



*Н. М. Гринчишин*

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7631-6023> – Н. М. Гринчишин

 [nata\\_gryn123@ukr.net](mailto:nata_gryn123@ukr.net)

## ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ЗА ВМІСТОМ ТВЕРДИХ МІКРОЧАСТИНОК (PM 2,5) У МІСТАХ УКРАЇНИ В УМОВАХ КАРАНТИНУ ТА ВОЄННОГО СТАНУ

**Вступ.** Забруднення повітря є однією з найбільших екологічних небезпек для здоров'я людини та причиною мільйонів смертей і втрачених років здорового життя щорічно. Тверді мікрочастинки діаметром 2,5 мікрона та менше (PM 2,5) визначено основними антропогенними забруднювачами повітря, що мають значний ризик для здоров'я людини. Проблема забруднення атмосферного повітря PM 2,5 особливо актуальна для урбанізованих територій.

З 12 березня 2020 року в Україні був запроваджений карантин, а з 24 лютого 2022 року, в зв'язку зі збройною агресією росії, введений військовий стан. Дослідження якості атмосферного повітря за таких умов становить значний науковий інтерес та необхідне для управління його якістю.

В роботі вперше представлено результати дослідження якості атмосферного повітря за вмістом твердих мікрочастинок PM 2,5 з оцінкою ризику для здоров'я в умовах карантину та воєнного стану в Україні

**Мета.** Визначити зміни якості атмосферного повітря за вмістом твердих мікрочастинок (PM 2,5) в містах України в умовах карантину та воєнного стану.

**Матеріали та методи.** В дослідженні було використано індекси якості атмосферного повітря (AQI) для PM 2,5, розраховані на основі вимірювань твердих мікрочастинок постами громадського моніторингу атмосферного повітря в містах України. Дослідження проведено з використанням методів системного аналізу, порівняння, узагальнення.

**Результати.** Забруднення повітря дрібними мікрочастинками PM 2,5 в містах України має сезонну динаміку. Найбільші значення індексів забруднення повітря для PM 2,5 спостерігаються у холодний період через викиди від спалювання вихопного палива для обігріву приміщень. Якість повітря в окремі дні холодного періоду є небезпечною для здоров'я людини. Запровадження карантину позитивно вплинуло на якість атмосферного повітря за вмістом PM 2,5 в містах на початковому етапі. Умови воєнного стану мають різний вплив на якість атмосферного повітря за вмістом PM 2,5. Встановлено, що вагомим чинником забруднення атмосферного повітря PM 2,5, який суттєво впливає на якість атмосферного повітря в містах, є пожежі в природних системах.

**Ключові слова:** атмосферне повітря, забруднення, тверді мікрочастинки (PM 2,5), індекс якості повітря, вплив на здоров'я, карантин, воєнний стан.

*N. N. Grynchyslyn*

*Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine*

## ATMOSPHERIC AIR QUALITY BY THE CONTENT OF SOLID MICROPARTICLES (PM 2.5) IN THE CITIES OF UKRAINE IN THE CONDITIONS OF QUARANTINE AND MARTIAL STATE

**Introduction.** Air pollution is one of the greatest environmental hazards to human health and the cause of millions of deaths and lost years of healthy life each year. Particulate matter with a diameter of 2.5 microns and less (PM 2.5) has been identified as the main anthropogenic air pollutant that poses a significant risk to human health. The problem of PM 2.5 atmospheric air pollution is especially relevant for urbanised areas.

Quarantine was introduced in Ukraine on March 12, 2020, and martial law was imposed on February 24, 2022, in connection with Russia's armed aggression.

The study of atmospheric air quality under such conditions is of significant scientific interest and necessary for its quality management.

The paper presents for the first time the results of the study of the quality of atmospheric air by the content of solid microparticles of PM 2.5 with an assessment of the risk to health in the conditions of quarantine and martial law in Ukraine.

**Purpose.** To determine changes in the quality of atmospheric air in terms of the content of solid microparticles (PM 2.5) in the cities of Ukraine under conditions of quarantine and martial law.

**Materials and methods.** Atmospheric air quality indices (AQI) for PM 2.5 were used in the study, calculated based on measurements of solid microparticles by public air monitoring posts in cities of Ukraine. The research was conducted using the methods of system analysis, comparison, and generalization.

**Results.** Air pollution by small PM 2.5 microparticles in the cities of Ukraine has seasonal dynamics. The highest values of air pollution indices for PM 2.5 are observed in the cold season due to emissions from the burning of fossil fuels for space heating. Air quality on certain days of the cold period is dangerous for human health. The introduction of quarantine had a positive effect on the quality of atmospheric air in terms of PM 2.5 content in cities at the initial stage. Martial law conditions have different effects on the quality of atmospheric air in terms of PM 2.5 content. It has been established that fires in natural systems are a significant factor in atmospheric air pollution PM 2.5, which significantly affects the quality of atmospheric air in cities.

**Keywords:** atmospheric air, pollution, solid microparticles (PM 2.5), air quality index, impact on health, quarantine, martial law.

**Постановка проблеми.** Забруднення повітря є однією з найбільших екологічних небезпек для здоров'я людей та причиною мільйонів смертей і втрачених років здорового життя щорічно [1].

Майже все населення планети (99%) дихає повітрям, яке перевищує допустимі норми ВООЗ, причому країни з низьким і середнім рівнем доходу страждають від найбільшого впливу [2].

Забруднення повітря в Європі суттєво впливає на здоров'я європейського населення, особливо в містах. Незважаючи на те, що викиди основних забруднювачів повітря та їх концентрації в атмосферному повітрі значно зменшилися за останні два десятиліття в Європі, якість повітря залишається небезпечною в багатьох регіонах. Хвороби серця та інсульт є найпоширенішими причинами передчасної смерті через забруднення повітря [3].

До основних антропогенних забруднювачів повітря, що мають значний ризик для здоров'я відносять тверді мікрочастинки діаметром 2,5 мікрона та менше (PM 2,5). Їх небезпека для організму людини полягає у здатності глибоко проникати в легені й потрапляти в кров; спричиняти захворювання як серцево-судинної, так і дихальної системи; провокувати інсульт, рак легенів і хронічну обструктивну хворобу легень [1].

Тому, якість атмосферного повітря за вмістом дрібних мікрочастинок (PM 2,5) є важливим об'єктом екологічних досліджень у багатьох країнах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно з дослідженням глобального тягаря хвороб у 2019 році, забруднення повітря твердими мікрочастинками є провідним фактором ризику передчасної смертності та захворюваності в усьому світі [4]. Велика кількість доказів підтверджує несприятливі наслідки короткочасного та тривалого впливу PM 2,5 на здоров'я людини, навіть за низьких концентрацій [5].

Тверді мікрочастинки в забрудненому повітрі можуть потрапляти в організм людини через вдихання, ковтання та контакт зі шкірою та накопичуватись у різних органах тіла [6].

Токсикологічний вплив PM 2,5 доведено для епідермальної [7], дихальної [8], імунної [9], нервової [10] і серцево-судинної систем [11].

Тверді мікрочастинки є вирішальним фактором ризику передчасних щорічних смертей через вплив на судинну й вегетативну дисфункції, атеросклероз і гіпертонію [12].

PM 2,5 можуть адсорбувати на своїх поверхнях інші шкідливі речовини й викликати додаткові негативні наслідки для здоров'я після їх потрапляння в організм людини [13].

Джерелами утворення PM 2,5 є природна та антропогенна діяльність. До природних джерел належать аерозолі морської солі, вулкани, лісові пожежі, пилові бурі, жива рослинність і біологічні аерозольні частинки [14]. Антропогенні джерела твердих мікрочастинок включають викиди транспортних засобів, спалювання твердого палива і побутової біомаси, промислові викиди, сільськогосподарську діяльність [15].

Концентрації PM 2,5 у приземному шарі атмосфери суттєво відрізняються в усьому світі. В 175 країнах з 2000 по 2019 рік середньорічна концентрація PM 2,5 становила 32,8 мкг/м<sup>3</sup>, тоді як рекомендована норма ВООЗ – 5 мкг/м<sup>3</sup>. Понад 70% днів у році, протягом цього ж періоду, концентрація PM 2,5 у всьому світі перевищувала добовий рівень 15 мкг/м<sup>3</sup>, рекомендований ВООЗ [16].

У багатьох регіонах світу виявлені чіткі сезонні закономірності динаміки концентрації PM 2,5 [16]. Просторово-часові коливання концентрацій PM 2,5 можуть бути результатом різних типів і компонентів антропогенних викидів від спалювання палива [17], а також внаслідок зміни природних джерел викидів через екстремальні погодні явища, такі як лісові пожежі та пил, що переноситься вітром [18].

Провідними джерелами глобальних викидів PM 2,5 у всьому світі є спалювання вихопного палива в комунальному господарстві, промисловості та для виробництва електроенергії [19].

Основними джерелами високих рівнів твердих мікрочастинок у великих містах є викиди транспортних засобів [20, 21], внесок яких у

забруднення повітря в містах по всьому світу становить, в середньому, 27% [22].

У період запровадження карантину в багатьох містах світу спостерігали зменшення забруднення атмосферного повітря твердими мікрочастинками. Це відбулося, в основному, через зниження мобільності на дорогах, що призвело до зменшення викидів в повітря від транспорту [23, 24].

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** Означена проблема забруднення атмосферного повітря РМ 2,5 особливо актуальна для міст України, в яких проживає значна частина населення.

В світовому рейтингу країн за рівнем смертності, спричиненої забрудненням атмосферного повітря, Україна займає лідируючі позиції [25]. Смертність населення країни від захворювань системи кровообігу є надвисокою [26].

З 12 березня 2020 року в Україні був запроваджений карантин, а з 24 лютого 2022 року, в зв'язку зі збройною агресією росії, введений військовий стан. Дослідження якості атмосферного повітря в таких умовах представляє значний науковий інтерес та необхідне для управління його якістю.

В роботі вперше представлено результати дослідження якості атмосферного повітря за вмістом твердих мікрочастинок РМ 2,5 з оцінкою ризику для здоров'я в умовах карантину та воєнного стану в Україні.

**Мета роботи** – визначити зміни якості атмосферного повітря за вмістом твердих мікрочастинок (РМ 2,5) в містах України в умовах карантину та воєнного стану.

**Матеріали та методи дослідження.** Існуюча система державного моніторингу атмосферного повітря в Україні не проводить вимірів твердих мікрочастинок (РМ 2,5). В новоприйнятих гігієнічних регламентах «Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць», (наказ МОЗ України від 14 січня 2020 року № 52) відсутні значення гранично допустимих концентрацій для РМ 2,5.

В дослідженні було використано індекси якості атмосферного повітря (AQI) для РМ 2,5, розраховані на основі вимірювань твердих мікрочастинок постами громадського моніторингу атмосферного повітря в містах України. Інформація про середні добові значення індексів якості атмосферного повітря розміщена на сайті [SaveEcoBot](#) [27], який поєднує дані про забруднення, забруднювачів та дає змогу проводити їх аналіз у різні періоди з максимальним обмеженням у три роки.

AQI є інструментом агентства з охорони навколишнього середовища США для щоденної інформації населення про якість повітря. AQI розраховують для кожного окремого забруднювача за формулою [NowCast](#) [28].

AQI широко використовують державні установи в усьому світі для інформування громадськості про потенційні наслідки впливу забруднювачів повітря на здоров'я. Шкала AQI поділена на шість категорій, кожна з яких має певний колір і відповідає різному рівню забруднення повітря (табл.1). Чим вище значення AQI, тим вищий рівень забруднення повітря та більше занепокоєння для здоров'я.

**Таблиця 1**

AQI для забруднення повітря РМ 2,5 [29]

AQI	Рівень забруднення повітря	Застереження для населення
0 - 50	Добрий	Жодного
51 - 100	Помірний	Людам, з особливою чутливістю, слід обмежити тривале перебування на вулиці або зменшити важке навантаження
101-150	Нездоровий для чутливих груп	Людам із захворюваннями серця або легенів, людям похилого віку та дітям слід обмежити тривале перебування на вулиці або зменшити важке навантаження
151-200	Нездоровий	Людам із захворюваннями серця або легенів, людям похилого віку та дітям слід обмежити тривале перебування на вулиці та зменшити важке навантаження. Всім іншим, варто обмежити тривале перебування на повітрі
201-300	Дуже нездоровий	Дуже шкідливо для здоров'я. Людам із захворюваннями серця чи легенів, людям похилого віку та дітям слід уникати будь-якої фізичної активності на повітрі. Всі інші, повинні уникати тривалого або важкого навантаження на відкритому повітрі.
300+	Небезпечний	Усім слід уникати перебування на відкритому повітрі

Дослідження аналізує період з 2020 по 2022 рр, який охоплює карантин та воєнний стан в Україні.

Аналіз якості повітря проведений для 5 міст, перелік яких поданий в табл. 2. Критерієм для

вибору міста слугували найвищі комплексні індекси забруднення атмосферного повітря (ІЗА), визначені з метою рейтингу міст України за якістю атмосферного повітря в 2020 році.

**Таблиця 2**

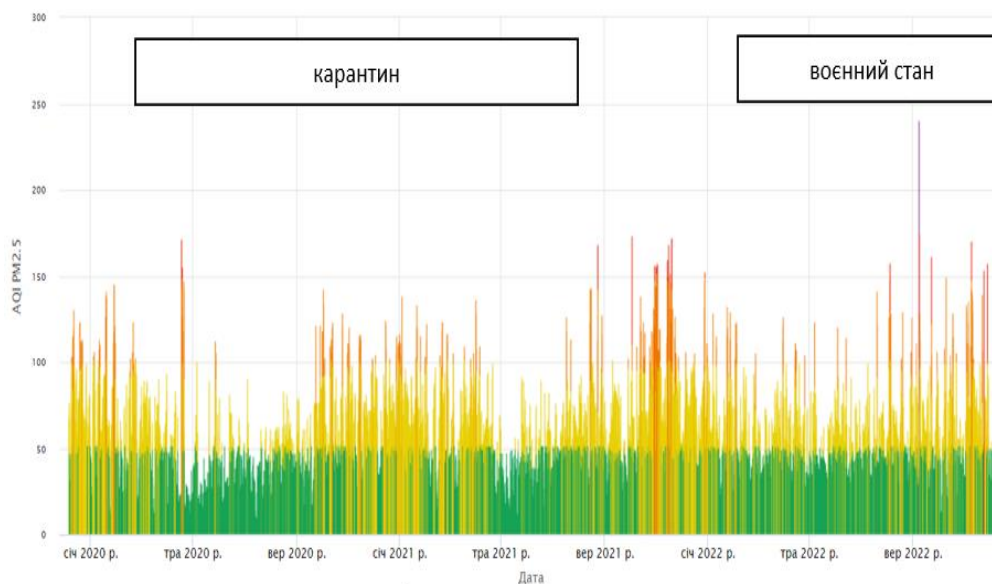
Комплексний індекс забруднення атмосферного повітря для окремих міст України в 2020 році

№ з/п	Місто	ІЗА
1	Кам'янське	14,8
2	Дніпро	14,1
3	Кривий ріг	13,8
4	Одеса	12,7
5	Київ	9,6

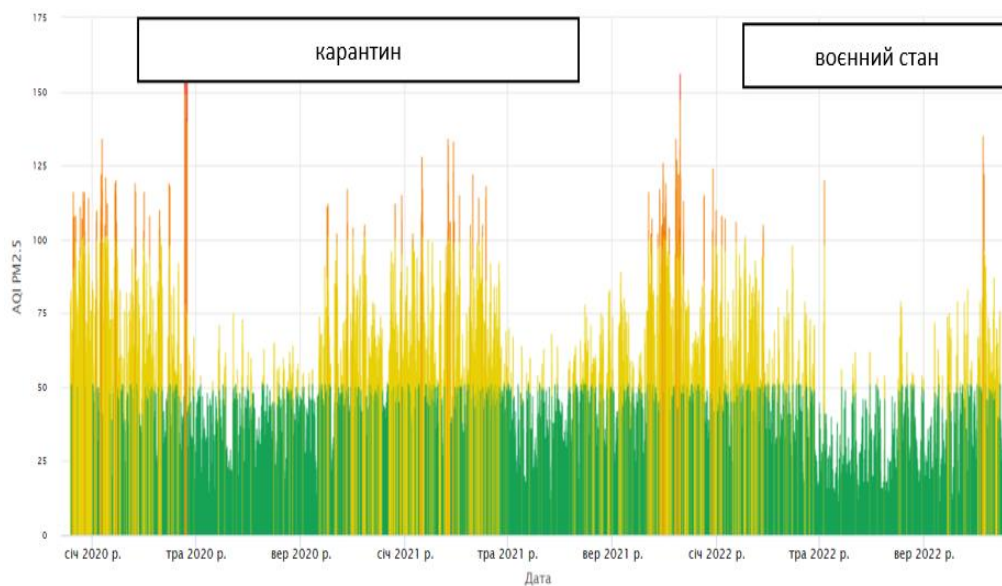
В дослідженні використано методи системного аналізу, порівняння, узагальнення.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Середньодобові значення індексів якості

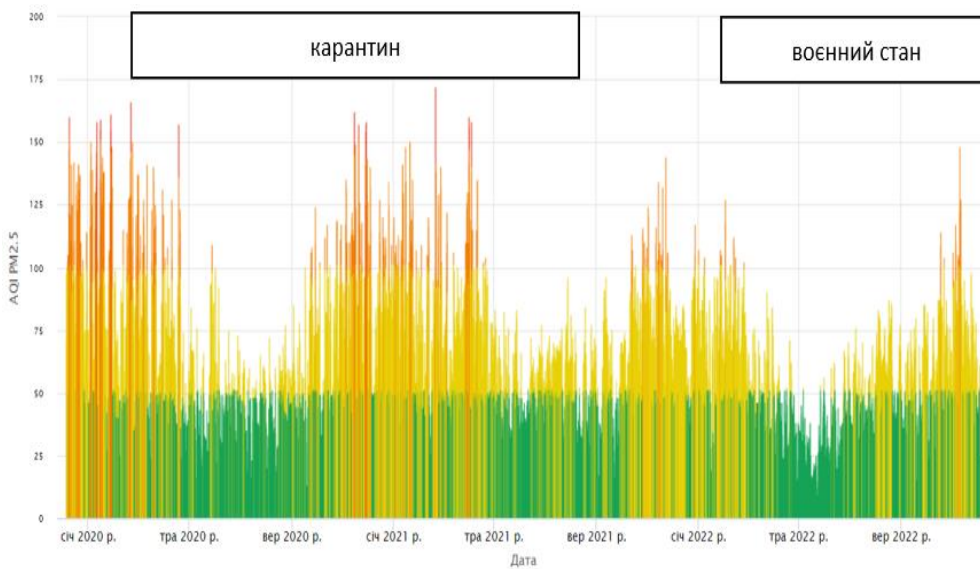
атмосферного повітря для РМ 2,5, отримані від усіх діючих станцій громадського моніторингу в досліджуваних містах, представлено на рис. 1-5.



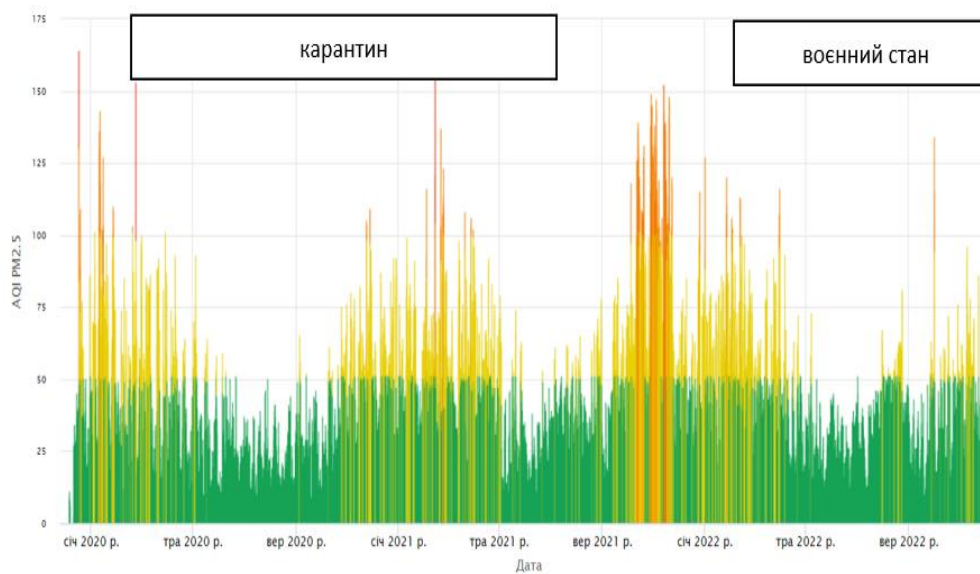
**Рисунок 1** – Середньодобові індекси якості атмосферного повітря для РМ 2,5 у місті Кам'янське за період 2020-2022 рр. [27]



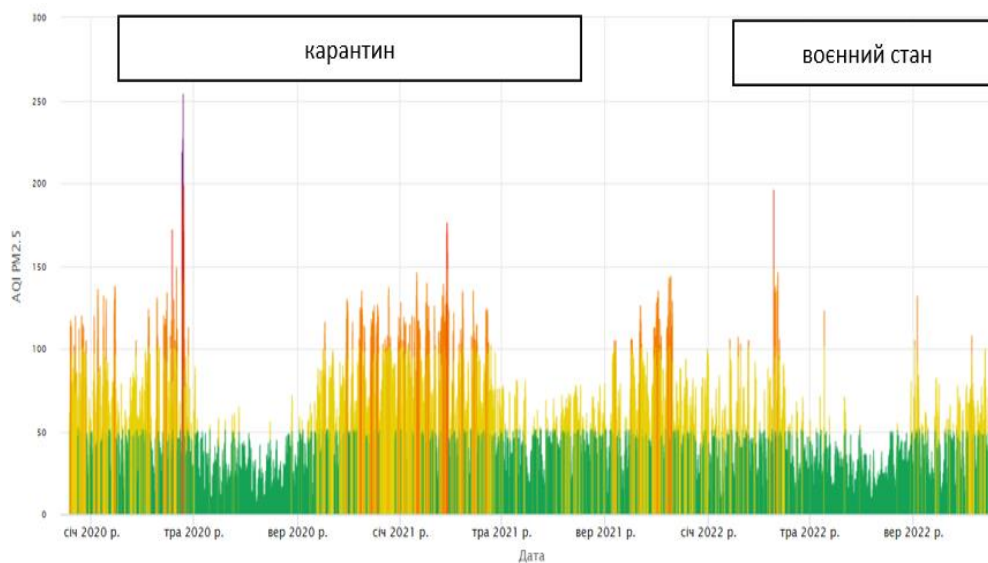
**Рисунок 2** – Середньодобові індекси якості атмосферного повітря для РМ 2,5 у місті Дніпро за період 2020-2022 рр. [27]



**Рисунок 3** – Середньодобові індекси якості атмосферного повітря для РМ 2,5 у місті Кривий Ріг за період 2020-2022 рр. [27]



**Рисунок 4** – Середньодобові індекси якості атмосферного повітря для РМ 2,5 у місті Одеса за період 2020-2022 рр. [27]



**Рисунок 5** – Середньодобові індекси якості атмосферного повітря для РМ 2,5 у місті Київ за період 2020 - 2022 рр. [27]

При аналізі середньодобових значень індексів якості повітря в містах України (рис. 1 - 5), спостерігається загальна тенденція щодо їх сезонної динаміки: найбільші рівні AQI для PM 2,5 є у зимовий період, і найнижчі – в літній період.

Підвищення рівня AQI для PM 2,5 до помірного рівня та рівня небезпечного в холодний період, очевидно, пов'язане зі збільшенням забруднення повітря викидами від опалювання приміщень. Також, у період з вересня по травень зростає кількість приватного транспорту через навчальний процес, що призводить до збільшення транспортних потоків та заторів, і відповідно, впливає на підвищення рівня індексу якості повітря.

У дослідженні, проведеному у польському місті Кракові, протягом зимових місяців у 2005-2020 роках, постійно спостерігалось перевищення добового вмісту PM 2,5 [30]. Такі результати підтверджують те, що спалювання палива для обігріву будинків і приміщень є вагомим джерелом забруднення повітря в містах у холодний період.

У літні місяці забруднення повітря PM 2,5 в містах зумовлене, переважно, викидами від транспорту й промисловості. У переважній більшості днів, якість повітря в містах за вмістом PM 2,5 протягом літнього періоду є безпечною для людини.

Карантин, запроваджений в Україні навесні 2020 року для припинення або мінімізації поширення COVID-19, мав позитивний вплив на якість атмосферного повітря в весняно-літній період 2020 року. Зниження рівня AQI для PM 2,5, в порівнянні з аналогічним періодом 2021 року, спостерігалось для всіх досліджуваних міст (рис. 1 - 5).

Воєнний стан має різний вплив на динаміку забруднення атмосферного повітря PM 2,5 в містах (рис. 1 - 5). У більшості міст, окрім міста Кам'янське, відбулося суттєве зниження індексу якості повітря. Така ситуація, обумовлена

зменшенням/припиненням виробничої діяльності суб'єктів господарювання, зниженням інтенсивності руху приватних транспортних засобів та іншими обставинами. Зважаючи на те, що в цей період відбувалися постійні ракетні обстріли цих міст, які спричинювали виникнення пожеж на різних об'єктах, то очевидним є те, що викиди від них, не мали суттєвого впливу на підвищення добового рівня AQI для PM 2,5.

У місті Кам'янське, індекс якості повітря для PM 2,5 у весняно-літній період 2022 року в умовах воєнного стану збільшився, у порівнянні з аналогічним періодом 2021 року. Це пов'язано з тим, що це місто тоді перебувало на лінії зіткнення під постійними обстрілами ворожої артилерії, «Градів», «Смерчів», мінометів, гранатометів, різного озброєння. Отже, ведення активних бойових дій впливає на підвищення рівня забруднення атмосферного повітря PM 2,5.

Особливої уваги заслуговують поодинокі випадки найвищого рівня індексу якості повітря для PM 2,5 у містах, які траплялися протягом досліджуваного періоду, переважно, навесні й восени (рис. 1 - 5).

Зважаючи на те, що в світі все частіше спостерігаються епізоди екстремального забруднення повітря в містах, зумовлені пожежами в природних системах [31], які впливають на якість повітря іноді за сотні кілометрів від джерела [32], можна припустити, що саме пожежі в природних екосистемах були причинами таких ситуацій.

Проведений аналіз ситуації підвищеного рівня AQI для PM 2,5, за якої 5 вересня 2022 року в місті Києві був небезпечний рівень забруднення повітря (рис. 6), встановив, що причина високої задимленості повітря пов'язана з торф'яними пожежами, які відбувалися в різних районах Київської області.

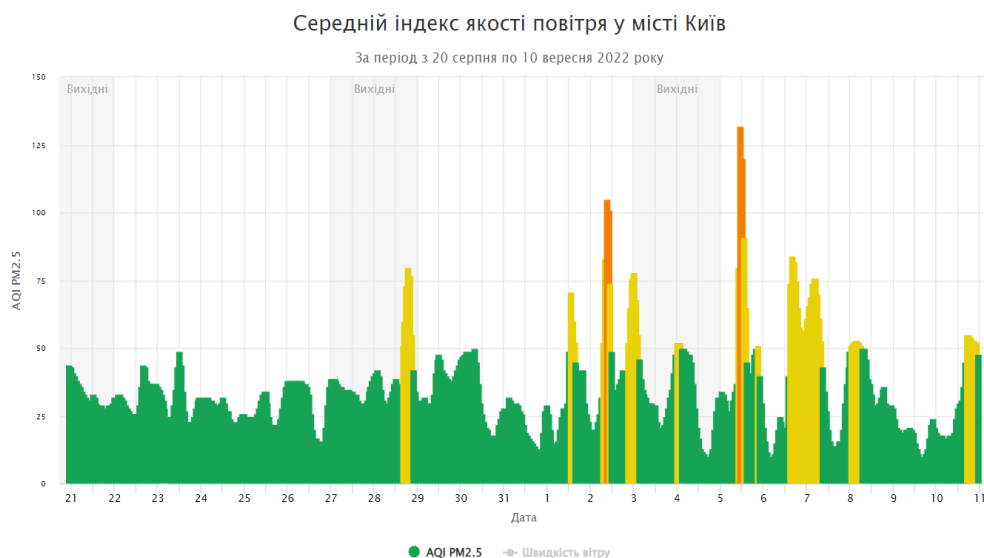


Рисунок 6 – Середньодобові індекси якості атмосферного повітря для PM 2,5 у місті Київ [27]

Отже, пожежі в природних екосистемах є вагомим чинником впливу на забруднення атмосферного повітря РМ 2,5, який підвищує індекс якості повітря в містах до небезпечного рівня.

**Висновки.** Забруднення атмосферного повітря твердими мікрочастинками РМ 2,5 в містах України характеризується загальною закономірністю щодо сезонної динаміки. В літній період забруднення обумовлене викидами від автомобільного транспорту й промисловості, а індекс якості повітря не перевищує помірного рівня. В холодний період забруднення збільшується через викиди від спалювання викопного палива для обігріву приміщень, а індекс якості повітря в окремі дні сягає небезпечною для здоров'я людини рівня.

Запроваджений в Україні загальнонаціональний карантин позитивно вплинув на якість атмосферного повітря в містах на початковому етапі. Протягом весняно-літнього періоду 2020 року в містах спостерігалось зниження індексу якості повітря для РМ 2,5.

Введений в Україні воєнний стан має різний вплив на динаміку забруднення повітря РМ 2,5. За відсутності активних збройних дій в містах спостерігалось зниження індексів якості повітря для РМ 2,5. Ракетні обстріли міст не мали суттєвого впливу на підвищення рівнів індексу якості атмосферного повітря для РМ 2,5. Ведення активних бойових дій підвищує забруднення атмосферного повітря твердими мікрочастинками, що супроводжується, відповідно, зростанням індексів якості повітря для РМ 2,5.

Пожежі в природних екосистемах є вагомим чинником забруднення атмосферного повітря твердими мікрочастинками. Індекс якості повітря для РМ 2,5 в містах під час пожеж в природних системах сягає найбільших рівнів, а повітря є небезпечним для здоров'я людей.

#### Список літератури:

1. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide: executive summary. World Health Organization : website. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345334> (date of access: 21.04.2023).
2. Europe's air quality status 2022. European Environment Agency : website. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/status-of-air-quality-in-Europe-2022/europes-air-quality-status-2022> (date of access: 22.04.2023).
3. Exceedance of air quality standards in Europe. European Environment Agency: website, URL: <https://www.eea.europa.eu/ims/exceedance-of-air-quality-standards> (date of access: 22.04.2023).

4. Murray C.J. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020. Vol. 396. P. 1223-1249. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30752-2.

5. Liu C., Chen R., Sera F., et al. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. *The New England Journal of Medicine*. 2019. Vol 381, №8. P. 705–715. doi.org/10.1056/NEJMoa1817364

6. Calderón-Garcidueñas L, Stommel E.W., Rajkumar R.P., et al. Particulate air pollution and risk of neuropsychiatric outcomes. What we breathe, swallow, and put on our skin matters. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol 18, №21. 11568. doi: 10.3390/ijerph182111568

7. Piao M.J., Ahn M.J., Kang K.A., et al. Particulate matter 2.5 damages skin cells by inducing oxidative stress, subcellular organelle dysfunction, and apoptosis. *Arch Toxicol*. 2018. Vol 92. №6. P. 2077–2091. doi: 10.1007/s00204-018-2197-9

8. Liu Q., Xu C., Ji G., et al. Effect of exposure to ambient Pm<sub>2.5</sub> pollution on the risk of respiratory tract diseases: A meta-analysis of cohort studies. *The Journal of Biomedical Research*. 2017. Vol 31, №2. P. 130–142. doi: 10.7555/JBR.31.20160071

9. Zhao J., Gao Z., Tian Z., et al. The biological effects of individual-level Pm(2.5) exposure on systemic immunity and inflammatory response in traffic policemen. *Occupational and environmental medicine*. 2013. Vol 70, №6. P. 426–431. doi: 10.1136/oemed-2012100864

10. Wang Y., Xiong L., Tang M. Toxicity of inhaled particulate matter on the central nervous system: Neuroinflammation, neuropsychological effects and neurodegenerative disease. *Journal of applied toxicology*. 2017. Vol 37, №6. P. 644–667. doi: 10.1002/jat.3451

11. Du Y., Xu X., Chu M., Guo Y., Wang J. Air particulate matter and cardiovascular disease: The epidemiological, biomedical and clinical evidence. *Journal of thoracic disease*. 2016. Vol 8, №1. P.8–19. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2015.11.37

12. Aryal A, Harmon AC, Dugas TR. Particulate matter air pollutants and cardiovascular disease: Strategies for intervention. *Pharmacology & therapeutics*. 2021. Vol 223. 107890. doi: 10.1016/j.pharmthera.2021.107890

13. Kastury F., Smith E., Juhasz A.L. A critical review of approaches and limitations of inhalation bioavailability and bioaccessibility of metal (loid)s from ambient particulate matter or dust. *Science of The Total Environment*. 2017; Vol.574. P.1054–1074. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.056.

14. Ali M.U., Liu G., Yousaf B. et al. A systematic review on global pollution status of particulate matter-associated potential toxic elements and health perspectives in urban environment. *Environ Geochem*

Health 2019. Vol. 41. P. 1131–1162. doi.org/10.1007/s10653-018-0203-z

15. Alemayehu Y.A., Asfaw S.L., Terfie T.A. Exposure to urban particulate matter and its association with human health risks. *Environmental science and pollution research international*. 2020. Vol. 27, №22. P.27491-27506. doi: 10.1007/s11356-020-09132-1

16. Yu W., Ye T., Zhang Y., et al. Global estimates of daily ambient fine particulate matter concentrations and unequal spatiotemporal distribution of population exposure: a machine learning modelling study. *Lancet Planet Health*. 2023. Vol.7. P.209-218. doi: 10.1016/S2542-5196(23)00008-6

17. McDuffie E.E., Martin R.V., Spadaro J.V. et al. Source sector and fuel contributions to ambient PM<sub>2.5</sub> and attributable mortality across multiple spatial scales. *Nature communications* 2021. Vol.12, №1, 3594. doi.org/10.1038/s41467-021-23853-y

18. Chen G., Guo Y., Yue X. et al. Mortality risk attributable to wildfire-related PM<sub>2.5</sub> pollution: a global time series study in 749 locations. *The Lancet. Planetary health*. 2021. Vol.5, №9. P.579-587. doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00200-X

19. Weagle C.L., Snider G., Li C. et al. Global sources of fine particulate matter: interpretation of PM<sub>2.5</sub> chemical composition observed by SPARTAN using a global chemical transport model. *Environmental Science & Technology*. 2018. Vol.52, №20. P.11670-11681. doi:10.1021/ACS.EST.8B01658

20. Dabek-Zlotorzynska E., Celo V., Ding L., et al. Characteristics and sources of PM<sub>2.5</sub> and reactive gases near roadways in two metropolitan areas in Canada. *Atmospheric Environment*. Vol. 218. 116980. doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116980.

21. Park E.H., Heo J., Kim H., Yi S.M. Long term trends of chemical constituents and source contributions of PM<sub>2.5</sub> in Seoul. *Chemosphere*. Vol. 2020, №251. 126371. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126371

22. Heydari S., Tainio M., Woodcock J., de Nazelle A. Estimating traffic contribution to particulate matter concentration in urban areas using a multilevel Bayesian meta-regression approach. *Environment international*. 2020. Vol. 141. 105800. doi.org/10.1016/j.envint.2020.105800

23. Li J., Tartarini F. Changes in air quality during the COVID-19 lockdown in Singapore and associations with human mobility trends. *Aerosol Air Qual. Res.* 2020. Vol. 20. P.1748–1758. doi.org/10.4209/aaqr.2020.06.0303

24. Bao R., Zhang A. Does lockdown reduce air pollution? Evidence from 44 cities in northern China. *Sci. Total Environ*. 2020. Vol. 20, №731. 139052. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139052

25. World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: a global assessment of*

*exposure and burden of disease* World Health Organization : website. URL:

<https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>

26. Гринчишин Н., Мричко М. Роль екологічного фактора в депопуляції населення України. Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: зб. наук. праць XVII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУ БЖД, 2022. С. 206-209. URL:

<https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/9954>

27. Забруднення повітря у місті. SaveEcoBot веб-сайт. URL: [www.saveecobot.com/](http://www.saveecobot.com/)(дата звернення 12.12.2022)

28. NowCast Calculator. U.S. Environmental Protection Agency: website. URL: <https://www3.epa.gov/airnow/aqicalctest/nowcast.html> (date of access: 12.12.2022)

29. Particulate Matter (PM) Pollution. AirNow: website. URL: <https://www.epa.gov/pm-pollution>

30. Traczyk P., Gruszecka-Kosowska A. The Condition of Air Pollution in Kraków, Poland, in 2005-2020, with Health Risk Assessment. *International journal of environmental research and public health*. 2020. Vol. 17, №17. 6063. doi: 10.3390/ijerph17176063

31. Kelly F.J., Fussell J.C. Global nature of airborne particle toxicity and health effects: a focus on megacities, wildfires, dust storms and residential biomass burning. *Toxicology research*. 2020. Vol. 9, №4. P.331-345. doi: 10.1093/toxres/tfaa044.

32. McClure C.D., Jaffe D.A. US particulate matter air quality improves except in wildfire-prone areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2018. Vol. 115 P.7901–7906. doi: 10.1073/pnas.1804353115.

#### References:

1. World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide: executive summary. World Health Organization: website. URL:

<https://apps.who.int/iris/handle/10665/345334> (date of access: 21.04.2023).

2. Europe's air quality status 2022. European Environment Agency: website. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/status-of-air-quality-in-Europe-2022/europes-air-quality-status-2022> (date of access: 22.04.2023).

3. Exceedance of air quality standards in Europe. European Environment Agency: website. URL: <https://www.eea.europa.eu/ims/exceedance-of-air-quality-standards> (date of access: 22.04.2023).

4. Murray. C.J. (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease



- Study 2019. *Lancet*. 396. P. 1223-1249. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30752-2.
5. Liu, C. & al. (2019). Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *The New England Journal of Medicine*, 381(8), 705–715. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1817364>
6. Calderón-Garcidueñas, L. & al. (2021). Particulate Air Pollution and Risk of Neuropsychiatric Outcomes. What We Breathe, Swallow, and Put on Our Skin Matters. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18, 11568. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111568>
7. Piao, M. J., & al. (2018). Particulate matter 2.5 damages skin cells by inducing oxidative stress, subcellular organelle dysfunction, and apoptosis. *Archives of toxicology*, 92(6), 2077–2091. <https://doi.org/10.1007/s00204-018-2197-9>
8. Liu, Q., & al. (2017). Effect of exposure to ambient PM<sub>2.5</sub> pollution on the risk of respiratory tract diseases: a meta-analysis of cohort studies. *Journal of biomedical research*, 31(2), 130–142. <https://doi.org/10.7555/JBR.31.20160071>
9. Zhao, J., & al. (2013). The biological effects of individual-level PM(2.5) exposure on systemic immunity and inflammatory response in traffic policemen. *Occupational and environmental medicine*, 70(6), 426–431. <https://doi.org/10.1136/oemed-2012-100864>
10. Wang, Y., Xiong, L., & Tang, M. (2017). Toxicity of inhaled particulate matter on the central nervous system: neuroinflammation, neuropsychological effects and neurodegenerative disease. *Journal of applied toxicology : JAT*, 37(6), 644–667. <https://doi.org/10.1002/jat.3451>
11. Du, Y., & al. (2016). Air particulate matter and cardiovascular disease: the epidemiological, biomedical and clinical evidence. *Journal of thoracic disease*, 8(1), E8–E19. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2015.11.37>
12. Aryal, A., Harmon, A. C., & Dugas, T. R. (2021). Particulate matter air pollutants and cardiovascular disease: Strategies for intervention. *Pharmacology & therapeutics*, 223, 107890. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2021.107890>
13. Kastury, F., Smith, E., & Juhasz, A.L. (2017). A critical review of approaches and limitations of inhalation bioavailability and bioaccessibility of metal(loid)s from ambient particulate matter or dust. *The Science of the total environment*, 574, 1054-1074. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.056>
14. Ali, M.U., & al. (2019). A systematic review on global pollution status of particulate matter-associated potential toxic elements and health perspectives in urban environment. *Environ Geochem Health*. 41, 1131–1162. <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0203-z>
15. Alemayehu, Y. A., Asfaw, S. L., & Terfie, T. A. (2020). Exposure to urban particulate matter and its association with human health risks. *Environmental science and pollution research international*, 27(22), 27491–27506. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09132-1>
16. Yu, W., & al. (2023). Global estimates of daily ambient fine particulate matter concentrations and unequal spatiotemporal distribution of population exposure: a machine learning modelling study. *The Lancet. Planetary health*, 7(3), e209–e218. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(23\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(23)00008-6)
17. McDuffie, E. E., & al. (2021). Source sector and fuel contributions to ambient PM<sub>2.5</sub> and attributable mortality across multiple spatial scales. *Nature communications*, 12(1), 3594. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23853-y>
18. Chen, G., & al. (2021). Mortality risk attributable to wildfire-related PM<sub>2.5</sub> pollution: a global time series study in 749 locations. *The Lancet. Planetary health*, 5(9), e579–e587. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00200-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00200-X)
19. Crystal, L. & al. (2018). Global Sources of Fine Particulate Matter: Interpretation of PM<sub>2.5</sub> Chemical Composition Observed by SPARTAN using a Global Chemical Transport Model. *Environmental Science & Technology*, 52(20):11670-11681. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.8B01658>
20. Dabek-Zlotorzynska E., & al. (2019). Characteristics and sources of PM<sub>2.5</sub> and reactive gases near roadways in two metropolitan areas in Canada, *Atmospheric Environment*. Vol. 218. 116980. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116980>
21. Park, E. H., Heo, J., Kim, H., & Yi, S. M. (2020). Long term trends of chemical constituents and source contributions of PM<sub>2.5</sub> in Seoul. *Chemosphere*, 251, 126371. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126371>
22. Heydari, S., Tainio, M., Woodcock, J., & de Nazelle, A. (2020). Estimating traffic contribution to particulate matter concentration in urban areas using a multilevel Bayesian meta-regression approach. *Environment international*, 141, 105800. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105800>
23. Li, J. & Tartarini, F. (2020). Changes in Air Quality during the COVID-19 Lockdown in Singapore and Associations with Human Mobility Trends. *Aerosol Air Qual. Res.* 20: 1748–1758. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.06.0303>
24. Bao, R., & Zhang, A. (2020). Does lockdown reduce air pollution? Evidence from 44 cities in northern China. *The Science of the total environment*, 731, 139052. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139052>
25. World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease* World Health

- Organization: website. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/250141>
26. Grynchysyn, N., & Mrychko, M. (2022) The role of the environmental factor in the depopulation of the population of Ukraine. Problems and prospects of security system development vital activity: Collection of scientific papers XVII International scientific-practical conference by young scientists, cadets and students. Lviv: LSU LS., P. 206-209. <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/9954>
27. Air pollution in the city. SaveEcoBot: URL: [www.saveecobot.com/](http://www.saveecobot.com/) (date of access: 12.12.2022)
28. NowCast Calculator. U.S. Environmental Protection Agency : website. URL: <https://www3.epa.gov/airnow/aqicalctest/nowcast.html> (date of access: 12.12.2022)
29. Particulate Matter (PM) Pollution. AirNow: website. URL: <https://www.epa.gov/pm-pollution>
30. Traczyk, P., & Gruszecka-Kosowska, A. (2020). The Condition of Air Pollution in Kraków, Poland, in 2005-2020, with Health Risk Assessment. *International journal of environmental research and public health*, 17(17), 6063. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176063>
31. Kelly, F. J., & Fussell, J. C. (2020). Global nature of airborne particle toxicity and health effects: a focus on megacities, wildfires, dust storms and residential biomass burning. *Toxicology research*, 9(4), 331–345. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfaa044>
32. McClure, C. D., & Jaffe, D. A. (2018). US particulate matter air quality improves except in wildfire-prone areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(31), 7901–7906. <https://doi.org/10.1073/pnas.1804353115>

© Н. М. Гринчишин, 2023.

**Оглядова.**

Надійшла до редакції 04.05.2023.

Прийнято до публікації 18.05.2023.