

УДК 550.388.2, 551.610.51

## ПОШУК ТИЖНЕВОЇ ЦИКЛІЧНОСТІ В ПАРАМЕТРАХ АЕРОЗОЛЮ В АТМОСФЕРІ АНТАРКТИКИ У ПОРІВНЯННІ З ПРОМИСЛОВИМИ РЕГІОНАМИ ЗЕМЛІ

А. В. Соїна<sup>1</sup>, Г. П. Міліневський<sup>2,3</sup>, Ю. М. Ямпольський<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Радіоастрономічний інститут НАН України, вул. Мистецтв, 4, м. Харків, 61002, aditu@rian.kharkov.ua

<sup>2</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, 01601

<sup>3</sup>Головна астрономічна обсерваторія НАН України, вул. акад. Заболотного, 27, м. Київ, 03143

**Реферат.** Метою роботи є: (1) порівняння тижневих варіацій аерозольних параметрів промислово розвинутих регіонів Землі з семиденною періодичністю цих характеристик в атмосфері Антарктики, як району з мінімальним техногенним навантаженням; (2) перевірка гіпотези виникнення семиденних варіацій вмісту аерозолі в атмосфері (weekend-ефекту) як результату антропогенної діяльності, що була запропонована авторами раніше за результатами досліджень глобальної грозової активності. Для пошуку семиденних варіацій використовувались дані всесвітньої мережі моніторингу аерозолі AERONET. Було оброблено п'ятирічні масиви даних аерозольної оптичної товщини (АОТ) за період 2009–2013 рр., що вимірювались у двох спектральних каналах 440 та 870 нм, параметра Ангстрема, розрахованого за вимірюваннями на цих двох довжинах хвиль, та дані вмісту осажденої водяної пари за розрахунками у спектральних каналах 936 та 870 нм. В дослідженні були використані дані антарктичних станцій AERONET, у якості «еталонної» території з мінімальним техногенним навантаженням на оточуюче середовище. Обробка даних виконувалась методом накладання епох. В результаті статистичного аналізу поведінки аерозольних параметрів в атмосфері над найбільш промислово розвинутими регіонами Європи, Північної Америки та Азії переконливо знайдено семиденні періодичності, що підтверджує зростаючий техногенний вплив земної цивілізації на довкілля. До головних висновків роботи слід віднести: (1) явище weekend-ефекту, раніше виявлене у концентрації атмосферного аерозолі для окремих міст, спостерігається також при усередненні даних різних пунктів моніторингу кожного з регіонів, які вивчаються (Північна Америка, Європа, Азія); (2) семиденна циклічність у різних частинах світу схожа за особливостями тижневого ходу, практично для всіх аерозольних параметрів спостерігається максимальне значення у другу половину робочого тижня та мінімум на вихідні дні; (3) у районі Антарктики, як регіону з мінімальним техногенним навантаженням, weekend-ефекту у параметрах, що досліджувалися, знайдено не було, що свідчить про виключно антропогенну природу тижневих варіацій у параметрах атмосферних аерозолів.

**Ключові слова:** weekend-ефект, аерозолі, АОТ, кількість осажденої водяної пари, параметр Ангстрема, антропогенний вплив, кореляція, Антарктика.

## ПОИСК НЕДЕЛЬНОЙ ЦИКЛИЧНОСТИ В ПАРАМЕТРАХ АЭРОЗОЛЕЙ В АТМОСФЕРЕ АНТАРКТИКИ В СРАВНЕНИИ С ПРОМЫШЛЕННЫМИ РЕГИОНАМИ ЗЕМЛИ

А. В. Соина<sup>1</sup>, Г.П. Милиневский<sup>2,3</sup>, Ю. М. Ямпольский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Радиоастрономический институт НАН Украины, г. Харьков, aditu@rian.kharkov.ua

<sup>2</sup>Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Киев

<sup>3</sup>Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, г. Киев

**Реферат.** Целью работы является: (1) сравнение недельных вариаций аэрозольных параметров промышленно развитых регионов Земли с семидневной периодичностью этих характеристик в атмосфере Антарктики, как района с минимальной техногенной нагрузкой; (2) проверка гипотезы возникновения семидневных вариаций содержания аэрозоля в атмосфере (weekend-эффекта) как результата антропогенной деятельности, предложенной авторами ранее, по результатам исследований глобальной грозовой активности. Для поиска семидневных вариаций использовались данные всемирной сети мониторинга аэрозолей AERONET. Были обработаны пятилетние массивы данных аэрозольной оптической толщины (АОТ) за период 2009–2013 гг., которая измерялась в двух спектральных каналах 440 и 870 нм, параметра Ангстрема, рассчитанного по измерениям на этих двух длинах волн, и данные содержания осажденного водяного пара по расчетам

в спектральних каналах 936 и 870 нм. В исследовании использовались данные антарктических станций AERONET, в качестве «эталонной» территории с минимальной техногенной нагрузкой на окружающую среду. Обработка данных осуществлялась **методом** наложения эпох. В **результате** статистического анализа поведения аэрозольных параметров в атмосфере над наиболее промышленно развитыми регионами Европы, Северной Америки и Азии обнаружены семидневные периодичности, что подтверждает увеличение техногенного влияния земной цивилизации на окружающую среду. К основным **выводам** работы следует отнести: (1) явление weekend-эффекта, ранее обнаруженное в концентрации атмосферного аэрозоля для отдельных городов, наблюдается также при усреднении данных различных пунктов мониторинга каждого из изучаемых регионов (Северная Америка, Европа, Азия); (2) семидневная цикличность в разных частях света схожа по особенностям недельного хода, практически для всех аэрозольных параметров наблюдаются максимальные значения во вторую половину рабочей недели, а минимум - в выходные дни; (3) в районе Антарктики, как региона с минимальным техногенным влиянием, weekend-эффект в исследуемых параметрах, обнаружен не был, что свидетельствует о исключительно антропогенной природе недельных вариаций в параметрах атмосферных аэрозолей.

**Ключевые слова:** weekend-эффект, аэрозоли, АОТ, количество осаждаемого водяного пара, параметр Ангстрема, антропогенное влияние, корреляция, Антарктика.

## SEARCHING OF WEEKLY CYCLES IN THE AEROSOL PARAMETERS OF ANTARCTIC ATMOSPHERE IN COMPARISON WITH EARTH INDUSTRIAL REGIONS

A.V. Soina<sup>1</sup>, G.P. Milinevsky<sup>2,3</sup>, Yu.M. Yampolsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Radio Astronomy, National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, aditu@rian.kharkov.ua

<sup>2</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

<sup>3</sup> Main Astronomical Observatory, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

**Abstract. Objectives:** (1) comparison of the 7-day variation of aerosol parameters of industrially developed regions of the Earth with weekly changes in the Antarctica as an area with a minimum technogenic load; (2) test the anthropogenic nature hypothesis of 7-day variation of aerosol content in the atmosphere (weekend-effect), which was previously proposed by the authors on the research of global thunderstorm activity; (3) weekend changes have not been revealed in Antarctic region due to the neglect anthropogenic load in this area. The data from the aerosol international AERONET monitoring network was used to search for 7-day variations. Five-year aerosol optical thickness (AOT) data in two spectral channels of 440 and 870 nm for the 2009-2013 period were processed. The Ångström exponent was calculated from the measurements at these two wavelengths, and the precipitable water vapor data have been revealed from measurements in the spectral channels of 936 and 870 nm. We use the Antarctic AERONET stations data, as a “reference” values due to minimum anthropogenic load on the environment in this area. Data processing was performed by the epoch-superimposing **method**. As a **result** of the statistical analysis of aerosol parameters behavior in the atmosphere over the most industrially developed regions of Europe, North America and Asia, seven-day periodicity has been revealed, that confirms the increasing technogenic impact on the environment. The main **conclusion** of the work includes: (1) the weekend effect, previously found in the concentration of atmospheric aerosol for individual cities, is also manifested in the mean data of different monitoring stations of the studied regions (North America, Europe, Asia); (2) the 7-day cycle behavior in different parts of the world is similar for all aerosol parameters, when the maximum value is observed in the second half of the working week and at least on weekends; (3) in the Antarctic region as the area with the minimum of technogenic load, the weekend-effect was not found, which indicates the exclusively anthropogenic nature of weekly variations in the atmospheric aerosol parameters.

**Key words:** weekend-effect, aerosol, AOT, precipitable water vapor, Ångström exponent, anthropogenic influence, correlation, Antarctica.

### 1. Вступ

У минулому сторіччі внаслідок швидкого розвитку промисловості, транспорту та інтенсифікації сільськогосподарської діяльності атмосфера Землі зазнала суттєвих змін. До них можна віднести такі явища, як збільшення концентрації парникових газів, зростання температури, зміни водного режиму у циркуляції повітряних потоків окремих регіонів планети та інші. Найбільше ознаки техногенного впливу проявляються в урбанізованих та промислово розвинутих районах. Антропогенна активність стимулює глобальні зміни в атмосфері і спричиняє виникнення нового циклу, що пов'язаний з семиденним тижнем, який не існував до індустріальної епохи.

Раніше у роботах (Пазнухов та ін., 2012; Соїна та ін., 2015) було проведено детальний огляд публікацій, в яких досліджувались тижневі варіації у поведінці різних параметрів довкілля, а саме: температури повітря, атмосферного тиску, електромагнітного випромінювання, концентрації CO<sub>2</sub>, діоксиду та монооксиду азоту (You et al., 2009; Laux et al., 2008; Колосков та ін., 2009; Earl, 2016). Крім того, авторами були представлені результати оригінального дослідження щодо пошуку семиденної циклічності, або weekend-ефекту (Пазнухов та ін., 2012), у рівні глобальної грозової активності, що була відновлена по варіаціям потужності наднизькочастотних (ННЧ) шумів у діапазоні 5–25 Гц. В цій же роботі було запропоновано гіпотезу виникнення тижневих варіацій у параметрах глобальної грозової активності, на яку суттєво впливають атмосферні аерозолі.

Аерозолями називають дисперсні системи, що складаються з дрібних твердих або рідких частинок, які зважені в атмосфері. Атмосфера як у міських, так і у віддалених районах містить значні концен-

трації аерозольних частинок, іноді досягаючи  $10^6$ – $10^7$  см<sup>-3</sup>. Діаметри цих частинок охоплюють понад чотири порядки від декількох нанометрів до приблизно 100 мкм. Частинки, що виникають під час згорання палива, наприклад, у автомобілях, теплових електростанціях, та горіння деревини, мають розміри від кількох нанометрів до 1 мкм. Аерозолі, які складаються зі стовпого пилю, пилю рослин, морської солі, як правило, мають розміри більше 1 мкм. Масштаби частинок, які утворюються в атмосфері у фотохімічних процесах, не перевищують 1 мкм. Розмір аерозольних частинок впливає як на час їх життя в атмосфері, так і на фізичні та хімічні властивості (Seinfeld and Pandis, 2016). Найбільша концентрація аерозолів в атмосфері Землі спостерігається у тропосфері, іноді під час потужних вивержень вулканів аерозолі з'являються і у стратосфері, де суттєво впливають на клімат планети (Zuev et al., 2017; Ridley et al., 2014). Незважаючи на відносно невелику концентрацію зважених часток, їх вплив на стан атмосферного газу проявляється істотно. Зокрема, вони є ядрами конденсації водяної пари, змінюють альбедо хмар, впливають на терморегуляцію атмосфери та інші аерономічні процеси (Seinfeld and Pandis, 2016). Головними природними «постачальниками» таких частинок у атмосферу слід вважати океани, пустелі, виверження вулканів, степові і пустельні пилові бурі, пилок рослин. Стрімкий розвиток промисловості та збільшення навантаження на довкілля обумовили також появу аерозолів антропогенного походження. До головних джерел надходження у довкілля таких аерозолів слід віднести промисловість, сільське господарство, транспорт.

Потрібно зауважити, що вплив аерозолів на зміни стану нижніх шарів атмосфери вивчається давно (Seinfeld and Pandis, 2016). Актуальність цих досліджень збільшується у зв'язку зі швидким розвитком промисловості та посиленням антропогенного впливу на повітряну оболонку. На сьогоднішній день у світі викидається більше  $10^8$  т техногенних аерозолів тільки від стаціонарних джерел забруднення, вплив яких на атмосферу особливо істотно позначається у промислово розвинутих, урбанізованих регіонах нашої планети.

Очевидно, що циклічність поведінки аерозолів штучного походження нав'язана діяльністю людського суспільства, де головний ритм задано тижневою періодичністю. Пошук такої циклічності у поведінці аерозолів проводилися різними авторами (Stallins et al., 2013; Baumer et al., 2013), в тому числі і нами (Соїна та ін., 2015). Задачею даної публікації є пошук та аналіз семиденної періодичності в аерозольних параметрах в Антарктиці у порівнянні з іншими регіонами планети.

## 2. Методи і матеріали

Для пошуку семиденних варіацій в аерозольних параметрах були використані дані світової мережі моніторингу аерозолу AERONET (Holben et al., 1998). Базовими інструментами якої є уніфіковані автоматичні, мультиспектральні сонячні фотометри типу Cimel CE318 (Франція), що призначені для вимірювання прямої та розсіяної сонячної радіації. Діапазон довжин хвиль цих інструментів лежить у межах від 340 нм до 1640 нм. На сьогодні мережа AERONET нараховує більше 1100 зареєстрованих пунктів спостережень, з них більше 500 станцій, які діють постійно.

В роботі проаналізовані п'ятирічні масиви даних (з 2009 по 2013 рр.) аерозольної оптичної товщини (АОТ), що вимірювалась у двох спектральних каналах 440 нм та 870 нм (далі АОТ440 і АОТ870), товщини шару осажденної водяної пари, яка розраховується за вимірами на довжині хвилі 936 нм (далі ОВП) та попадає у смугу поглинання осажденної водяної пари у порівнянні з даними на 870 нм (поза смугою поглинання водяної пари). Додатково було проведено аналіз тижневих варіацій параметра Ангстрема, величини, що дозволяє судити про розміри аерозольних частинок (чим більше параметр Ангстрему, тим більше концентрація дрібнодисперсної фракції аерозолів у повітрі). Цей параметр розраховується за вимірами АОТ на довжинах хвиль 440 і 870 нм.

Для аналізу були використані дані п'ятирічних спостережень в Антарктиці, Європі, Азії та у Північній Америці. У кожному регіоні, крім Антарктики, було обрано по п'ять пунктів мережі AERONET, географічні координати яких наведені у таблиці. Для порівняння особливостей тижневого ходу аерозольних частинок в урбанізованих та екологічно чистих територіях і встановлення природи виникнення weekend-ефекту було також виконано пошук тижневих варіацій характеристик аерозолів для регіону з мінімальним антропогенним навантаженням в Антарктиці. Слід відмітити, що станції AERONET, які розташовані у Антарктиді, внаслідок особливостей умов освітлення та специфіки роботи сонячного фотометру ефективно працюють тільки 2-3 місяці на рік.

Оскільки результативне функціонування фотометрів можливе тільки у денний час доби, отримані часові ряди спостережень є дискретними. Для систематичної обробки масивів вихідних даних було обрано «метод накладання епох», який полягає в тому, що часовий ряд спостережень розбивається на семиденні інтервали. Потім розраховуються середньоарифметичні значення даних вимірювань та середньоквадратичні відхилення (СКВ) для кожного дня тижня. За результатами обчислень будувались залежності АОТ440, АОТ870, ОВП та параметра Ангстрема АЕ(440/870) від дня тижня з понеділка по неділю. Визначення weekend-ефекту встановлювалось шляхом усереднення результатів спостережень у кожному пункті за 5 років. Статистична обробка виконувалась із застосуванням програми Grapher 8 (<http://www.goldensoftware.com/products/grapher>).

**Інформація щодо розташування пунктів мережі AERONET,  
 які використовувались для пошуку weekend-ефекту**

Table

**Information on the AERONET network sites location that was used to study the weekend-effect**

Пункт спостереження AERONET	Координати	Висота над рівнем моря, м
Антарктика		
South Pole Obs NOAA	89°59'45" пд. ш. 70°17'60" сх. д.	2850
Vechernaya Hill	67°39'36" пд. ш. 46°09'28" сх. д.	80
Utsteinen	71°57'00" пд. ш. 23°19'58" сх. д.	1396
Європа		
Paris (France)	48°52'01" пн. ш. 02°19'58" сх. д.	50
Munich University (Germany)	48°08'52" пн. ш. 11°34'22" сх. д.	533
Leipzig (Germany)	51°21'07" пн. ш. 12°26'06" сх. д.	125
Belsk (Poland)	51°50'13" пн. ш. 20°47'31" сх. д.	190
Kyiv (Ukraine)	50°21'50" пн. ш. 30°29'49" сх. д.	200
Північна Америка		
Cartel X (USA)	45°22'24" пн. ш. 71°55'51" зх. д.	300
Table Mountain (USA)	40°07'30" пн. ш. 105°14'13" зх. д.	1689
Toronto (Canada)	43°46'48" пн. ш. 79°28'12" зх. д.	300
Univ of Houston (USA)	29°43'04" пн. ш. 95°20'31" зх. д.	65
Harvard Forest (USA)	42°31'55" пн. ш. 72°11'16" зх. д.	322
Азія		
XiangHe (China)	39°45'14" пн. ш. 116°57'43" зх. д.	36
Chiang Mai Met Sta (Thailand)	18°46'15" пн. ш. 98°58'19" зх. д.	312
Dalanzadgad (Mongolia)	43°34'37" пн. ш. 104°25'08" зх. д.	1470
Hong Kong PolyU (China)	22°18'10" пн. ш. 114°10'48" зх. д.	30
Silpakorn Univ (Thailand)	13°49'08" пн. ш. 100°02'27" зх. д.	72

Структура моніторингової мережі AERONET, особливості роботи фотометрів, а також детальний алгоритм первинної обробки інформаційних параметрів, викладені у (Holben et al. 1998; Dubovik and King, 2000; Dubovik et al., 2008; Milinevsky et al., 2014; Соїна та ін., 2015). Враховуючі те, що для аналізу було обрано дані пунктів моніторингу, які розташовані в середніх широтах Північної півкулі з подібним техногенним навантаженням, можна було припустити, що особливості їх тижневої динаміки будуть проявляти себе аналогічним чином. Для підтвердження або спростування гіпотези щодо глобальності семиденної циклічності розраховувались також коефіцієнти взаємної кореляції між характеристиками, які оцінювалися, у трьох урбанізованих регіонах.

### 3. Результати аналізу

В роботі було виконано порівняння сумарних гістограм тижневого ходу АОТ440, АОТ870, кількості осадженої водяної пари та варіації параметра Ангстрема АЕ в атмосфері над Антарктикою, а також над європейським, азіатським та північноамериканським промисловими регіонами. Під час дослідження було визначено, що особливості weekend-ефекту у кожному з регіонів, що досліджуються, дещо відрізняється як якісно, так і кількісно. Розглянемо більш детально параметри тижневої циклічності окремо по регіонах.

#### 3.1. Особливості прояву weekend-ефекту в АОТ440

Обробка усереднених п'ятирічних даних для обраних територій показала, що тижневий хід в АОТ440 в індустріальних регіонах є чітко вираженим. Максимальні показники цього параметру в Європі спостерігаються у четвер-п'ятницю (рис. 1, а), мінімум припадає на вихідні дні, а потім простежується монотонний зріст концентрації протягом першої доби робочого тижня. Середнє значення величини АОТ440 складає 0.2. Тижнева циклічність цього параметру для північноамериканського регіону (рис. 1б) проявляється аналогічним чином – максимальні значення також припадають на п'ятницю, чітко виражений мінімум помітний у неділю. Середнє значення АОТ у районі Північної Америки є вдвічі меншим порівняно з АОТ у європейському регіоні і дорівнює близько 0.1.

Для азіатського регіону (рис. 1, в) характерні максимальні значення у суботу, мінімум припадає на неділю, а монотонний зріст спостерігається в інші дні робочого тижня. Середня величина АОТ440 значно відрізняється від аналогічного показника у Європі та Північній Америці, та дорівнює 0.5.

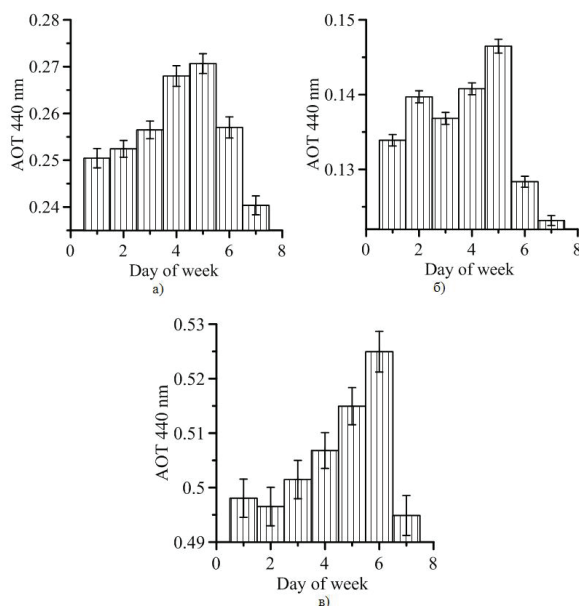


Рис. 1. Семиденні варіації АОТ440 (2009–2013 рр.) для: (а) Західної Європи; (б) Північної Америки; (в) Азії.

Fig. 1. Seven-day variations of AOT440 (2009-2013) for: (a) Western Europe; (b) North America; (c) Asia.

### 3.2. Особливості прояву тижневої циклічності в АОТ870

Відомо, що вимірювання сонячного фотометру мережі AERONET на довжині хвилі 870 нм знаходиться поза діапазоном молекулярних смуг поглинання атмосферних газів. За загальними даними у варіаціях АОТ870 у Європі спостерігається weekend-ефект з мінімумом, який припадає на вихідні дні (рис. 2а), та максимальним значенням у п'ятницю. Середнє кількісне значення АОТ870 для цього регіону дорівнює приблизно 0.09. Максимум тижневого ходу АОТ870 спостерігається у п'ятницю також у Північній Америці (рис. 2б), тоді як добре виражений мінімум у цьому регіоні припадає на суботу – неділю. З понеділка по четвер значення АОТ870 практично не змінюється. Середнє значення даного показника по п'яти пунктах моніторингу дорівнює 0.05. В атмосфері над Азією семиденна циклічність АОТ870 також простежується дуже добре (рис. 2в). Максимум спостерігається в суботу, середнє значення АОТ870 дорівнює приблизно 0.2.

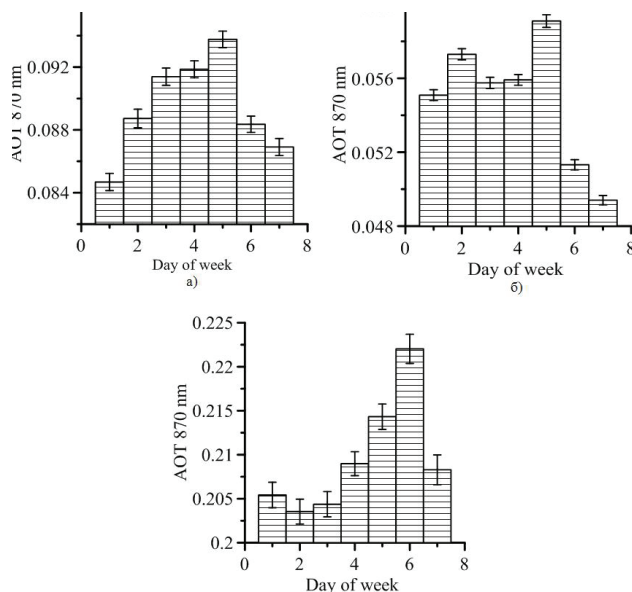


Рис. 2. Семиденні варіації АОТ870 в атмосфері (а) Західної Європи; (б) Північної Америки; (в) Азії за даними 2009–2013 рр.

Fig. 2. Seven-day variations of AOT870 in the atmosphere of (a) Western Europe; (b) North America; (c) Asia according to 2009-2013 data.

В цілому у значеннях АОТ870 та АОТ440 семиденна циклічність простежується для всіх регіонів, що вивчаються, крім того, малі значення середньоквадратичного відхилення (СКВ) дозволяють говорити про стійке явище weekend-ефекту для всіх досліджуваних індустріально розвинутих районів планети.

### 3.3. Особливості семиденної циклічності у кількості осадженої водяної пари

Кількість осадженої водяної пари (ОВП) суттєво впливає на повітряну оболонку Землі. Особливо це стосується регіонів з великим антропогенним навантаженням, оскільки ця величина залежить як від прямого впливу (викидів) так і від опосередкованого впливу теплового забруднення (Kourtidis et al., 2015; Huttunen et al., 2014). Величина осадженої водяної пари в атмосфері різних частин світу відрізняється. Так, для Америки та Європи величина ОВП (за вимірюваннями AERONET в одиницях см) в середньому по пунктах моніторингу дорівнює близько 1.3 см, а для Азії цей параметр збільшується в середньому приблизно до 2.3 см. Семиденні варіації параметру ОВП для кожного регіону проявляються по-різному. Зокрема, у Європі добре спостерігається weekend-ефект з максимумом у четвер – п'ятницю та мінімумом, який випадає на вихідні дні (рис. 3а). В Азії максимальні значення ОВП також припадають на четвер – п'ятницю, проте мінімум спостерігається не у вихідні дні, а на початку робочого тижня (рис. 3в). У Північній Америці вміст вологи в атмосфері весь робочий тиждень тримається практично на одному рівні та різко падає до суботи – неділі (рис. 3б).

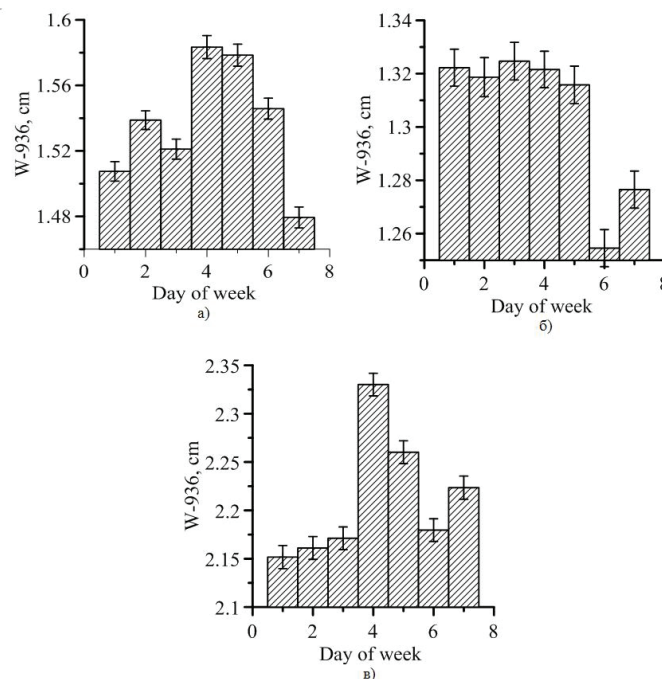


Рис. 3. Семиденні варіації осадженої водяної пари (precipitable water vapor, W-936, cm) за даними 2009–2013 рр. для: (а) Західної Європи; (б) Північної Америки; (в) Азії.

Fig. 3. Seven-day variations of the precipitable water vapor, W-936 (cm) averaged in the 2009-2013 period for: (a) Western Europe; (b) North America; (c) Asia.

### 3.4. Пошук weekend-ефекту у варіаціях параметру Ангстрема

Параметр Ангстрема є показником розподілу аерозольних частинок за розмірами. Більші значення АЕ відповідають частинкам дрібнодисперсної фракції аерозолю, менші значення відповідають частинкам крупнодисперсної фракції. По його величині можна робити припущення про долю вмісту у концентрації атмосферних аерозолів частинок, які мають техногенне походження, оскільки вони здебільшого відносяться до дрібнодисперсної фракції (сажа, дими тощо). Раніше у роботі (Соїна та ін., 2015) авторами були знайдені тижневі варіації параметра Ангстрема у деяких містах західної Європи зі збільшенням частки дрібнодисперсної фракції до середини тижня. У даному дослідженні також було проведено пошук weekend-ефекту у варіаціях параметра Ангстрема для різних регіонів (рис. 4), проте при усередненні даних тижневі варіації для деяких досліджуваних регіонів практично зникають. Так, за даними Західної Європи та Азії визначити чи є залежність значень АЕ від дня тижня практично неможливо. Але для Північної Америки можна вважати, що значення АЕ збільшуються протягом тижня з понеділка до неділі, що може вказувати на збільшення внеску дрібнодисперсної антропогенної фракції аерозолю у його загальний вміст (рис. 4б). Кількісно, ця величина змінюється у середньому в межах 1.25 – 1.44. Доцільно відмітити, що час життя дрібнодисперсних фракцій аерозолю в атмосфері може становити інтервали декількох днів, що ускладнює прояви weekend-ефекту. Суттєвий вплив на поведінку дрібних і легковажних частинок завдають процеси локальної атмосферної циркуляції, яка суттєво відрізняється в регіонах досліджень, що також може маскувати тижневий цикл.

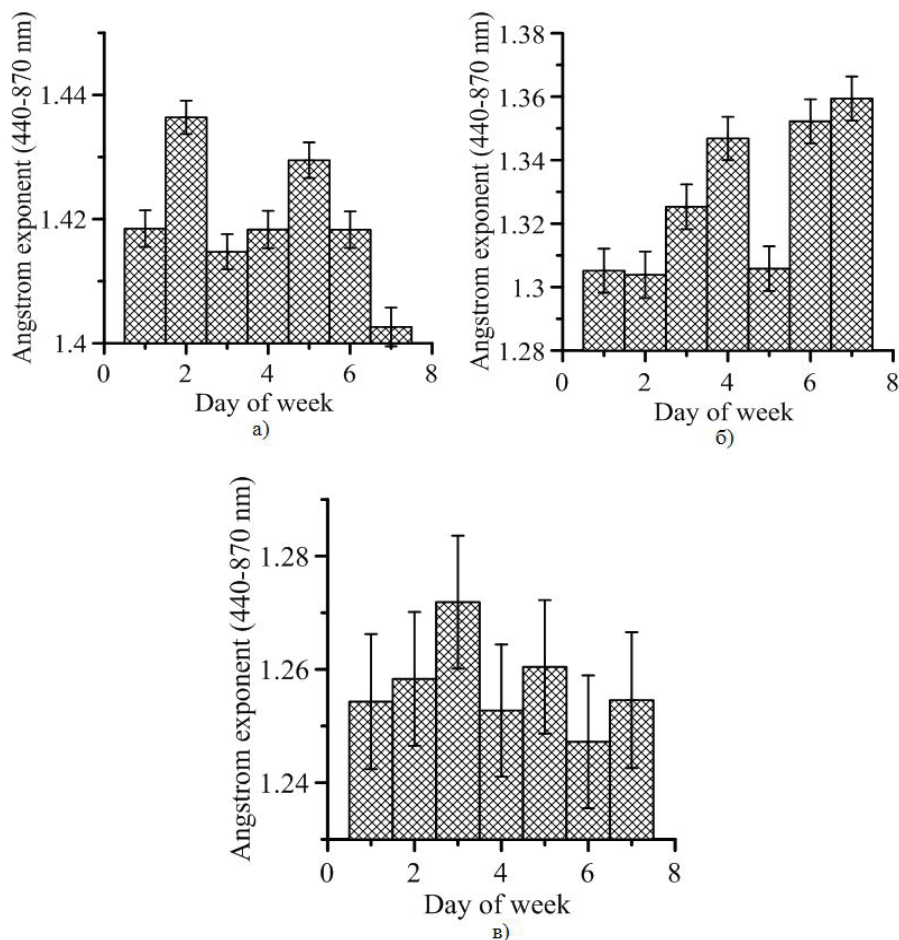


Рис. 4. Тижневі варіації параметра Ангстрема (2009–2013 рр.) для: (а) Західної Європи; (б) Північної Америки; (в) Азії.

Fig. 4. Weekly variations of the Ångström exponent (2009–2013) for: (a) Western Europe; (b) North America; (c) Asia.

### 3.5. Кореляція між тижневими циклами в Азії, Північній Америці та Європі

Аналіз гістограм, які вказують на weekend-ефект у параметрах атмосферних аерозолів для деяких техногенно розвинутих регіонів Землі, показав, що у більшості випадків максимальне значення величин АОТ спостерігається напередодні кінця робочого тижня зі зменшенням у вихідні дні. Проте для повного розуміння подібності weekend-ефекту для трьох частин світу – Азії, Європи та Північної Америки – були розраховані коефіцієнти взаємної кореляції тижневих циклів АОТ440, АОТ870 та ОВП між усіма цими регіонами

Розрахунки показали, що найбільші коефіцієнти кореляції аерозольної оптичної товщини спостерігаються між усередненими даними пунктів моніторингу Західної Європи та Північної Америки. Для АОТ870 коефіцієнт кореляції складає 0.60, для АОТ440 він дорівнює 0.82. Для розрахунків коефіцієнту кореляції між значеннями АОТ в атмосфері над Північною Америкою, Західною Європою та Азією було враховано часовий зсув. В таких розрахунках для значень АОТ870 коефіцієнт кореляції між даними для Азії та Північної Америки дорівнює 0.53, між даними для Азії та Європи дорівнює 0.87. Для значень АОТ440 над Азією та Європою, а також над Азією та Північною Америкою при зсуві даних на одну добу коефіцієнт кореляції дорівнює 0.82.

### 3.6. Пошук тижневих варіацій аерозольних характеристик для станцій AERONET в Антарктиді

Для кращого розуміння ступеню техногенного впливу на концентрацію аерозолів в атмосфері Землі, а також для більш ефективного відпрацювання гіпотези виникнення weekend-ефекту в аерозольних параметрах, було виконано пошук семиденної циклічності в атмосфері над Антарктикою, як регіону з мінімальним антропогенним впливом. Для подальшого аналізу були використані дані з двох прибережних станцій AERONET – Vechnaya Hill та Utsteinen, а також станції South Pole Obs NOAA, яка встановлена практично на Південному полюсі і знаходиться на відстані не менше ніж у 1400 км від найближчих джерел антропогенного навантаження на атмосферу ([https://aeronet.gsfc.nasa.gov/new\\_web/photo\\_db/South\\_Pole\\_Obs\\_NOAA.html](https://aeronet.gsfc.nasa.gov/new_web/photo_db/South_Pole_Obs_NOAA.html)). Оскільки кліматичні умови прибережної зони антарктичного материка та району Південного полюсу суттєво відрізняються, пошук weekend-ефекту проводився окремо по цих регіонах. Для аналізу використовувались дані аерозольних параметрів за 2009–2013 роки.

Як уже згадувалося, вимірювання сонячним фотометром на антарктичних станціях South Pole Obs NOAA, Vechernaya Hill та Utsteinen, можливі лише декілька місяців на рік у зв'язку з географічними особливостями розташування антарктичного материка. Однак навіть за такими вимірюваннями на цих станціях можна визначити наявність чи відсутність у даному регіоні явища weekend-ефекту в аерозольних параметрах та значеннях ОБП. Крім того, важливо провести порівняння довготривалих змін аерозольних характеристик на територіях з низьким впливом на довкілля, зі змінами цих же параметрів та за такий же самий період, але у районах зі значним антропогенним навантаженням.

Аналізуючи гістограми, що ілюструють тижневий хід аерозольних параметрів двох прибережних станцій моніторингу AERONET (рис. 5), треба відмітити, що (1) семиденної циклічності у АОТ440 та АОТ870 (рис 5а, 5б) у прибережних районах Антарктиди знайдено не було, а кількісні показники обох параметрів АОТ майже співпадають і дорівнюють 0.04 – 0.08; (2) у величині осадженої водяної пари простежуються тижневі варіації (рис. 5в) з мінімальними значеннями в середині тижня (середа-четвер) і максимальними значеннями у неділю та понеділок; (3) weekend-ефект в параметрі Ангстрема відсутній (рис. 5г), а його значення коливаються від 1.7 до 1.9.

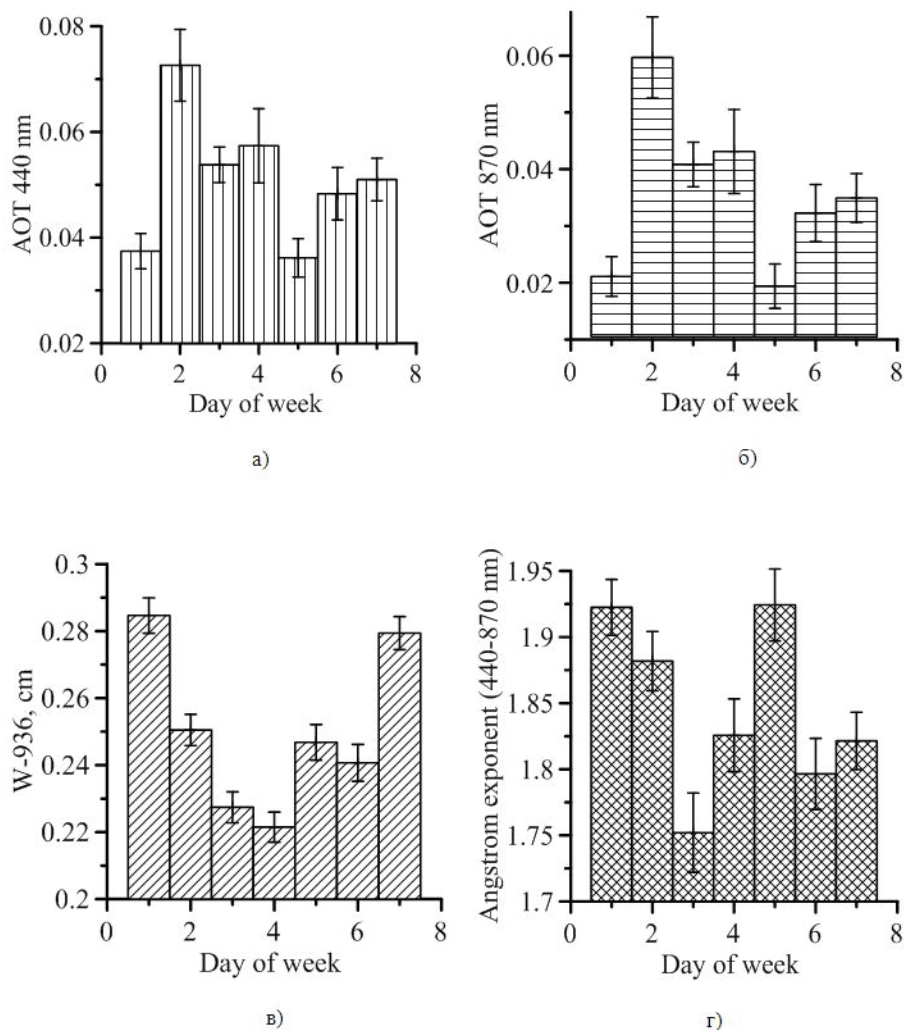


Рис. 5. Тижневий хід аерозольних характеристик для прибережного району Антарктики (2009–2013 рр.): (а) АОТ440; (б) АОТ870; в) вміст осадженої водяної пари, см; г) параметра Ангстрема.

Fig. 5. Weekly aerosol behavior for the Antarctic Coastal Region (2009–2013): (a) AOT440; (b) AOT870; c) the precipitable water vapor, cm; d) Ångström exponent (440–870 nm).

Гістограми, які ілюструють тижневі варіації АОТ440 (рис. 6а), АОТ870 (рис. 6б), кількості осадженої води (рис. 6в) та параметр Ангстрема (рис. 6г) за даними станції South Pole Obs NOAA, наведені на рис. 6. Аналізуючи отримані гістограми, відмітимо, що поведінка параметрів аерозолі на Південному полюсі не залежить від існування семиденного робочого тижня. До того ж АОТ в районі Південного полюсу є на порядок меншою ніж у промислово розвинених регіонах. За вимірюваннями АОТ440 (рис. 6, а) отримані значення 0.022, АОТ870 (рис. 6б) дорівнює 0.01, кількість осадженої водяної пари складає 0.05 см, а параметр Ангстрема (рис. 6г) дорівнює у середньому 0.95, що свідчить про переважання у складі атмосферних аерозолів крупнодисперсних частинок.



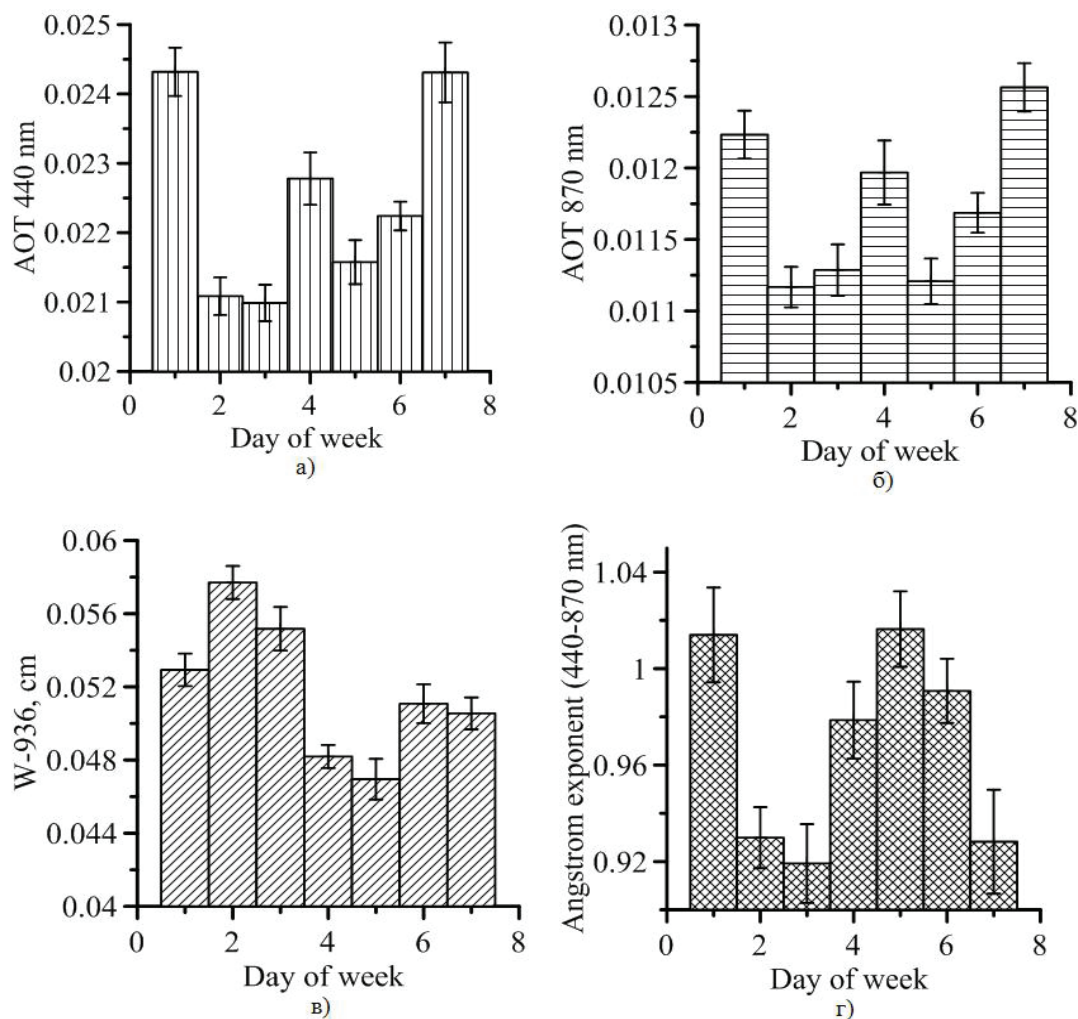


Рис. 6. Варіації протягом тижня аерозольних характеристик району Південного Полюсу: (а) АОТ440; (б) АОТ870; в) вміст осадженої водяної пари, см; г) параметра Ангстрема (2009–2013 рр.).

Fig. 6. Weekly behavior of aerosol characteristics in the South Pole region: (a) AOT440; (b) AOT870; c) precipitable water vapor content, cm; d) Ångström exponent (2009–2013).

Слід відзначити хаотичність варіацій аерозольних параметрів протягом тижня у прибережних регіонах Антарктики і на Південному полюсі, які є районами, значно віддаленими від антропогенних джерел аерозольного забруднення. Так, наприклад, у прибережних районах максимальні значення АОТ440 та АОТ870 припадають на вівторок, тоді як на полюсі – на понеділок-неділю і не відповідають очікуваному зростанню АОТ протягом тижня, як у індустріально забруднених районах (рис. 1 та рис. 2). Тижневі зміни вмісту осадженої водяної пари є також хаотичними в атмосфері над Антарктикою. Властивості атмосфери над територією, що знаходиться у прибережній зоні антарктичного материка, відрізняється від атмосферних показників Південного полюсу суттєво більшими значеннями АОТ440, АОТ870, кількості осадженої водяної пари та параметра Ангстрема. Такі відмінності пояснюються як різними кліматичними умовами, так і різними висотами розташування антарктичних станцій AERONET. Значення аерозольної оптичної товщини у прибережній зоні більші приблизно в 3–4 рази, водяної пари в 5–7 разів, параметра Ангстрема у два рази.

Отже, можна констатувати, що залежність аерозольних характеристик від дня тижня, що чітко простежується у промислово розвинутих регіонах північної півкулі, в Антарктиці відсутня.

### 3.7. Порівняння довгострокових змін вмісту аерозолі за даними різних станцій AERONET

Відомо, що аерозоль є однією з найбільш змінних складових атмосфери за вмістом і оптичними характеристиками, особливо з огляду на антропогенне забруднення аерозолями в індустріально розвинутих районах світу (Giles et al., 2012; Chen et al., 2017). У нашому дослідженні вибирались пункти моніторингу AERONET, що розташовуються поблизу великих міст, промислових центрів, тощо, для того щоб визначити вплив антропогенної діяльності на концентрацію аерозолів в атмосфері та виявити семиденну циклічність. Виняток становить антарктичний регіон, дані якого використовувались у якості «фонових», таких, що майже не залежать від антропогенного навантаження.

У роботі раніше ми наводили середні кількісні значення аерозольної оптичної товщини та інших параметрів аерозолі у кожному з регіонів. Довгострокові зміни вмісту аерозолі за даними різних станцій представлені на рис. 7а, де наведено усереднені за рік значення параметру АОТ440 для усіх станцій, дані яких аналізувались за період з 2009 по 2013 рр. На рис. 7б представлено усереднені за рік та за кількома станціями значення параметру АОТ440 по кожному з чотирьох регіонів за 2009 – 2013 рр.

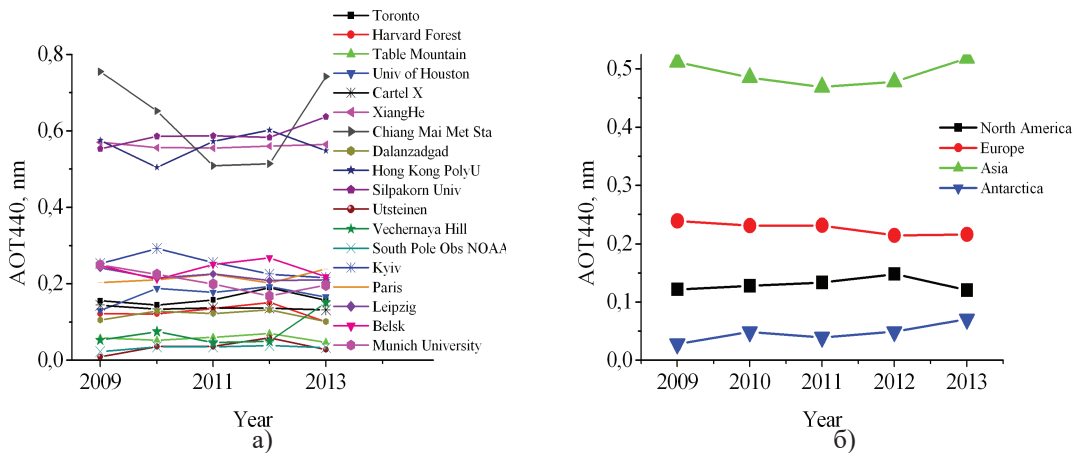


Рис. 7. Довгострокові зміни АОТ440 за (а) даними різних станцій АЕРОNET та (б) усередненими даними станцій АЕРОNET для різних регіонів протягом 2009–2013 рр.

Fig. 7. Longterm changes of AOT440 by (a) AERONET sites data and (b) averaged data for several regions in the 2009–2013 period.

Згідно із кількісним вмістом аерозолів в атмосфері за даними рис. 7 можна зробити деякі висновки щодо рівня аерозольного забруднення атмосфери. Як видно з рис. 7, найбільша величина АОТ440, а отже, й вміст аерозолів, спостерігається у азійському регіоні, а найменша зареєстрована на антарктичних станціях моніторингу. Зауважимо, що саме азійський регіон на сьогоднішній день найбільше за інші райони, що досліджувались у роботі, потерпає від антропогенного забруднення атмосфери (Chen et al., 2017). Наразі розбіжність між зареєстрованими на різних континентах величинами АОТ є суттєвою. Так середні значення АОТ440 в Азії майже у 16 разів більше за антарктичне, та у 2-3 рази більше значень АОТ в атмосфері Північної Америки та Європи. За даними на рис. 7 також можна відзначити, що аерозольне забруднення в Європі та Північній Америці дещо зменшується, що є результатом законодавчого регулювання викидів аерозольних частинок у цих регіонах, а в азійському регіоні, а також в Антарктиці вміст аерозолі дещо зростає. Згідно з кількісним вмістом аерозолі в атмосфері в різних регіонах можна робити висновки не тільки щодо забруднення аерозолями природного або антропогенного походження, але й щодо ймовірності існування тижневої циклічності у регіоні.

#### 4. Висновки

Проведено аналіз даних п'ятирічних систематичних спостережень характеристик атмосферних аерозолів над урбанізованими територіями трьох континентів: Європи, Північної Америки та Азії. Встановлено прояв семиденної періодичності (weekend-ефекту) у поведінці аерозольної оптичної товщини (АОТ440 та АОТ870), параметру Ангстрема та осадженої водяної пари. Їх максимальні значення припадають на кінець робочого тижня (четвер – п'ятниця), мінімальні показники спостерігаються у вихідні дні (субота – неділя).

Крос-кореляційний аналіз тижневих залежностей параметрів аерозолів для трьох промислово розвинутих континентів показав високу подібність поведінки показників техногенного забруднення атмосфери. Аналогічний аналіз аерозольних параметрів проведено для екологічно чистого регіону земної кулі – Антарктики, для якого тижневої циклічності у поведінці всіх аерозольних характеристик не виявлено. Таким чином, можна вважати експериментально підтвердженим ще один факт антропогенного впливу на стан атмосфери над промислово розвиненими регіонами земної кулі. За даними аналізу виявлено, що аерозольне забруднення в регіонах Європи та Північної Америки дещо зменшується з часом, що значною мірою є результатом законодавчого регулювання викидів аерозольних частинок у цих регіонах, а в азійському регіоні, а також в Антарктиці вміст аерозолі дещо зростає. Середній рівень аерозольного забруднення атмосфери за даними АОТ440 за вимірюваннями на азійських станціях у 2-3 рази вищий, ніж за даними вимірювань в Європі та Північній Америці і на порядок більший ніж за даними антарктичних станцій.

#### 5. Підтримка та подяки

Автори вдячні Андрію Залізівському, а також учасникам семінару відділу Радіофізики геокосмосу РІ НАН України за корисні поради і обговорення результатів роботи. Автори також вдячні за можливість використання даних міжнародної мережі АЕРОNET керівнику проекту Бренту Холбену та керівнику мережі АЕРОNET/PHOTONS Філіпу Голубу. Особлива подяка керівникам 18 станцій АЕРОNET, які забезпечують роботу станцій, дані з яких використані в статті.

У Радіоастрономічному інституті НАН України дослідження виконувалися в рамках відомчої НДР «Ятаган-3» (реєстраційний номер 016U000035), а також конкурсної тематики за двома НДР «Шпіцберген-2017» (017U002806) і «Геліомакс» (017U006837с). Роботу виконано також за часткової підтримки проекту 16БФ051-02 Київського національного університету імені Тараса Шевченка (КНУ), теми 380Кт Аерозоль-УА Цільової комплексної програми НАН України з наукових космічних досліджень на 2012–2016 рр., гранту Ф73/36–2017 Державного фонду фундаментальних досліджень. Роботу виконано в рамках Договору про співпрацю між КНУ та РІ НАНУ. Дані про параметри аерозолі та осадженої водяної пари зі спостережень сонячних фотометрів мережі AERONET отримані з веб-сторінки <https://aeronet.gsfc.nasa.gov>. Висока якість даних мережі AERONET забезпечується, зокрема, калібруванням сонячних фотометрів у центрі AERONET–EUROPE, за підтримки гранту No 654109 дослідницької програми Європейського союзу Горизонт 2020.

## 6. Література

1. Колосков А. В., Ямпольский Ю. М. Наблюдения излучения энергосистем Североамериканского континента в Антарктике. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2009. Т. 14, № 4, С. 367–376.
2. Пазнухов А. В., Ямпольский Ю. М., Занимонский Е. М., Соина А. В. Поиск weekend-эффекта в вариации интенсивности природных СНЧ шумов. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2012. Т. 17. № 1. С. 67–73.
3. Соина А. В., Милиневский Г. П., Ямпольский Ю. М. Семидневные вариации в атмосферных аэрозолях. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2015. Т. 20. № 2. С. 109–121.
4. Baumer, D., Rinke, R., Vogel, B. 2008. Weekly periodicities of Aerosol Optical Thickness over Central Europe – evidence of an anthropogenic direct aerosol effect. *Atmos. Chem. Phys.* 83–90. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-8-83-2008>.
5. Chen, S., Huang, J., Jiang, N., Zang, Z., Guan, X., Ma, X., Jia, Z., Zhang, X., Zhang, Y., Huang, K., Xu X., Zhang, G., Li J., Yang, R., Liao, S. 2017. Estimations of anthropogenic dust emissions at global scale from 2007 to 2010, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2017-890>, in review.
6. Dubovik, O. and King, M. D. 2000. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.* 105, 20673–20696. DOI: 10.1029/2000JD900282.
7. Dubovik, O., Lapyonok, T., Kaufman, Y. J., Chin, M., Ginoux, P., Kahn, R. A., Sinyuk, A. 2008. Retrieving Global Aerosol Sources from Satellites Using Inverse Modeling. *Atm. Chem. Phys.* 8. 209–250. DOI:10.5194/acp-8-209-2008.
8. Earl, N., Simmonds, I., Tapper, N. J. 2016. Weekly cycles in peak time temperatures and urban heat island intensity. *Environmental Research Letters*. 11(7): DOI: 10.1088/1748-9326/11/7/074003.
9. Giles, D. M., Holben, B. N., Eck, T. F., Sinyuk, A., Smirnov, A., Slutsker, I., Dickerson, R.R., Thompson, A. M., Schafer, J. S. 2012. An analysis of AERONET aerosol absorption properties and classifications representative of aerosol-source regions. *J. Geophys. Res.* 117, D17203. DOI: 10.1029/2012JD018127.
10. Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanré, D., Buis, J. P., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J. A., Kaufman, Y. J., Nakajima, T., Lavenue, F., Jankowiak, I., Smirnov, A. 1998. AERONET – a federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sens. Environ.* 66, 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00031-5).
11. Huttunen, J., Arola, A., Myhre, G., Lindfors, A. V., Mielonen, T., Mikkonen, S., Schafer, J. S., Tripathi, S. N., Wild M., Komppula, M., Lehtinen, K. E. J. 2014. Effect of water vapor on the determination of aerosol direct radiative effect based on the AERONET fluxes. *Atmos. Chem. Phys.* 14, 6103–6110. <https://doi.org/10.5194/acp-14-6103-2014>.
12. Kourtidis, K., Stathopoulos, S., Georgoulas, A. K., Alexandri, G., Rapsomanikis, S. 2015. A study of the impact of synoptic weather conditions and water vapor on aerosol–cloud relationships over major urban clusters of China. *Atmos. Chem. Phys.*, 15,10955–10964. <https://doi.org/10.5194/acp-15-10955-2015>, 2015.
13. Laux, P., Kunstmann, H. 2008. Detection of regional weekly weather cycles across Europe. *Environ. Res. Lett.*, 3, 044005, 7. DOI:10.1088/1748-9326/3/4/044005.
14. Milinevsky, G., Danylevsky, V., Bovchaliuk, V., Bovchaliuk, A., Goloub, Ph., Dubovik, O., Kabashnikov, V., Chaikovskiy, A., Miatselskaya, N., Mishchenko, M., Sosonkin, M. 2014. Aerosol seasonal variations over urban–industrial regions in Ukraine according to AERONET and POLDER measurements. *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 1459–1474. 12.
15. Ridley, D. A., Solomon, S., Barnes, J. E., Burlakov, V. D., Deshler, T., Dolgii, S. I., Herber, A. B., Nagai, T., Neely, III R. R., Nevzorov, A. V., Ritter, C., Sakai, T., Santer, B. D., Sato, M., Schmidt, A., Uchino, O., Vernier, J. P. 2014. Total volcanic stratospheric aerosol optical depths and implications for global climate change. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 7763–7769. DOI:10.1002/2014GL061541.
16. Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. 2016. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. *Third edition. Hoboken, New Jersey, US: Wiley.*, 1121.
17. Stallins, J.A., Carpenter, J., Bentley, M.L., Ashley, W.S., Mulholland, J.A. 2013. Weekend-weekday aerosols and geographic variability in cloud-to-ground lightning for the urban region of Atlanta, Georgia, USA. *Regional Environmental Change*, 13(1), 137–151. DOI: 10.1007/s10113-012-0327-0.
18. You, Q., Kang, S., Flugel, W.A., Sanchez-Lorenzo, A., Yan, Y., Xu, Y., Huang, J. 2009. Does a weekend effect in diurnal temperature range exist in the eastern and central Tibetan Plateau. *Environmental Research Letters*, 4, 045202, 7. DOI:10.1088/1748-9326/4/4/045202.
19. Zuev, V. V., Burlakov, V. D., Nevzorov, A. V., Pravdin, V. L., Savelieva, E. S., Gerasimov, V. V. 2017. 30-year lidar observations of the stratospheric aerosol layer state over Tomsk (Western Siberia, Russia). *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 3067–3081. <https://doi.org/10.5194/acp-17-3067-2017>. DOI:10.5194/amt-7-1459-2014.

## 7. References

1. Koloskov, A. V., Yampolski, Yu. M. 2009. *Nablyudeniya izlucheniya energosistem Severoamerikanskogo kontinenta v Antarktike* [Observations of radiation from North American in Antarctica]. *Radiofizika i radioastronomiya* [Radio Physics and Radio Astronomy], 14 (4), 367–376. [In Russian].

2. Paznukhov, A. V., Yampolsky, Yu. M., Zanimonsky, Ye. M., Soina, A. V. 2012. *Poisk weekend-effekta v variatsii intensivnosti prirodnykh SNCh shumov* [Search of weekend effect in natural CH<sub>4</sub> noises intensity variation]. *Radiofizika i radioastronomiya* [Radio Physics and Radio Astronomy], 17(1), 67–73. [In Russian].
3. Soina, A.V., Milinevsky, G.P., Yampolsky, Yu.M. 2015. Semidnevnyie variatsii v atmosferyih aerolyah [Seven-day variations in atmospheric aerosol], *Radiofizika i radioastronomiya* [Radio Physics and Radio Astronomy], 20(2), 109–121. [In Russian].
4. Baumer D., Rinke R., Vogel B. Weekly periodicities of Aerosol Optical Thickness over Central Europe – evidence of an anthropogenic direct aerosol effect. *Atmos. Chem. Phys.* 2008, 83–90. DOI: <https://doi.org/10.5194/acp-8-83-2008>.
5. Chen, S., Huang, J., Jiang, N., Zang, Z., Guan, X., Ma, X., Jia, Z., Zhang, X., Zhang, Y., Huang, K., Xu, X., Zhang, G., Li, J., Yang, R., Liao, S. 2017. Estimations of anthropogenic dust emissions at global scale from 2007 to 2010. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, <https://doi.org/10.5194/acp-2017-890>, in review.
6. Dubovik, O. and King, M. D. 2000. A flexible inversion algorithm for retrieval of aerosol optical properties from Sun and sky radiance measurements. *J. Geophys. Res.* 105, 20673–20696. DOI: 10.1029/2000JD900282.
7. Dubovik, O., Lapyonok, T., Kaufman, Y. J., Chin, M., Ginoux, P., Kahn, R. A., Sinyuk, A. 2008. Retrieving Global Aerosol Sources from Satellites Using Inverse Modeling. *Atm. Chem. Phys.* 8, 209–250. DOI:10.5194/acp-8-209-2008.
8. Earl, N., Simmonds, I., Tapper, N. J. 2016. Weekly cycles in peak time temperatures and urban heat island intensity. *Environmental Research Letters*, 11(7). DOI:10.1088/1748-9326/11/7/074003.
9. Giles, D. M., Holben, B. N., Eck, T. F., Sinyuk, A., Smirnov, A., Slutsker, I., Dickerson, R. R., Thompson, A. M., Schafer, J. S. 2012. An analysis of AERONET aerosol absorption properties and classifications representative of aerosol-source regions. *J. Geophys. Res.*, 117, D17203. DOI:10.1029/2012JD018127.
10. Holben, B. N., Eck, T. F., Slutsker, I., Tanré, D., Buis, J. P., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J.A., Kaufman, Y. J., Nakajima, T., Lavenu, F., Jankowiak, I., Smirnov, A. 1998. AERONET – a federated instrument network and data archive for aerosol characterization. *Remote Sens. Environ.*, 66, 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00031-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00031-5).
11. Huttunen, J., Arola, A., Myhre, G., Lindfors, A. V., Mielonen, T., Mikkonen, S., Schafer, J. S., Tripathi, S. N., Wild, M., Komppula, M., Lehtinen, K. E. J. 2014. Effect of water vapor on the determination of aerosol direct radiative effect based on the AERONET fluxes. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 6103–6110. <https://doi.org/10.5194/acp-14-6103-2014>.
12. Kourtidis, K., Stathopoulos, S., Georgoulas, A. K., Alexandri, G., Rapsomanikis, S. 2015. A study of the impact of synoptic weather conditions and water vapor on aerosol–cloud relationships over major urban clusters of China. *Atmos. Chem. Phys.*, 15, 10955–10964. <https://doi.org/10.5194/acp-15-10955-2015>, 2015.
13. Laux, P., Kunstmann, H. 2008. Detection of regional weekly weather cycles across Europe. *Environ. Res. Lett.*, 3, 044005. DOI:10.1088/1748-9326/3/4/044005.
14. Milinevsky, G., Danylevsky, V., Bovchaliuk, V., Bovchaliuk, A., Goloub, Ph., Dubovik, O., Kabashnikov, V., Chaikovsky, A., Miatselskaya, N., Mishchenko, M., Sosonkin, M. 2014. Aerosol seasonal variations over urban–industrial regions in Ukraine according to AERONET and POLDER measurements. *Atmos. Meas. Tech.*, 7, 1459–1474. DOI:10.5194/amt-7-1459-2014.
15. Ridley, D. A., Solomon, S., Barnes, J. E., Burlakov, V. D., Deshler, T., Dolgii, S. I., Herber, A. B., Nagai, T., Neely, III R. R., Nevzorov, A. V., Ritter, C., Sakai, T., Santer, B. D., Sato, M., Schmidt, A., Uchino, O., Vernier, J. P. 2014. Total volcanic stratospheric aerosol optical depths and implications for global climate change. *Geophys. Res. Lett.*, 41, 7763–7769. DOI:10.1002/2014GL061541.
16. Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. 2016. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. *Third edition. Hoboken, New Jersey, US: Wiley*, 1121. ISBN 9781119221173.
17. Stallins, J.A., Carpenter, J., Bentley, M.L., Ashley, W.S., Mulholland, J.A. 2013. Weekend-weekday aerosols and geographic variability in cloud-to-ground lightning for the urban region of Atlanta, Georgia, USA. *Regional Environmental Change*, 13(1), 137–151. DOI: 10.1007/s10113-012-0327-0.
18. You, Q., Kang, S., Flugel, W.A., Sanchez-Lorenzo, A., Yan, Y., Xu, Y., Huang, J. 2009. Does a weekend effect in diurnal temperature range exist in the eastern and central Tibetan Plateau. *Environmental Research Letters*, 4, 045202. DOI:10.1088/1748-9326/4/4/045202.
19. Zuev, V. V., Burlakov, V. D., Nevzorov, A. V., Pravdin, V. L., Savelieva, E. S., Gerasimov, V. V. 2017. 30-year lidar observations of the stratospheric aerosol layer state over Tomsk (Western Siberia, Russia). *Atmos. Chem. Phys.*, 17, 3067–3081. <https://doi.org/10.5194/acp-17-3067-2017>.