

УДК 534.232, 534.6, 534.6.08, 551.510.534
PACS 92.60.-e, 92.60.H-, 92.60.Ls, 92.60.Mt, 92.60.Ry

АЕРОЗОЛЬНО-АКУСТИЧНИЙ МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ ОЗОНУ

О. Сорока¹, Я. Чорнодольський²

¹ Львівський центр Інституту космічних досліджень НАН та
НКА України
вул. Наукова 5а, 79000 Львів, Україна

² Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Кирила і Мефодія 8, 79005 Львів, Україна

Запропоновано новий механізм утворення атмосферного озону. Проведено спектральний аналіз зміни густини енергії інфразвуку і загального вмісту озону. Досліджено зв'язок між акустичними хвилями та атмосферним озonom. Підтверджено можливість існування аерозольно-акустичного механізму утворення озону в атмосфері.

Ключові слова: акустичні хвилі, атмосфера, аерозоль, озон.

1 Вступ

Одним із найбільш важливих елементів середньої атмосфери є атмосферний озон – єдина компонента, яка може ефективно поглинати ультрафіолетове випромінювання в області 250-320 нм [1], охороняючи рослинний і тваринний світ від небезпечної радіації. З цієї точки зору озон є своєрідним захисним екраном для всього живого на Землі.

Атмосферний озон вважається також найбільш важливою в енергетичному відношенні складовою частиною стратосфери. Вивченням процесів, пов'язаних з атмосферним озonom, займаються багато вчених у всьому світі. Ведуться спостереження за кількістю озону і його “ворогів” – різних забруднюючих речовин, аналізуються дані за минулі роки, ставляться нові експерименти. Проте проблема атмосферного озону до цього часу далеко не вичерпана, і ряд важливих і цікавих розділів цієї проблеми чекає свого вирішення, особливо явища, пов'язані з впливом на озоновий шар деяких природних і антропогенних факторів.

Особливо активно атмосферний озон почав вивчатися в останні десятиріччя. Це пов'язано в основному з тим, що в атмосфері Землі останнім часом кількість озону почала швидко падати, а також вченими були виявлені так звані “озонові дірки”

(локальні мінімуми з пониженим вмістом атмосферного озону над окремими регіонами). А це в свою чергу може призвести до незворотних процесів, які впливають на екологію і можуть зумовити до глобальної зміни клімату Землі.

Хімія атмосферного озону є досить складною, оскільки існують сотні хімічних та фотохімічних реакцій, які приводять до утворення і руйнування озону. Інтенсивність цих процесів залежить від температури, тиску, складу атмосфери, освітленості, тому концентрація озону характеризується часовою мінливістю різних періодів (добова, сезонна, річна періодичність) [1-4].

Основою формування молекул озону є реакція взаємодії із атомарного і молекулярного кисню і зворотна їй реакція розпаду [1-4]:



де M - будь-яка частинка, необхідна для відводу енергії від молекули озону.

Атомарний кисень, необхідний для реакцій утворення озону, утворюється при фотохімічній дисоціації молекул кисню,



Під дією сонячного випромінювання також відбувається розпад озону:



При високих концентраціях газів може відбуватись реакція руйнування озону



Описаний вище цикл ще називають циклом Чепмена. Поряд з кисневим циклом утворення озону існують і інші: азотний, водневий, вуглекислий і т.д., проте вони вносять набагато менший ще й внесок в утворення чи руйнування атмосферного озону.

Сучасна теорія фотохімічного утворення атмосферного озону зазнає труднощів при поясненні деяких фактів і властивостей озону. Так, наприклад, на півдні (над посушливими районами), де ультрафіолетової радіації більше, кількість озону менша, ніж у північних областях. До сьогоднішнього дня не в'ясна проблема "озонових дірок" над полярними областями. Також важко пояснити високий вміст озону в нижній частині стратосфери (саме на висотах 20-25 км), оскільки та частина ультрафіолетової радіації, яка відповідає за утворення атомарного кисню, вся поглинається вище 25 км. Крім того, не має пояснення значне коливання кількості атмосферного озону в зв'язку зі зміною погоди [5].

Таким чином, можна припустити, що озон в атмосфері генерується також під дією інших факторів, які в деяких випадках, можливо, є суттєвішими, ніж фотохімічні реакції.

Метою даної роботи є обґрунтування механізму утворення озону, що базується на взаємодії аерозольних частинок води з реальною атмосферою та акустичними хвилями.

2 Аерозольна гіпотеза та її підтвердження.

Розглянемо механізм утворення озону аерозолями. Існує гіпотеза [6], що аерозольні частинки можуть безпосередньо впливати на утворення озону. Вона пов'язана з тим, що аерозольні частинки є ядрами конденсації в атмосфері, тобто вони оточені вологою плівкою, і продуктами конденсації у вигляді зародкових крапель.

Для розуміння процесів утворення озону аерозолями потрібно розглянути особливості сорбційного процесу на межі вода-повітря (рис. 1). Вода завжди частково дисоційована на іони водню і гідроксилу, внаслідок цього одні іони є втягнутими у внутрішню частину поверхневого шару, а інші є ближче до вільної поверхні, і на межі води і повітря виникає так званий подвійний електричний шар. Негативні іони гідроксилу розташовуються переважно ближче до зовнішньої поверхні води, що забезпечує легкий відрив в повітря цих іонів разом з молекулами пари під дією теплового руху молекул. Перехід іонів OH^- у вільні радикали OH може відбуватись шляхом передачі одного електрона іншій частинці. Тоді над поверхнею частинки аерозолі з'являється хмарка вільних радикалів OH .

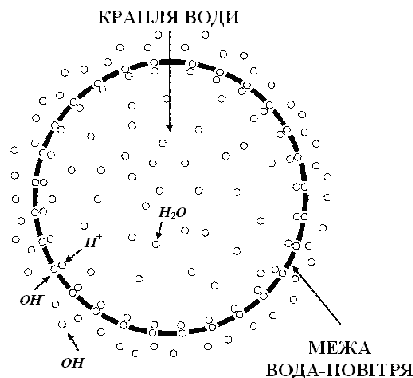
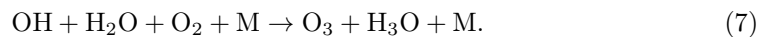


Рис. 1: Схематичне представлення процесів на межі вода-повітря.

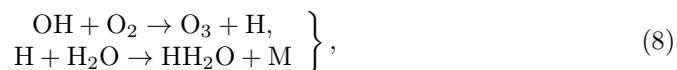
Таким чином, утворення вільних радикалів на поверхні частинок аерозолі і в повітрі йде в два етапи:



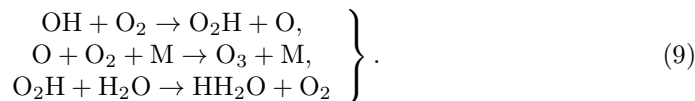
Поява вільних радикалів OH на поверхні і над поверхнею аерозолі створює можливість ряду хімічних реакцій з утворенням озону O_3 за загальною схемою:



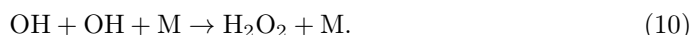
Ланцюги цієї реакції, можливо, розвиваються так:



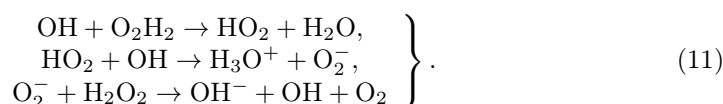
або так:



Можлива й інша реакція з утворенням на крапельках аерозолію перекису водню:

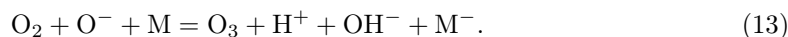
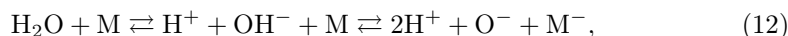


Відомо, що перекис водню є нестійкою сполукою і розпадається при підвищенні температури. Відповідно, при низьких температурах в атмосферному аерозолі може утворюватись і акумулюватись велика кількість перекису водню. При нагріванні перекис водню розпадається з утворенням вільних радикалів:



Так над поверхнею аерозолію з'являється гідроксил у вигляді дуже активних в хімічному відношенні вільних радикалів OH, а також у вигляді іонів OH⁻ та іони гідроксонію H₃O⁺. Це веде до утворення значної кількості озону за описаною вище реакцією (7).

Крім описаного вище механізму утворення атмосферного озону можливе утворення озону в самій воді аерозолію при понижених температурах. Можна припустити, що вода частково дисоційована на водень і на атомарний кисень за схемою:



Оскільки розчинність озону у воді на цілий порядок вища, ніж розчинність кисню, він буде поступово акумулюватись в воді аерозолію, особливо при понижених температурах. Але достатньо нагріти холодний аерозоль і з нього одразу ж почнеться десорбція розчиненого озону в повітря, оскільки з підвищенням температури розчинність озону у воді різко падає.

Щоб перевірити дану гіпотезу, був поставлений такий експеримент [6]. Полотняний рушник розміром 1,5 × 2,5 м, який імітує поверхню частинок аерозолію, був змочений водою і вивішений на повітрі в тіні рано вранці при температурі біля +5°C. Після експозиції на протязі години рушник був перенесений в лабораторію, де до того концентрація озону в повітрі була рівна 4,5γ (1γ = 10⁻⁶г озону на 1 м³ повітря) (рис. 2., відрізок 1). Після того, як рушник принесли, кількість озону збільшилась у приміщенні до 7,8γ (рис. 2., відрізок 2). Через годину, коли рушник майже висох, концентрація озону залишалась ще підвищеною (5,6γ) (рис. 2., відрізок 3). Потім рушник забрали, після чого через 2 год кількість озону в приміщенні впала до 3,8γ (рис. 2., відрізок 4).

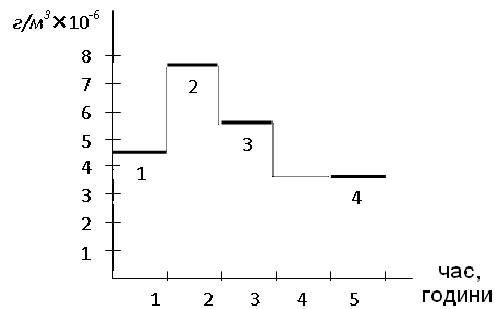


Рис. 2: Утворення озону в приміщенні вологим рушником [6].

Таким чином, коли вологий рушник принесли в тепле приміщення з “холодної” вулиці, це привело до збільшення озону в приміщенні в 2-2,5 рази, що може підтверджувати існування згаданих вище процесів утворення озону при явищах десорбції охолодженого атмосферного аерозолі при його нагріванні, або випаровуванні [6].

В іншому досліді рушник меншого розміру ($1 \times 1,5$ м) прямо в приміщенні змочувалось 3% -ним розчином перекису водню. Кількість озону в приміщенні збільшилась приблизно в три рази в порівнянні з початковим. З цього досліді можна зробити висновок, що десорбція перекису водню в повітря дійсно приводить до генерації озону.

3 Результати та їх обговорення

Для ефективності аерозольного механізму утворення озону необхідно забезпечити транспорт аерозолів із холодних шарів атмосфери в теплі. Це, в основному, вертикальний перенос. Рух аерозольних частинок може відбуватись під дією акустичних хвиль.

Залежно від температури атмосфера Землі поділена на шари (рис. 3). Найбільша кількість аерозолів води утворюється в нижній частині атмосфери (тропосфері, висоти до 10 км). Аерозолі попадають в атмосферу від багатьох джерел. За походженням вони поділяються на аерозолі природного та антропогенного походження.

Як видно з рис. 3, температура в тропосфері набагато менша, ніж біля поверхні Землі, а також менша, ніж у стратосфері.

Дія акустичних хвиль на аерозоль приводить, з одного боку, до коагуляції частинок (збільшення їх розміру і маси) і їх опускання на поверхню Землі. В теплих приповерхневих шарах із крапельок аерозолі відбувається звільнення озону. Завдяки цьому буде зростати кількість приземного озону. З другої сторони, дрібні крапельки води при дії акустичних хвиль піднімаються вгору у стратосферу. В стратосфері температура знову росте і завдяки цьому також відбувається звільнення озону, що призводить до збільшення кількості стратосферного озону (рис. 4).

Для отримання підтвердження впливу акустичних хвиль на кількість озону був проведений спектральний аналіз зміни густини енергії інфразвуку і загального вмісту озону. В роботі використовувалися дані загального вмісту озону, взяті на сай-

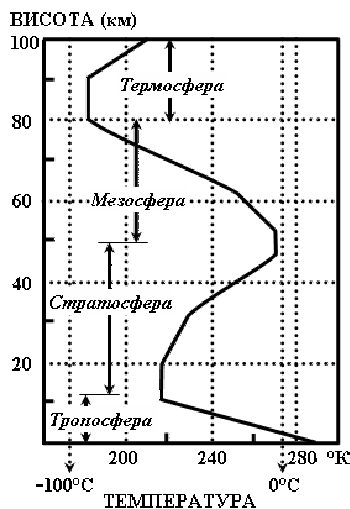


Рис. 3: Температурний розподіл в атмосфері.

ті <http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher>, а вимірювання інфразвуку проводилися в Західному регіональному центрі спеціального контролю НКАУ в точці з координатами $48^{\circ}41'N$, $26^{\circ}30'E$.

Спектральна густина змін загального вмісту озону і змін огинаючої інтенсивності інфразвуку представлені на рис. 5. Для аналізу були використані дані за чотири роки (1997-2000рр). З аналізу спектрів виявлено збіжність значень періодів змін загального вмісту озону і огинаючої інтенсивності інфразвуку у області періодів до 30 діб. Загальний характер змін обох характеристик вказує на наявність зв'язку між ними.

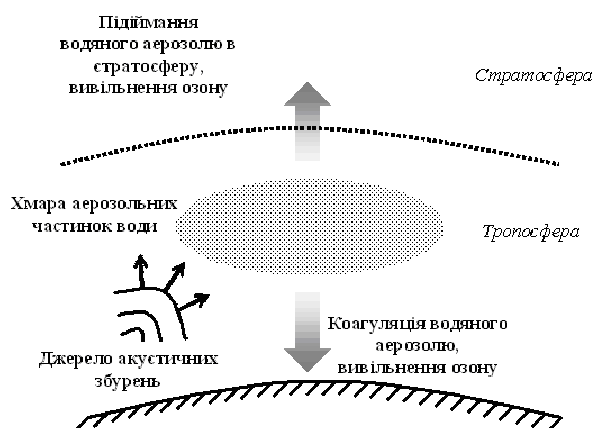


Рис. 4: Схема впливу акустичних збурень на атмосферний аерозоль.

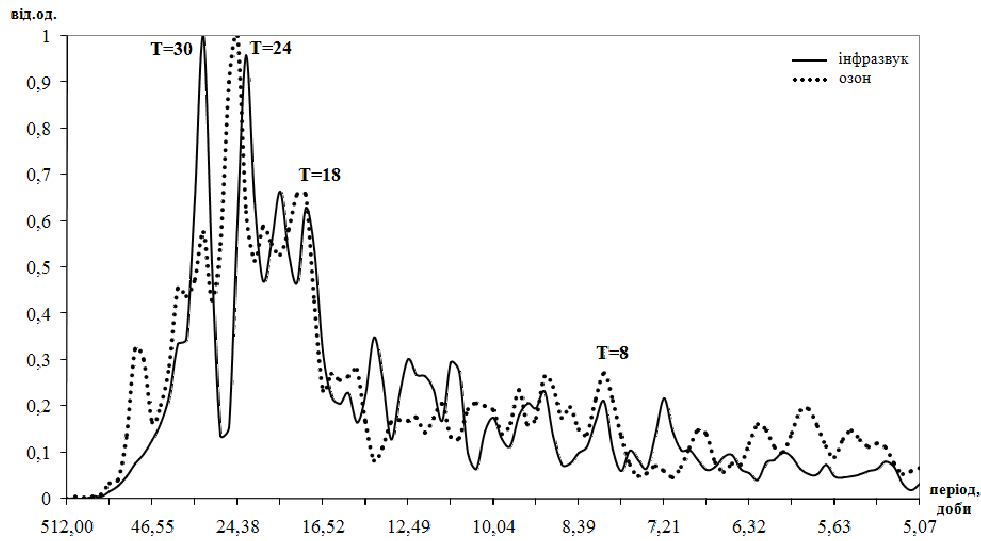


Рис. 5: Спектральна густина огинаючої інтенсивності інфразвуку і загального вмісту озону за період 1997-2000рр., в діапазоні до 30 діб.

4 Висновки.

Отримані результати підтверджують наявність зв'язку між акустичними хвилями та атмосферним озоном. Таким чином, можна стверджувати про існування аерозольно-акустичного механізму утворення озону в реальній атмосфері.

Список використаної літератури

1. А.Х. Хргиан, Г.И. Кузнецов, *Проблема наблюдений и исследований атмосферного озона* (Изд-во московского университета, 1981).
2. С.П. Перов, А.Х. Хргиан, *Современные проблемы атмосферного озона* (Л.:Гирометеоиздат, 1980).
3. И.А. Прокофьева, *Атмосферный озон* (Изд-во АН СССР, 1951).
4. В.И. Трухин, К.В. Показеев, В.Е. Куницын, А.А. Шрейдер, *Основы экологической геофизики* (Москва. Физ. фак. МГУ, 2000).
5. А.С. Бритаев, А.П. Кузнецов, в сб.: *Атмосферный озон* (М.:МГУ., 1961), с. 171.
6. В.Д. Решетов, в сб.: *Атмосферный озон* (М.:МГУ., 1961), с. 103.

Стаття надійшла до редакції 4.11.2013
прийнята до друку 3.12.2013

AEROSOL-ACOUSTIC MECHANISM OF THE FORMATION OF OZONE

O. Soroka¹, Ya. Chornodolsky²

¹ *Lviv Centre of Institute for Space Research NAS-NSA of Ukraine
5a Naukova Street, 79000 Lviv, Ukraine*

² *Ivan Franko National University of Lviv
8 Kyryla i Mefodiya Street, 79005 Lviv, Ukraine*

A new mechanism of atmospheric ozone formation is presented. The spectral analysis of infrasound energy density and total ozone content changes is fulfilled. The coherence between the acoustic waves and the atmospheric ozone is researched. The possibility of the existence of aerosol-acoustic mechanism of the formation of ozone in the atmosphere is confirmed.

Key words: acoustic waves, atmosphere, aerosol, ozone.

АЭРОЗОЛЬНО-АКУСТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ ОЗОНА

О. Сорока¹, Я. Чернодольский²

¹ *Львовский центр Института космических исследований
НАН-НКА Украины
ул. Научная 5а, 79000 Львов, Украина*

² *Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Кирилла и Мефодия 8, 79005 Львов, Украина*

Предложен новый механизм образования атмосферного озона. Проведен спектральный анализ изменения плотности энергии инфразвука и общего содержания озона. Исследована связь между акустическими волнами и атмосферным озоном. Подтверждена возможность существования аэрозольно-акустического механизма образования озона в атмосфере.

Ключевые слова: акустические волны, атмосфера, аэрозоль, озон.