

УДК 551.510.42

DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2019.01.043>**Л.М. Надточій, М.В. Савенець, М.П. Баштаннік, І.В. Дворецька**

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Київ

ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ПИЛОМ У ДЕЯКИХ МІСТАХ УКРАЇНИ

Метою дослідження є оцінювання внутрішньорічної та міжрічної мінливості вмісту пилу в атмосфері міст, визначення особливостей мінливості за умов впливу антропогенних та природних чинників формування концентрацій для різних часових масштабів. Використовуючи статистичні методи дослідження обчислено сезонні та міжрічні варіації вмісту пилу в атмосфері, побудовано тренди та визначено особливості метеорологічних умов, що визначають міжрічну мінливість пилу. Виявлено відсутність чіткої внутрішньорічної мінливості пилу з появою чітких коливань в окремі періоди, наявність позитивних та негативних трендів вмісту пилу та істотне посилення ролі природної складової на часових масштабах у декілька років. Встановлено основну роль метеорологічних умов у міжрічних варіаціях пилу, пов'язаних зі змінами умов вологого осадження та розсіювання домішок.

Ключові слова: пил; атмосферне повітря; внутрішньорічна мінливість; міжрічна мінливість; антропогенні чинники.

L.M. Nadtochii, M.V. Savenets, M.P. Bashtannik, I.V. Dvoretzka

Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kyiv

THE FEATURES OF DUST AIR-POLLUTION DYNAMICS IN CERTAIN UKRAINIAN CITIES

The purpose of research is evaluation of intra- and interannual dust variability in the atmosphere of certain Ukrainian cities, determination of dust dynamics within influence of anthropogenic and natural factors for different temporal scales. Based on statistical methods the research contains seasonal and interannual variability calculation, trend estimation, and determination of meteorological conditions, which cause interannual dust variability. Clear intraannual variations are absent, however, they could appear during separate periods. In general, coefficients which show seasonality strength decrease in cities and correspond to weakening of intraannual variations. The reason of such effects connected with increasing of mobile sources impact due to constant emission during the whole year and mechanical influence on accumulated dust. Within timescale of several years positive and negative trends were observed and natural factor strengthens in dust variations. Highest positive and all negative trends coincide with changes of emission from stationary sources. 4 among 20 cities do not have any tendency in dust content changes. Significant interannual variations could be combine in several groups. The highest impact in total dispersion have variations approximately 6.2 and 9.3 years with amplitudes 0.04–0.08 mg/m³ and 0.02–0.08 mg/m³ accordingly. Large group of significant interannual variations are within 2.7–3.7 years and 4–5.2 years. All periods could be found in meteorological dynamics correspond to low frequent lunar nodal tidal variations and global circulation variability. Clear connection with meteorological conditions had been found with relative humidity and wind characteristics: average wind speed and zonal component. Spatial dependences also were found: dust variability in coastal cities mostly influenced by changes in relative humidity, whereas wind play crucial role on inland territories. Relation between dust and relative humidity have negative sign, which means that saturation of the atmospheric air impact on dust decreasing. Therefore, the research defines crucial role of meteorological conditions for dust interannual variability, which are connected with changes of wet deposition and pollutant dispersion.

Keywords: dust; atmospheric air; intraannual variability; interannual variability, anthropogenic factors.

Актуальність досліджень

Як відомо, проблема забруднення атмосферного повітря є однією з головних проблем сучасності. Найбільше це проявляється у великих промислових містах, де до основних чинників забруд-

нення атмосферного повітря належить пил, що являє собою сукупність завислих у повітрі дрібних (розміром до декількох десятків мікрометрів) твердих частинок різної природи [1,2]. Джерелами пилу природного походження є: вивітрювання, виверження вулканів, емісія від лісових

© Л.М. Надточій, М.В. Савенець, М.П. Баштаннік, І.В. Дворецька, 2019

пожеж. Антропогенні викиди твердих частинок пов'язані, головним чином, із процесами спалювання вугілля й мазуту, сміття на міських звалищах, промисловим виробництвом, будівництвом та автотранспортом [3-5].

Існує значна кількість наукових робіт про небезпеку для здоров'я людини зважених у повітрі твердих частинок діаметром менше 10 мкм (PM_{10}) і 2.5 мкм ($PM_{2.5}$), що можуть спричинити широкий спектр захворювань, основні з яких респіраторної та серцево-судинної систем [6-10]. У багатьох державах постійно досліджують рівні вмісту часток PM_{10} та $PM_{2.5}$ в атмосферному повітрі, їх основні джерела надходження та сезонні зміни [7-11]. Такі дослідження почали проводити і в Україні, наприклад у роботі [11] оцінено забруднення повітря частками $PM_{2.5}$ та PM_{10} в Україні та проведено порівняння з іншими країнами. Нині почав здійснюватися регулярний моніторинг із відкритою інформацією для користувачів за даними автоматичної станції у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, що працює у тестовому режимі. Проте, в Україні на даний час відсутні систематичні спостереження за вмістом PM_{10} та $PM_{2.5}$ на мережі Центральної геофізичної обсерваторії (ЦГО) імені Бориса Срезневського, вимірюється лише загальна маса всього пилу за нормативами РД 52.04.186-89 [12].

З метою покращення якості атмосферного повітря в 1996 р. Європейська комісія прийняла Першу Рамкову Директиву щодо оцінки та управління якістю атмосферного повітря – 1996/62/ЄС. Згодом було прийнято ще чотири дочірні директиви, в першій з яких (1999/30/ЄС) йдеться про необхідність вимірювання твердих часток із зазначенням їх граничних значень. В 2008 р. було прийнято Директиву – 2008/50/ЄС, положення якої імплементуються і в Україні. У ній також наголошено на необхідності вимірювання твердих часток ($PM_{2.5}$ та PM_{10}) та представлено нормативи і правила проведення вимірювань [13,14].

За відсутності інформації про вміст окремих фракцій часток в атмосфері аналіз динаміки пилу із залученням наземних та супутникових спостережень є єдиним джерелом інформації щодо співвідношення антропогенних та природних чинників формування концентрацій. Досі недостатньо вивченими залишаються питання умов формування внутрішньорічної мінливості пилу у великих містах, де значні антропогенні емісії ускладнюють виявлення природних коливань (що важливо для правильного моделювання домішок).

Значний вплив на тенденції вмісту пилу в атмосфері індустріальних міст справляють постійні зміни викидів промислових підприємств [15]. Необхідно при цьому зазначити, що наявність міжрічних варіацій може вносити істотні зміни у динаміку концентрації пилу та кількість випадків перевищення граничних значень.

Мета дослідження – оцінювання внутрішньорічної та міжрічної мінливості вмісту пилу в атмосфері міст, визначення особливостей мінливості за умов впливу антропогенних та природних чинників формування концентрацій для різних часових масштабів.

Вихідні дані та методика досліджень

Для проведення досліджень використано щомісячні дані концентрацій пилу, осереднених загалом по місту, за результатами наземних спостережень ЦГО імені Бориса Срезневського. За період 2000 – 2014 рр. із 53 міст, де проводились спостереження за пилом, відібрано дані 20 міст України (рис. 1) таким чином, щоб охопити усі регіони та отримати інформацію щодо забруднення у великих та промислових містах, де вивчення динаміки пилу найбільш ускладнене. 15-річний період вибірки дозволяє провести аналіз внутрішньорічних та міжрічних коливань концентрацій, визначити сучасний стан забруднення атмосфери великих міст України, зберігаючи однотипність та цілісність вибірок усіх регіонів.

Дані аерозольного індексу отримано з супутникових приладів TOMS/OMI [16] у точках, що за координатами збігаються з розташуванням міст. Аналіз метеорологічної інформації здійснено з використанням даних радіозондування атмосфери електронних архівів Університету Вайомінг [17].

На першому етапі проведено загальне порівняння концентрацій забруднюючих речовин в досліджуваних містах з гранично допустимими концентраціями (ГДК). Цей показник характеризує якість навколишнього середовища та відноситься до затверджених в Україні нормативів. Середньодобова гранично допустима концентрація пилу (ГДК_{с.д.}) становить 0.15 мг/м³ [12].

На вимірювальній мережі ЦГО вимірюють лише загальну масу всього пилу, при цьому існують співвідношення вмісту частинок PM_{10} та $PM_{2.5}$ в його загальній масі. Наприклад, згідно [18], маса PM_{10} складає 0.5 від маси усього пилу, а маса $PM_{2.5}$ – 0.55 від маси PM_{10} . Ці значення є наближеними і пропорції можуть коливатись.

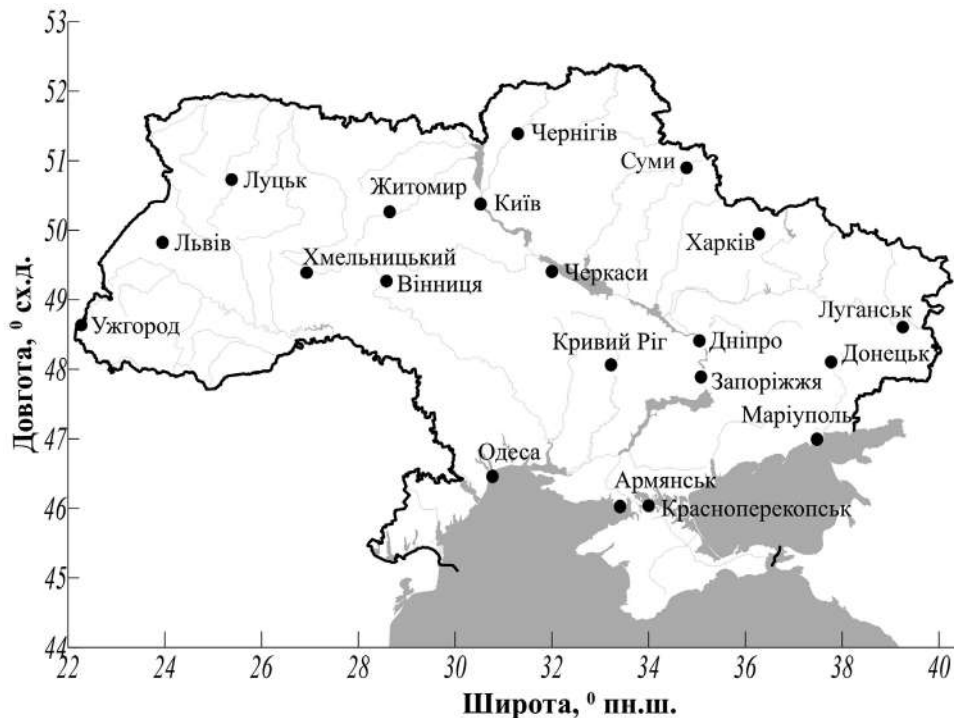


Рис. 1. Географічне положення міст України, обраних для аналізу

Статистичний аналіз часових рядів концентрацій пилу складався з трьох етапів: обчислення та виокремлення високочастотної складової – внутрішньорічних коливань (сезонного ходу) з їх подальшим видаленням та отриманням залишків; визначення трендів; виокремлення низькочастотної складової – міжрічних коливань.

Враховуючи необхідність аналізу даних із метеорологічною (в т.ч. аерологічною) інформацією, що супроводжується значною кількістю пропусків, розрахунків коливань, їх кількісних характеристик та середніх значень здійснено з використанням неklasичного підходу гармонічного аналізу, в якому коефіцієнти Фур'є отримано методом найменших квадратів (регресійний аналіз).

Регресію значень концентрацій пилу проведено на гармоніки сезонного ходу під час обчислення внутрішньорічних коливань та залишків на першу гармоніку низькочастотних коливань під час аналізу міжрічної мінливості. Значущість гармонік визначено за коефіцієнтом Стьюдента з 95%-им рівнем забезпеченості результатів. Висновки про наявність вираженого сезонного ходу встановлено за критерієм Фішера, враховуючи значення коефіцієнта детермінації (R^2). У випадку $R^2 < 0.5$ сезонні коливання вважалися відсутніми.

Залежність концентрації пилу та аерозольного індексу від метеорологічних характеристик було визначено за наявності значущої (критерій Стью-

дента) лінійної апроксимації. У випадку залежності було обчислено внесок складової у динаміку концентрації пилу і видалено з часових рядів залишків сезонного ходу. Такий алгоритм розрахунку дає змогу уникати хибних висновків щодо залежності від різних метеорологічних характеристик за однакового фізичного механізму впливу.

Виклад основного матеріалу

За досліджуваній період перевищення $ГДК_{с.д.}$ спостерігалось у 11 містах із 20 проаналізованих, зокрема в Одесі, Львові, Дніпрі, Донецьку, Хмельницькому, Маріуполі, Армянську, Красноперекоську, Вінниці, Кривому Розі та Сумах. Враховуючи, що перевищення концентрацій характерне для місячних значень, у яких кількість випадків високого вмісту пилу та екстремуми згладжені процедурою осереднення, реальний стан значно гірший. Найнижчі концентрації пилу спостерігалися у Чернігові та Луцьку.

На відміну від $ГДК_{с.д.}$, Всесвітня організація охорони здоров'я використовує для оцінки перевищень вмісту пилу середньорічні показники: для PM_{10} – 0.02 мг/м^3 , для $PM_{2.5}$ – 0.01 мг/м^3 , (рис.2) [19], що дають змогу детальніше оцінити стан забруднення та небезпечні рівні під час порівняння із осередненими за значний проміжок часу значеннями, з урахуванням часу дії небез-

печних рівнів. Згідно ж нормативних документів ЄС граничні значення інші: для PM_{10} – 0.04 мг/м³, для $PM_{2.5}$ – 0.02 мг/м³.

Із усіх проаналізованих міст лише для Чернігова концентрації знаходяться на межі рекомендованих показників (згідно Всесвітньої організації охорони здоров'я) та для Чернігова і Луцька (згідно нормативних документів ЄС), в той час як для інших міст характерне істотне перевищення цих значень.

Проведено оцінювання наявності сезонного ходу вмісту пилу та визначено кількісні особливості внутрішньорічних коливань. Обчислення здійснено окремо для супутникових даних аерозольного індексу та наземних спостережень за пилом. Уміст аерозолу в стовпі атмосфери дає змогу вловити природні коливання концентрацій за їх наявності, які в даних наземних спостережень істотно згладжені за рахунок емісії й можуть не проявлятися взагалі.

За даними супутникових спостережень аерозольного індексу в точках, координати яких збігаються з місцем розташування досліджуваних міст, не діагностовано жодних внутрішньорічних коливань. Коефіцієнти детермінації моделей сезонного ходу не перевищують значень $R^2=0.1$. Разом з тим, за даними наземних спостережень, у деяких містах простежуються слабкі сезонні коливання, зокрема у Харкові, Черкасах, Армянську та Красноперекіпську. Коефіцієнти детермінації таких коливань знаходилися у межах 0.45 – 0.55 з досить високими значеннями коефіцієнта

Фішера ($F=12.3-14.7$). Амплітуда варіює у межах 0.04–0.08 мг/м³, що досягає приблизно 25–50% від ГДК_{с.д.} Максимуми концентрацій у названих містах припадають на червень – липень (рис. 3). Для міст, де сезонність пилу не проявляється, повторюваність максимальних концентрацій може бути характерна для різних місяців. Оскільки формування сезонності пилу у містах залежить від внутрішньорічних варіацій граничного шару атмосфери у співвідношенні з джерелами антропогенної емісії, визначення причин формування максимумів концентрацій (навіть за умови, що вони збігаються у часі для різних міст) необхідно проводити для кожного міста окремо з оцінкою викидів поблизу постів спостережень.

В інших містах, за даними наземних спостережень концентрацій пилу, не спостерігалися статистично значущі внутрішньорічні коливання, що свідчить про основну роль антропогенної складової у формуванні концентрацій пилу разом із т.з. вторинним забрудненням, тобто підняттям у повітря осадженого пилу за рахунок механічного впливу.

Той факт, що супутникові дані аерозольного індекса не завжди можуть відобразити зміни, які спостерігаються за даними наземних спостережень пилу, свідчить про необхідність залучення усіх методів вимірювань та проведення комплексного аналізу, коли йдеться про моніторинг стану забруднення атмосферного повітря у великих містах та промислових центрах.

Для аналізу змін вмісту в атмосфері завислих речовин, згідно [6], весь період дослідження роз-

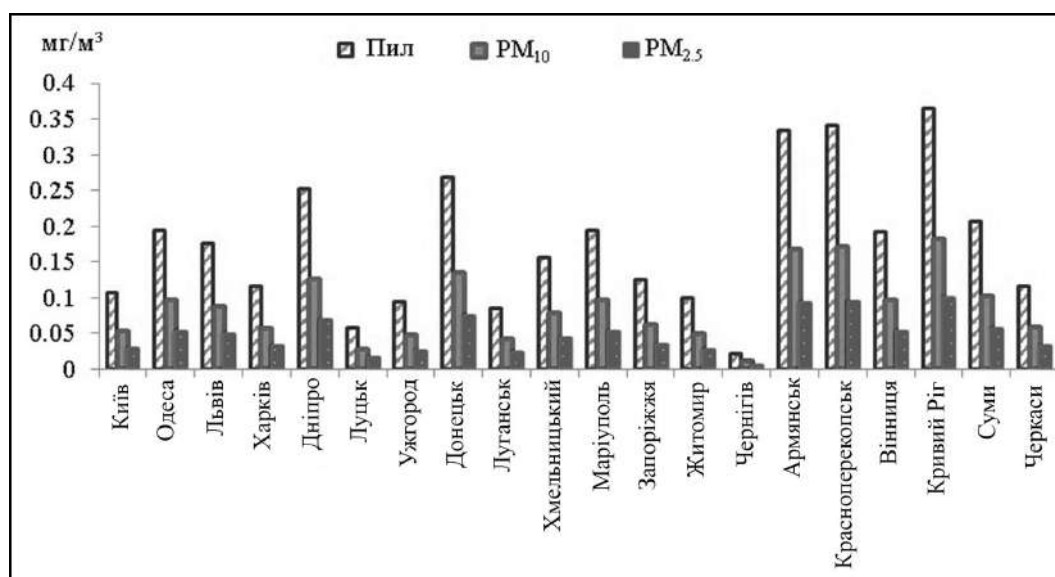


Рис. 2. Середні концентрації пилу та обчислені значення PM_{10} та $PM_{2.5}$ у містах України за 2000–2014 рр.

ділено на три п'ятирічки. Аналіз окремих п'ятирічних періодів у межах загального періоду 2000–2014 рр. забезпечив можливість виявити тимчасову появу слабких внутрішньорічних коливань вмісту пилу у Кривому Розі (2005–2009 рр.), що збігається зі значним збільшенням викидів від стаціонарних джерел у 2005–2007 рр. [15].

Загалом спостерігається зменшення коефіцієнтів детермінації та Фішера таких коливань у часі в усіх проаналізованих містах, тобто чіткість прояву внутрішньорічної мінливості стає слабшою. Виникнення такої закономірності можливе зі збільшенням ролі автотранспорту у формуванні концентрацій пилу [9] внаслідок постійної емісії протягом року та постійного механічного впливу на осаджений пил, що формує вторинне забруднення.

З метою отримання об'єктивної оцінки трендів із часових рядів концентрацій пилу видалено сезонні коливання та обчислено залишки (відхилення від середніх багаторічних значень). Практично в усіх промислових містах за даними наземних спостережень мають місце тренди концентрацій пилу в атмосфері (таблиця 1). Проте, однакової закономірності не спостерігається: у 9 містах уміст пилу зростає, у 7 – зменшується. Ще у 4-х містах (Армянськ, Львів, Суми та Чернігів) не виявлено статистично значущих тенденцій у змінах концентрацій пилу. Найстрімкіше зростання

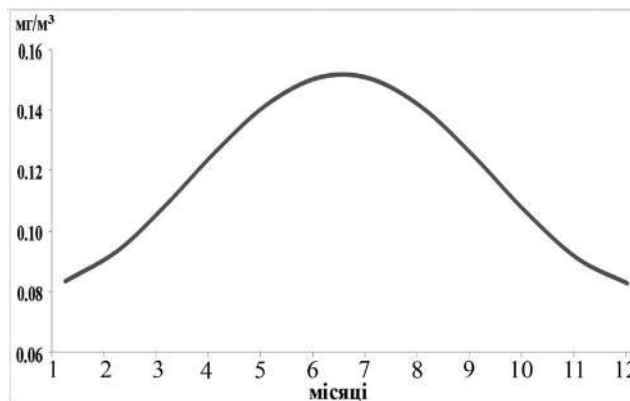


Рис. 3. Річний хід концентрацій пилу в Черкасах за період 2000–2014 рр.

вмісту пилу виявлено у Кривому Розі – 0.25 мг/м³ за 10 років (рис. 4), що найімовірніше пов'язано зі зростанням промислових викидів.

У Вінниці спостерігається найстрімкіше зменшення концентрацій пилу в атмосфері зі значенням тренду -0.13 мг/м³ за 10 років. Враховуючи зростання промислового виробництва [15] та розташування постів незалежно від великих автомобільних доріг, подібне зменшення не є логічним. Істотна різниця тренду пилу у цьому місті, порівняно з іншими містами, може бути пояснена тим, що середні значення у Вінниці отримано за даними 2-х постів, розташованих близько один від одного.

Отже, формування такого тренду не може об'єк-

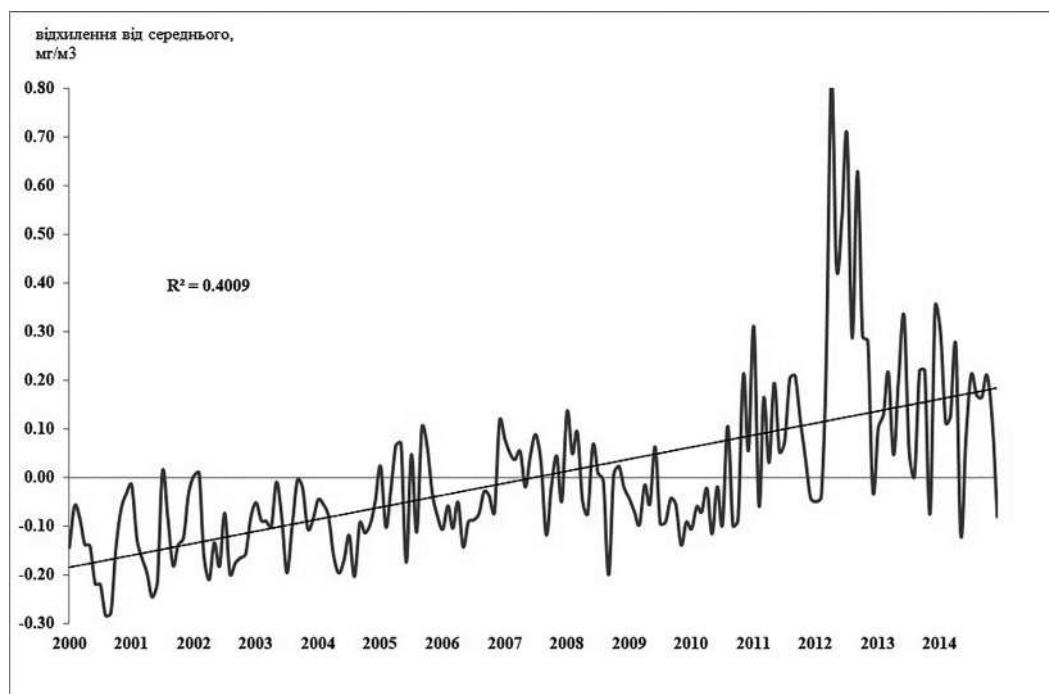


Рис. 4. Тренд пилу в Кривому Розі зі значенням 0.25 мг/м₃ за 10 років

Таблиця 1.
Величина тренду концентрації пилу у промислових містах України

Місто	Значення тренду (мг/м ³ за 10 років)	Коефіцієнт детермінації тренду
Кривий Ріг	0.25	0.40
Житомир	0.07	0.69
Дніпро	0.07	0.27
Донецьк	0.06	0.07
Хмельницький	0.06	0.04
Київ	0.04	0.68
Луцьк	0.03	0.42
Черкаси	0.03	0.19
Маріуполь	0.03	0.05
Армянськ	не значущий	
Львів	не значущий	
Суми	не значущий	
Чернігів	не значущий	
Луганськ	-0.03	0.13
Красноперекіпськ	-0.04	0.04
Харків	-0.04	0.28
Запоріжжя	-0.05	0.19
Ужгород	-0.06	0.47
Одеса	-0.07	0.32
Вінниця	-0.13	0.43

тивно характеризувати забруднення всього міста, найімовірніше, він сформований під впливом локальних змін забудови та підстильної поверхні поблизу постів спостереження. Також може мати місце зменшення частки пилу, що переноситься до міста ззовні. Усі інші негативні тренди чітко узгоджуються зі зменшенням викидів пилу від стаціонарних джерел [15].

Міжрічні варіації вмісту пилу проаналізовано після видалення високочастотної та трендової складової для уникнення хибних значущостей на крайніх ділянках спектра коливань. Аналіз міжрічних коливань дає змогу зрозуміти зміни у динаміці пилу, зумовлені в основному природними чинниками, тому що для антропогенних джерел емісії пилу не характерні періодичні міжрічні коливання.

На основі залишків сезонного ходу пилу побудовано моделі міжрічної мінливості (рис. 5), що являють собою суму значущих низькочастотних коливань. Коефіцієнти детермінації таких моделей варіюють від $R^2=0.39-0.40$ (Луцьк, Луганськ)

до $R^2=0.6$ (Житомир), що для залишків сезонного ходу (часові ряди, в яких відсутні високочастотні коливання) є доволі значними показниками.

Періоди отриманих коливань, у своїй більшості, можна об'єднати в окремі групи. Найбільш значні зміни характерні для коливань з максимумами спектра близько 6.2 років. Зокрема, у Хмельницькому, Дніпрі, Києві та Львові амплітуди таких варіацій досягають 0.04–0.08 мг/м³. Можна припустити наявність також статистично значущих коливань з максимумом спектра близько 9.3 років та амплітудами 0.02–0.08 мг/м³, що свідчить про фізичну природу таких змін, зумовлених змінами метеорологічних умов, оскільки дані періодичності простежуються у динаміці метеорологічних характеристик, пов'язаних з низькочастотними припливними коливаннями [20].

Достатньо велика група варіацій з амплітудами до 0.06 мг/м³ спостерігається в межах 2.7–3.7 років та з амплітудами до 0.03 мг/м³ в межах 4–5.2 роки. Подібні періоди простежуються у змінах загальної циркуляції атмосфери [21].

З метою виявлення метеорологічних чинників, які найбільше впливають на міжрічні варіації пилу для помісячно осереднених значень концентрацій в атмосфері міст, проведено пошук залежності з метеорологічними характеристиками. Чіткий зв'язок отримано після виокремлення авторегресійної частини у часових рядах залишків сезонного ходу пилу. Так, встановлено залежність від відносної вологості та приземних характеристик вітру – середньої швидкості та його зональної складової. Поблизу моря характеристики вітру втрачають значущість на фоні підсилення ролі показників вологості. Зокрема, в Одесі сума регресійної залежності з показниками вологості та авторегресії першого порядку пилу пояснюють до 80% розкиду значень у загальній дисперсії концентрацій у містах поблизу моря.

Наявність зв'язку з характеристиками вітру значно покращує сумарний зв'язок із концентраціями пилу, внаслідок чого пояснюється до 90–95% загальної дисперсії показника. Зв'язок з відносною вологістю негативний, тобто збільшення загального стану насичення атмосферного повітря призводить до зменшення концентрацій пилу. Це свідчить про те, що міжрічні зміни у процесах, які визначають умови вологого осадження та розсіювання домішок, є основними чинниками наявності міжрічних коливань вмісту пилу в атмосфері.

Для міст, у яких проводяться аерологічні спостереження, простежується зв'язок приземних концентрацій пилу з показником швидкості вітру на рівні 250 гПа. Він значно слабший ніж залежність з приземними метеорологічними характеристиками, проте пояснює до 13–15% розкиду значень у загальній дисперсії ряду. Проведений подібний аналіз для супутникових даних аерозольного індексу показав наявність зв'язку з температурою на цьому ж рівні.

Враховуючи, що рівень 250 гПа близький до рівня тропопаузи, встановлені зв'язки з концентраціями можуть бути частковими проявами залежності міжрічної динаміки вмісту пилу від змін у особливостях циркуляційних умов над територією України, що підтверджується також виділеними періодичностями.

Висновки

Стан забруднення атмосферного повітря пилом у великих містах та промислових центрах України викликає значне занепокоєння у зв'язку з перевищенням допустимих нормативних показників. Значне антропогенне навантаження та вторинне забруднення вносять істотні зміни не тільки на рівні забруднення, а й на особливості часової мінливості вмісту пилу в атмосфері, посилюючи

амплітуди внутрішньорічних коливань у деяких містах до 0.04–0.08 мг/м³. Основні тенденції вмісту пилу пов'язані з рівнем розвитку промисловості, внаслідок чого формуються тренди з абсолютними значеннями понад 0.1 мг/м³ за 10 років.

На часових масштабах у декілька років істотно посилюється прояв природної складової формування вмісту пилу в атмосфері. Природні міжрічні коливання досягають амплітуд до 0.08 мг/м³, основна роль належить змінам циркуляційних умов, що проявляються через зміни умов вологого осадження та розсіювання домішок.

Новизна дослідження: виявлено відсутність чіткої внутрішньорічної мінливості пилу з появою чітких коливань в окремі періоди, наявність позитивних та негативних трендів пилу, що є важливою інформацією для оцінювання якості атмосферного повітря у містах, розроблення планів дій щодо зменшення забруднення пилом.

Встановлено основну роль метеорологічних умов у міжрічних варіаціях пилу, пов'язаних зі змінами умов вологого осадження та розсіювання домішок, що дає змогу оцінити часові масштаби впливу та роль природної складової у формуванні забруднення пилом за умов інтенсивного антропогенного навантаження.

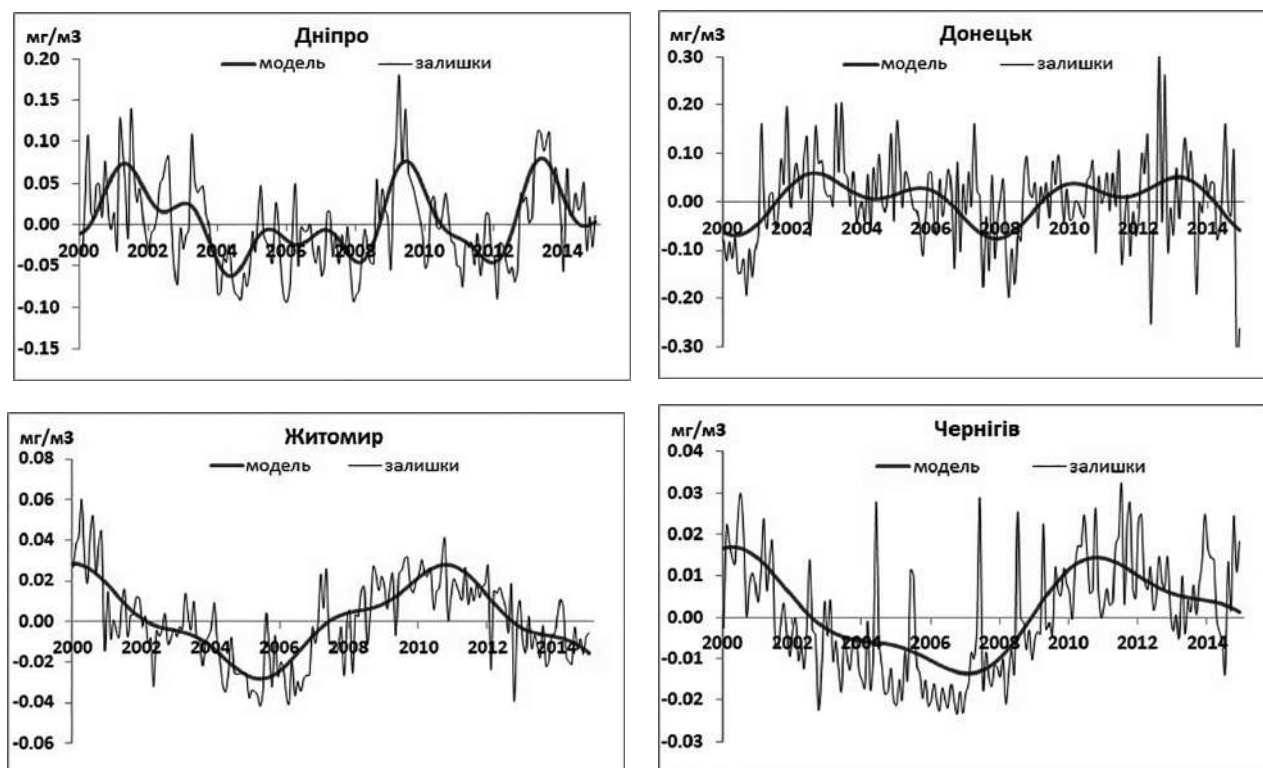


Рис. 5. Міжрічні коливання концентрацій твердих завислих речовин у повітрі деяких міст

Referenses [Література]

1. *Essentials of Meteorology*. (2012). 6th Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning. 528 p.
2. *Glossary of Meteorology*. American Meteorology Society. Dust. URL: <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Dust> (Last Accessed: 23.12.2018)
3. Bashтаннік М.П., Zhemera N.S., Kiptenko E.N., Kozlenko T.V. (2014). Air pollution state the territory of Ukraine. *Scientific papers of UkrGMI*. Iss.266, 70-93. [In Ukrainian].
[Баштаннік М. П., Жемера Н. С., Кіптенко Є. М., Козленко Т. В. Стан забруднення атмосферного повітря над територією України. *Наукові праці УкрНДГМІ*. 2014. Вип. № 266. С. 70-93.]
4. Вессасесі S. et al. (2010). *Report AS 65*. CPEA 28: Airborne particulate concentrations and numbers in the United Kingdom (phase 2). Annual Report. Report Date: 31/08/2011
5. Snizhko S.I., Shevchenko O.H. (2011). *Meteorological Aspects of Air Pollution of Urban Areas*. Kyiv. 297 p. [In Ukrainian]. [Сніжко С.І., Шевченко О.Г. Урбометеорологічні аспекти забруднення атмосферного повітря великого міста. Київ, 2011. 297 с.]
6. Bezuglaya E.Yu. (1986). *Monitoring of atmospheric pollution state in cities*. Leningrad, 200 p. [In Russian]. [Безуглая Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. Ленинград, 1986. 200 с.]
7. Makarov V.Z., Surovtseva O.V., Chumachenko A.N. (2014) Saratov Air Basic Dusty Rating According to the Direct and Indirect Methods of Research. *Vestnik Saratov. Univ. Series Earth Sciences*. Vol 14. Iss. 1, 16-25. [In Russian]. [Макаров В.З., Суворцева О.В., Чумаченко А.Н. Оценка запыленности воздушного бассейна города Саратова по данным прямых и косвенных методов наблюдений. *Вестник Саратов. ун-та. Серия «Науки о Земле»*. 2014. Т. 14. Вып. 1. С.16-25.]
8. Namazbayeva Z.I. et al. (2005). Impact of dust on disturbance of organism reproductive function. *Hygiene and sanitation*. 5, 72-75. [In Russian]. [Намазбаева З.И. и др. Воздействие пыли на нарушение репродуктивной функции организма. *Гигиена и санитария*. 2005. № 5. С. 72–75.]
9. Bedogni M., S. Casadei and G. Pirovano (2008). Assessing the contribution of the main emission sources to particulate matter concentrations in the Milan area. *Proceedings of the 12th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion for Regulatory Purposes*. Cevtat, Croatia. P. 598 – 602.
10. *WHO air quality guidelines for particular matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. Summary of risk assessment. URL: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=40A17504DA803DCFB3992FCD56408E15?sequence=1 (Last accessed: 23.12.2018)
11. Milinevsky G. et al. (2018). Evaluation of air by particulate matter PM2.5/PM10 in the Ukraine and China cities. *International Conference Astronomy and Space Physics in the Kyiv University*. Kyiv. P. 98-99.
12. RD52.04.186-89. *Guidelines for the Control of Atmospheric Pollution* (1991). Guidance document. Moscow. [In Russian]. [РД52.04.186-89. *Руководство по контролю загрязнения атмосферы*. Руководящий документ. Москва, 1991.]
13. Bashтаннік М. et al. (2016). Opportunity for implementation of 2008/50/EC and 2004/107/EC directives on ambient air quality in Ukraine. *Ukrainian-Polish Conference The problems of air pollution and purification: control, monitoring, catalytic, and sorption methods of treatment* (November 6–8. Kyiv, Ukraine)
14. *Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex:32008L0050> (Last accessed: 23.10.2018)
15. *Reports of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine*. URL: <https://menr.gov.ua/timeline/?t=569&th=0&m=2&g=569&from=&till=> [In Ukrainian]. [Звіти Міністерства екології та природних ресурсів України. URL: <https://menr.gov.ua/timeline/?t=569&th=0&m=2&g=569&from=&till=>]
16. *Ozone and air quality. Aerosols*. URL: <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/data/aerosols> (Last accessed: 28.10.2018)
17. *Upper-air soundings*. URL: <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> (Last accessed: 23.10.2018)
18. *SIEV–Sustainability Indicators and Environmental Valuation*. URL: <http://www.feem.it/Feem/Pub/Publications/WPapers/default.htm> (Last accessed: 20.07.2018)
19. *Air pollution levels*. URL: www.who.int/news-room/detail/12-05-2016-air-pollution-levels-rising-in-many-of-the-world-s-poorest-cities (Last accessed: 19.09.2018)
20. Best C., Madrigali R. (2015). Observation of a tidal effect on the Polar Jet Stream. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*. Vol.15, 22701–22713.
21. Richard J. Greatbatch. *The North Atlantic Oscillation*. URL: uol.de/fileadmin/user_upload/icbm/ag/physoz/download/cl_dyn/full/nao/NAO.pdf (Last accessed: 23.10.2018)

Стаття надійшла до редакції 12.12.2018