. Отже, використання даних про загальний вміст озону при аналізі впливу короткохвильової частини спектру УФ-Б радіації на біологічні об'єкти в регіонах циркумполярної зони є досить обґрунтованим. Істотне зростання приземного рівня біологічно активної УФ-Б радіації є результатом тривалої депресії стратосферного озону. У підсумку пригнічується фотосинтетична активність наземних і водних екосистем, знижуються поглиначами властивості Світового океану, що сприяє прискоренню зростання в атмосфері Землі діоксиду вуглецю.

Взаємозв'язки динаміки загального вмісту озону та жорсткого УФ випромінювання також досліджувались для прикладних задач та були використані для моніторингу УФ-Б радіації на території України [3].

Українські науковці у складі А. Холопцева, М. Нікіфорова, Є. Горалевич, Є. Пашкова [8-9] проводили порівняльний аналіз особливостей статистичного зв'язку міжрічних змін середньомісячних значень загального вмісту озону над регіонами помірних і тропічних кліматичних поясів землі і сонячної активності та досліджували зміни стану сонячної активності як фактор динаміки розподілу загального вмісту озону над Україною. Аналізувалися середньомісячні значення загального вмісту озону над досліджуваним регіоном у вигляді рядів та карт [17, 18], а також середньомісячні значення чисел Вольфа в період з 1979 по 2006-2007рр. [17, 22]. Для даних по ЗВО і середньомісячних значень чисел Вольфа для того ж періоду було обчислено коефіцієнти кореляції. Проведені науковцями дослідження дозволили їм зробити висновки, що головним фактором, що визначає сезонну

мінливість сили статистичного зв'язку міжрічних змін загального вмісту озону в сегменті атмосфери над певним регіоном, а також сонячної активності є властиві йому особливості атмосферної циркуляції (переважний напрямок вертикального переносу повітря в тропосфері, яке визначається географічним положенням регіону). У помірних і тропічних поясах планети значення коефіцієнтів кореляції міжрічних змін загального вмісту озону і сонячної активності найбільш істотно відрізняються в літні місяці. У помірних широтах сила статистичної зв'язку цих процесів знижується а в тропічних – зростає. Крім того, при вивченні зв'язків між загальним вмістом озону та активністю сонця над територією України встановлено, що зміна стану сонячної активності статистично значуще пов'язані зі значеннями загального вмісту озону над більшістю районів Придніпровської низовини, Полтавської рівнини, Донецького кряжу, Причорноморської низовини, Криму, а також Азовськими Чорним морями в травні і червні, що дозволяє використовувати спостереження астрономів за станом Сонця (чисел Вольфа) при прогнозуванні потоків ультрафіолетової радіації в південних, східних і центральних регіонах України.

**Висновки.** Представлений аналіз публікацій вказує на необхідність продовження досліджень в цьому напрямку. Зазначені дослідження повинні проводитись з залученням можливих показників сонячної активності та інших факторів, які прямо чи опосередковано пов'язані з динамікою озону.

**Рецензент – кандидат географічних наук Л. С. Рябченко**

### **Література:**

1. Белинская А. Ю. Геофизические факторы в вариациях общего содержания озона над Восточной Сибирью : дис. ... кандидата физ.-мат. наук : 25.00.29 [Текст] / Анастасия Юрьевна Белинская. – Иркутск, 2001. – 160 с.

2. Вишератин К. Н. 11-летняя цикличность в общем содержании озона [Текст] / Вишератин К. Н., Васильев В. И., Сизов Н. И. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – № 1. – Т. 5. С. 429-434.

3. Дворецька І. В. Прогноз загального вмісту озону над територією України [Текст] / І. В. Дворецька, А. В. Сидоренко // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2011. – Вип. 261. – С. 106-116.

4. Зименко П. А. Модельное исследование влияния солнечной активности на газовый состав и тепловой режим атмосферы : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. физ.-мат. наук : спец. 25.00.30 «Метеорология, климатология, агрометеорология» [Текст] / Зименко Полина Александровна. – Санкт-Петербург, 2007. – 10 с.

5. Зуева Н. Связь изменений биологически активной УФ-В солнечной радиации с колебаниями общего содержания озона [Текст] / Н. Зуева // Journal of Siberian Federal University. Biology. – 2008. – № 4. – С. 345-357.

6. Кисляков А. Г. О возможной связи стратосферного озона с интенсивностью космических лучей по данным наблюдений линий ОЗ на миллиметровых волнах [Текст] / Кисляков А. Г., Куликов Ю. Ю., Ястребов И. П. // Вестник ННГУ им. Н. И. Лобачевского. – Сер. радиофизика. – 2004. – Вып. 2. – С. 161-166.

7. Соловьева Л. В. Влияние солнечной активности на общее содержание озона в атмосфере Земли [Текст] / Соловьева Л. В., Пудовкин М. И., Анохин С. Г. // Вопросы геофизики. – 2005. – Вып. 38. – (Ученые записки СПбГУ, №438). – С. 238-275.

8. Холопцев А. В. Изменение состояния солнечной активности как фактор динамики распределения ОСО над Украиной [Текст] / Холопцев А. В., Горалевич Е. К., Пашкова Е. В. // Культура народов Причерноморья. Проблемы материальной культуры. – Географические науки. – 2008. – С. 15-18.

9. Холопцев А. В. Сравнительный анализ особенностей статистической связи межгодовых изменений среднемесячных значений ОСО над регионами умеренных и тропических климатических поясов земли и солнечной активности [Текст] / А. В. Холопцев, М. П. Никифорова // Культура народов Причерноморья. Проблемы материальной культуры. – Географические науки. – 2009. – С. 15-23.

10. The World Ozone and Ultraviolet radiation Data Centre [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.woudc.org>.

11. Angell J. K. On the relation between atmospheric ozone and sunspot number [Text] / J. K. Angell // Journal of Climate. – 1989. – 2.11. – P. 1404-1416.

12. Hosseinian R. Total Column Ozone Variability Over Toronto, Ontario, Canada [Text] / Hosseinian R., W. A. Gough // The Great Lakes Geographer. – 2000. – Vol 7, №2. – P. 55-65.

13. Kraus E. B. Physical aspects of deduced and actual climatic

change [Text] / E. B. Kraus // Annals of the New York Academy of Sciences. – 1961. – 95.1. – P. 225-234.

14. Schmidt M. Ozone and Sunspots: Why Can We Not Find a Direct Correlation? [Text] / M. Schmidt // Springer Netherlands. – 1985. – P. 671-675.

15. Willett H. C. The relationship of total atmospheric ozone to the sunspot cycle [Text] / H. C. Willett // Journal of Geophysical Research. – 1962. – 67.2. – P. 661-670.

16. Zerefos C. S. Solar activity – ozone relationships in the vertical distribution of ozone [Text] / Zerefos C. S., Tourpali K., Balis D. // International Journal of Remote Sensing. – 2005. – 26.16. – P. 3449-3454.

17. Пуковская государственная астрономическая обсерватория РФ [Электронный ресурс]. – Ружим доступа : <http://www.gao.spb.ru/database/esai>.

18. National Geophysical Data Center (NGDC) [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.ngdc.noaa.gov>.

19. Solar and Heliospheric Observatory [Electronic resource]. – Mode of access : <http://sohowww.nascom.nasa.gov>.

20. Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) [Electronic resource]. – Mode of access : <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/acdisc/TOMS>.

21. The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.noaa.gov>.

22. Solar Influences Data Analysis Center (SIDC) [Electronic resource]. – Mode of access : <http://sidc.oma.be/sunspot-data>.

23. Belgian Assimilation System for Chemical Observations (BASCOE) [Electronic resource]. – Mode of access : <http://bascoe.oma.be>.

А. В. Сидоренко, И. В. Дворецкая

## **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НАЛИЧИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ И ОБЩИМ СОДЕРЖИМЫМ ОЗОНА**

В статье рассмотрено современное состояние изучения вопроса наличия связей между общим содержанием озона и солнечной активностью. Полученные результаты весьма разноплановых исследований указывают на то, что связи между исследуемыми величинами есть, однако они в значительной степени переменные в пространстве и времени.



**Ключевые слова:** солнечная активность, озон, взаимосвязь.

A. Sidorenko, I. Dvoretzkaia

**THE INVESTIGATIONS PRESENT STATE OF  
CORRELATION BETWEEN SOLAR ACTIVITY AND TOTAL  
OZONE COLUMN**

The present state of the question of the links between total ozone column and solar activity is considered in this article. Obtained results from very diverse studies indicate that the connections between the study variables exist, but they are largely variable in space and time.

**Keywords:** solar activity, ozone, correlation.

Надійшла до редакції 3 листопада 2014 р.