

УДК 551.510.534

О.С. СОРОКА, молодший науковий співробітник Львівського центру Інституту космічних досліджень НАН та ДКА України, м. Львів, Україна

Я.М. ЧОРНОДОЛЬСЬКИЙ, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри загальної фізики Львівського Національного університету ім. І.Франка, м. Львів, Україна

ВПЛИВ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬ НА ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ АТМОСФЕРИ

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 озоном. Підтверджена можливість існування аерозольно-акустичного механізму утворення озону в атмосфері.

Ключові слова: атмосфера Землі, акустичні хвилі, атмосферний озон, аерозольні частинки, інфразвук в атмосфері, аерозольно-акустичний механізм утворення озону.

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.

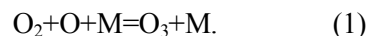
Атмосферний озон вважається найбільш важливою в енергетичному відношенні складовою частиною стратосфери. Вивченням процесів, пов'язаних з атмосферним озоном, займаються багато вчених зі всього світу. Ведуться спостереження за кількістю озону і його “ворогів” – різних забруднюючих речовин, аналізуються 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 пониженням вмісту атмосферного озону над окремими регіонами). А це, в свою чергу, може привести до незворотних процесів, які впливають на екологічний стан і

можуть привести 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, 2, 3, 4].

Основа формування молекул озону є реакція взаємодії із атомарного і молекулярного кисню і зворотна їй реакція розкладу [1, 2, 3, 4]:



M – це 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 розклад озону:



При великих концентраціях газів може відбуватися 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 вно-

сять набагато менший вклад 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 в північних областях. До сьогоднішнього дня не вияснена 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 відпо-

відає за утворення атомарного кисню, вся поглинається вище 25 км. Крім того, немає 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 більш суттєвими ніж фотохімічні реакції.

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

Аерозольний механізм утворення озону

Спочатку розглянемо механізм утворення озону аерозолями. Є 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.

Число ядер конденсації в повітрі при дальності видимості 10-20 км складає біля Землі $10\text{-}20 \cdot 10^3 \text{ см}^3$. Він швидко зменшується з висотою. При радіусі частинок атмосферного аерозолю в “чистому” повітрі 1μ , а частинок хмар і туманів – 10μ і при концентрації їх 10^3 см^3 загальна поверхня, на якій виникають явища сорбції, складає сотні тисячі км^2 в кожному км^3 “чистого” повітря.

Для розуміння процесів утворення озону аерозолями потрібно розглянути особливості сорбційного процесу на межі вода-повітря (рисунок 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 у повітря цих іонів разом з молекулами пару під дією теплового руху молекул. Перехід іонів OH^- у вільні радикали OH^\cdot може відбуватись шляхом віддачі одного електрона іншій частинці. Тоді над поверхнею частинки аерозолю з'являється хмарка вільних радикалів OH^\cdot .

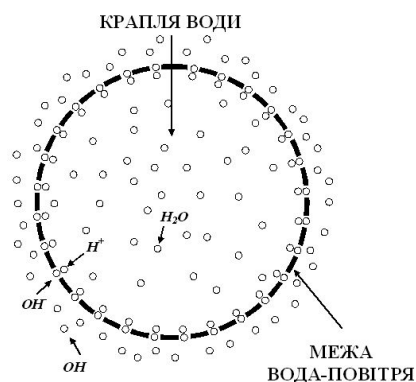


Рисунок 1 – Схематичне представлення процесів на межі вода-повітря

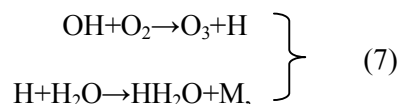
Таким чином, утворення вільних радикалів на поверхні частинок аерозолю і в повітрі йде в два етапи:



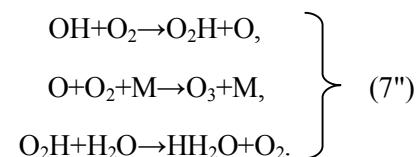
Поява вільних радикалів OH^\cdot на поверхні і над поверхнею аерозолю створює можливість ряду хімічних реакцій з утворенням озону O_3 , по загальній схемі:



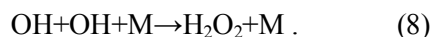
Ланцюги цієї реакції, можливо, розвиваються так:



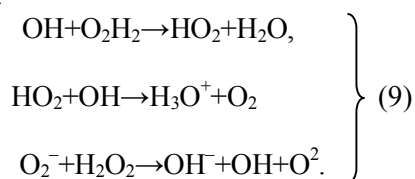
або так:



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

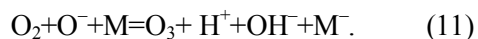
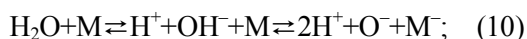


Відомо, що перекис водню є нестійкою сполукою і розпадається при підвищенні температури. Відповідно, при низьких температурах в атмосферному аерозолію може утворюватись і акумулюватись велика кількість перекису водню. При нагріванні перекис водню розпадається з утворенням вільних радикалів:



Так, над поверхнею аерозолію з'являється гідроксил у вигляді дуже активних, у хімічному відношенні, вільних радикалів OH, а також у вигляді іонів OH⁻ і іони гідроксонію H₃O⁺. Це веде до утворення значної кількості озону по описаній вище реакції (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 по схемі:



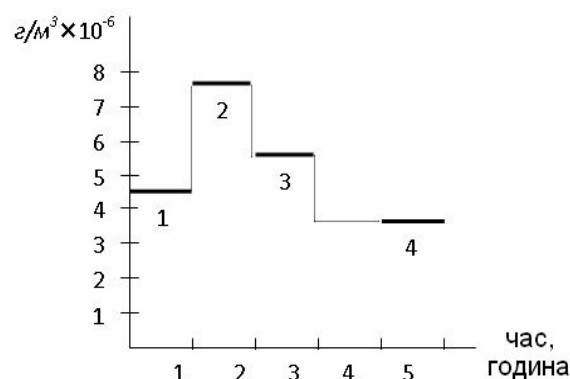
Оскільки розчинність озону у воді на цілий порядок вища, ніж розчинність кисню, він буде поступово акумулюватись в воді аерозолію, особливо при понижених температурах. Але достатньо нагріти холодний аерозоль і з нього одразу ж почнеться десорбція розчиненого озону в повітря, оскільки з підвищенням температури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

Щоб перевірити дану гіпотезу був поставлений експеримент [6]. Полотняний рушник розміром 1,5×2,5 м, який імітує поверхню

Робота аерозольного механізму в реальній атмосфері

Для роботи аерозольного механізму утворення озону необхідно забезпечити транспорт аерозолів із холодних шарів атмосфери в теплі. Це, в основному, вертикаль-

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=10⁻⁶ г озону на 1 м³ повітря) (рисунк 2, відрізок кривої 1). Після того, як рушник принесли, кількість озону збільшилась в приміщенні до 7,8γ (рисунк 2, відрізок кривої 2). Через годину, коли рушник майже висох, концентрація озону була ще підвищена (5,6γ) (рисунк 2, відрізок кривої 3). Потім рушник забрали, після чого через 2 год. кількість озону в приміщенні впала до 3,8γ (рисунк 2, відрізок кривої 4).



Рисунк 2 – Утворення озону в приміщенні вологим рушником [6]

Таким чином, коли вологий рушник принесли в тепле приміщення з “холодної” вулиці привело до збільшення озону в приміщенні в 2-2½ рази, що може підтверджувати існування згаданих вище процесів утворення озону при явищах десорбції охолодженого атмосферного аерозолію при його нагріванні або випаровуванні [6].

В іншому досліді рушник меншого розміру (1×1,5 м) прямо в приміщенні змочувався 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.

ний перенос. Рух аерозольних частинок може відбуватись під дією акустичних хвиль.

Залежно від температури атмосфера Землі поділена на шари (рисунк 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 природні та антропогенні.

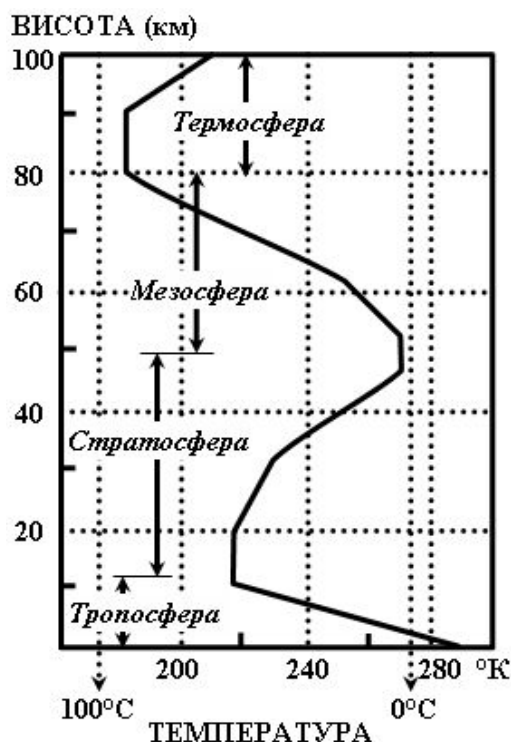


Рисунок 3 - Температурний розподіл в атмосфері

Як видно з рисунку 3 температура в тропосфері набагато менша ніж біля поверхні Землі, а також менша ніж в 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 в стратосферу. В стратосфері температура знову росте і завдяки цьому також відбувається звільнення озону, що призводить до збільшення кількості стратосферного озону (рисунок 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 сайті <http://toms.gsfc.nasa.gov/teacher>, а вимірювання інфразвуку проводилися в Західному регіональному центрі спеціального контролю НКАУ в точці з координатами 48°41'N, 26°30'E.

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

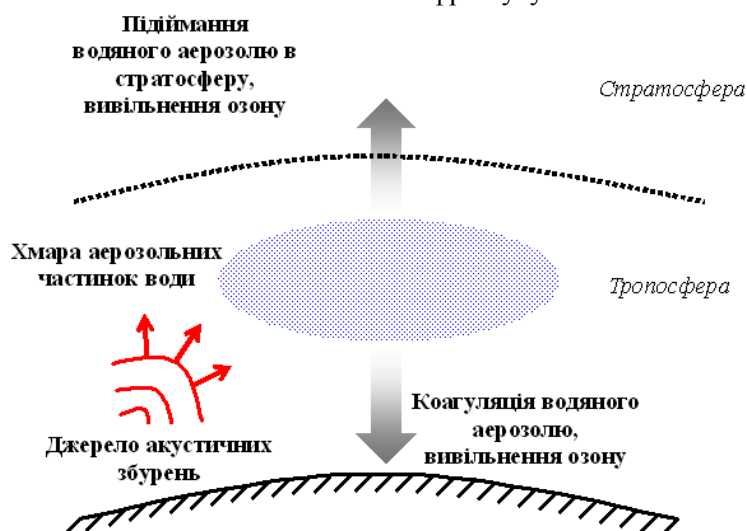


Рисунок 4 – Схема впливу акустичних збурень на атмосферний аерозоль

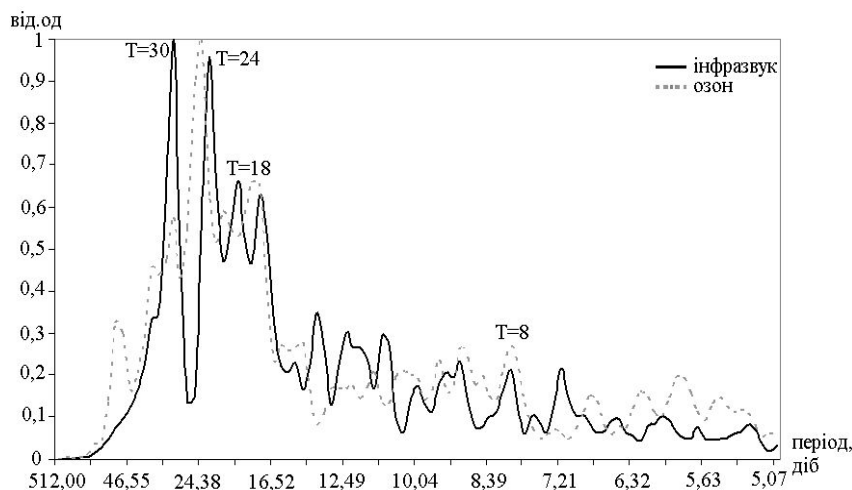


Рисунок 5 – Спектральна густина огинаючої інфразвуку і загального вмісту озону за період 1997-2000 рр., у діапазоні до 30 дБ

Висновки

Отримані результати підтверджують наявність зв'язку між акустичними хвилями та атмосферним озonom. Таким чином, можна

стверджувати про існування аерозольно-акустичного механізму утворення озону в реальній атмосфері.

Перелік посилань

1. Хргиан А.Х. Проблема наблюдений и исследований атмосферного озона / А.Х. Хргиан, Г.И. Кузнецов – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 215 с.
2. Перов С.П. Современные проблемы атмосферного озона / С.П. Перов, А.Х. Хргиан – Л.: Гирометеоиздат, 1980. – 287 с.
3. Прокофьева И.А. Атмосферный озон / И.А. Прокофьева – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1951. – 230 с.
4. Основы экологической геофизики / [Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е., Шрейдер А.А.] – М.: Физический факультет МГУ, 2000 – 290 с.
5. Бритаев А.С. О связи атмосферного озона с метеорологическими условиями / А.С. Бритаев, А.П. Кузнецов // Атмосферный озон. – Изд-во МГУ, 1961. – С. 171-175.
6. Решетов В.Д. Гипотеза аэрозольного происхождения атмосферного озона/ В.Д. Решетов // Атмосферный озон. – Изд-во МГУ, 1961. – С. 103-119.

*Стаття надійшла до редколегії 11.03.2013 р. українською мовою.
Стаття рекомендована членом редколегії д-ром геол. наук О.К. Тяпкіним.*

О.С. СОРОКА*, Я.М. ЧОРНОДОЛЬСКИЙ**

*Львовский центр Института космических исследований НАН и ГКА Украины,
г. Львов, Украина

**Львовский Национальный университет им. И. Франка, г. Львов, Украина

ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА АТМОСФЕРЫ

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

Ключевые слова: атмосфера Земли, акустические волны, атмосферный озон, аэрозольные частицы, инфразвук в атмосфере, аэрозольно акустический механизм образования озона.

O.S. SOROKA*, Y.I. CHORNODOLSKY**

**Lviv Center of Institute for Space Research NAS and NSA of Ukraine, Lviv, Ukraine*

***Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine*

**INFLUENCE OF ACOUSTIC WAVES ON THE PROTECTIVE PROPERTIES
OF THE ATMOSPHERE**

A new mechanism of atmospheric ozone generation is presented. The spectrology of change the density of energy of infrasound and total ozone is conducted. The relation between the acoustic waves and the atmospheric ozone is researched. The possibility of the existence of aerosol-acoustic mechanism of ozone in the atmosphere is confirmed.

***Keywords:* Earth's atmosphere, the acoustic waves, atmospheric ozone, aerosol particles, infrasound in the atmosphere, aerosol acoustic mechanism of the formation of ozone.**