


УДК 614.71:[616.98:578.834.1COVID-19](477.54-25)

DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0586.19.6.2023.1623>Подаваленко А.П.<sup>1</sup> , Георгіянц М.А.<sup>1</sup> , Висоцька О.В.<sup>2</sup> , Корж О.М.<sup>1</sup> , Порван А.П.<sup>2</sup> ,  
Маслова В.С.<sup>3</sup> , Березняков В.І.<sup>1</sup> , Бабаєва О.І.<sup>1</sup> <sup>1</sup>Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна<sup>3</sup>Харківська обласна клінічна інфекційна лікарня, м. Харків, Україна

## Виявлення впливу забруднювачів атмосферного повітря на тяжкість перебігу COVID-19 в адміністративно-промисловому м. Харкові

For citation: Emergency Medicine (Ukraine). 2023;19(6):427-436. doi: 10.22141/2224-0586.19.6.2023.1623

**Резюме. Актуальність.** Незважаючи на офіційну заяву ВООЗ про закінчення пандемії COVID-19, ризик епідемічних підйомів захворюваності залишається через активну циркуляцію збудника інфекції та його мутацію. Соціальні, природні, екологічні та інші чинники можуть сприяти поширенню COVID-19. Забруднювачі атмосферного повітря є вкрай небезпечними для людини, а суміші аерозолів та частинки пилу у повітрі можуть слугувати факторами передачі вірусу SARS-CoV-2. **Мета дослідження:** виявлення впливу забруднювачів атмосферного повітря на тяжкість перебігу COVID-19 у Харкові. **Матеріали та методи.** Оцінку впливу екологічних факторів на прояви епідемічного процесу COVID-19 проводили протягом 425 днів. Було вивчено 16 723 випадки госпіталізованих, 1883 летальних та 15 146 підтверджених випадків COVID-19 різних вікових груп. Щодня в середньому було 4663 активні випадки. Статистичний аналіз оцінки впливу екологічних факторів на захворюваність на COVID-19 з різним ступенем тяжкості проводили за допомогою непараметричного критерію Краскела — Уолліса у програмному пакеті IBM SPSS Statistics, а перевірку нормальності закону розподілу — за критерієм Колмогорова — Смірнова. Для деяких допоміжних обчислень і побудови графіків використовували засоби табличного процесора Microsoft Office Excel 2016. **Результати.** Встановлено вплив діоксиду сірки, діоксиду азоту, оксиду азоту, сірководню, фенолу, сажі та формальдегіду на захворюваність на COVID-19 з різною тяжкістю перебігу інфекції при інкубаційних періодах 3–4 дні, 6–7 днів та 10–14 днів. Найбільш суттєвий вплив високих концентрацій діоксиду азоту, оксиду азоту та формальдегіду виявлено на активні, підтверджені, госпіталізовані та летальні випадки COVID-19. Водночас збільшення активних випадків COVID-19 спостерігалось при зростанні концентрації діоксиду сірки та сірководню, а високі концентрації фенолу та сажі чинили вплив на тяжкі форми перебігу. **Висновки.** Забруднення атмосферного повітря може сприяти поширенню COVID-19 та призводити до тяжких форм перебігу, що необхідно враховувати при прогнозуванні захворюваності на різних рівнях (національному, регіональному, локальному) проведення епідеміологічного нагляду. Для встановлення причинно-наслідкових зв'язків між захворюваністю на COVID-19 та забруднювачами атмосферного повітря необхідно проводити подальші дослідження, беручи до уваги вплив соціальних та природних факторів.

**Ключові слова:** тяжкість перебігу; госпіталізовані; летальні випадки; COVID-19; забруднювачі атмосферного повітря

 © 2023. The Authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, CC BY, which allows others to freely distribute the published article, with the obligatory reference to the authors of original works and original publication in this journal.

Для кореспонденції: Подаваленко Алла Павлівна, доктор медичних наук, професор, завідувачка кафедри гігієни, епідеміології, дезінфектології та професійних хвороб, Харківський національний медичний університет, пр. Науки, 4, м. Харків, 61022, Україна; e-mail: [epid@ukr.net](mailto:epid@ukr.net); tel.: +380 (67) 198-07-34

For correspondence: Alla Podavalenko, MD, PhD, professor, head of the department of hygiene, epidemiology, disinfectology, and occupational diseases, Kharkiv National Medical University, 4, Nauky Ave., Kharkiv, 61022, Ukraine; e-mail: [epid@ukr.net](mailto:epid@ukr.net); phone: +380 (67) 198-07-34

Full list of authors information is available at the end of the article.

## Вступ

За даними ВООЗ, на травень 2023 року підтверджених випадків COVID-19 зареєстровано більше 766 млн, а померло близько 7 млн осіб [1]. Введення режимно-обмежувальних заходів, впровадження вакцин від COVID-19 дещо призупинило поширення та привело до зниження тяжких форм перебігу [2, 3]. Але циркуляція вірусу SARS-CoV-2 не припиняється, спостерігається його постійна мутація [4], що обумовлює високий ризик чергового підйому захворюваності, незважаючи на офіційну заяву ВООЗ про закінчення пандемії. Тож для зменшення інтенсивності циркуляції збудника COVID-19 важливим є виявлення факторів ризику його поширення. Епідемічні спалахи коронавірусних інфекцій до 2019 року були більш інтенсивними на територіях з високою концентрацією забруднювачів атмосферного повітря [5].

Сучасні дослідження також показують, що забруднення повітря відіграє важливу роль в опосередкуванні тяжкості респіраторних синдромів, зокрема COVID-19. Так, було показано, що одночасний вплив дрібних твердих частинок збільшує кількість госпіталізацій, пов'язаних з COVID-19 [6]. Інші забруднювачі, як-от діоксид сірки, оксид вуглецю, діоксид азоту, викликають окиснювальний стрес, пошкодження легень та дисфункцію ендотелію [7]. Забруднювачі атмосферного повітря призводять до росту імунопатології та зниження неспецифічної резистентності організму, що негативно впливає на імунну відповідь, зокрема при вакцинації [8].

Під час пандемії COVID-19 майже всі країни світу запровадили режимно-обмежувальні заходи, які сприяли зменшенню руху автотранспорту та закриттю підприємств, що забруднювали атмосферне повітря. Введення у багатьох країнах режимно-обмежувальних заходів [9] спонукало до вивчення динаміки концентрації забруднювачів атмосферного повітря в період пандемії. Було показано різке поліпшення якості повітря у Бразилії [10], Китаї [11], Індії [12], Іспанії [13] та інших країнах світу [14], хоча у більшості випадків припускали значну роль у цьому метеорологічних факторів.

Україна з 16 березня 2020 р. також запровадила жорсткий карантин [15]. Цей захід, можливо, привів до часткового скорочення руху автомобільного транспорту, при цьому робота стаціонарних джерел, що пов'язані з енергетикою, не припинялася. Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України [16], режимно-обмежувальні заходи вводили в кожному населеному пункті залежно від встановленого рівня епідемічної небезпеки.

У м. Харкові, незважаючи на введення карантину, не припиняли роботу основні стаціонарні забруднювачі атмосферного повітря і працював приватний автомобільний транспорт. Громадський транспорт (автобуси, тролейбуси та трамваї) працював залежно від встановленої зони епідемічної небезпеки, при цьому середньодобова концентрація найбільш поширених забруднювачів атмосферного повітря майже не змінювалася.

Вивчення взаємозв'язку між захворюваністю на COVID-19 та забруднювачами атмосферного повітря проводилося у багатьох країнах [17], але робіт, що до-

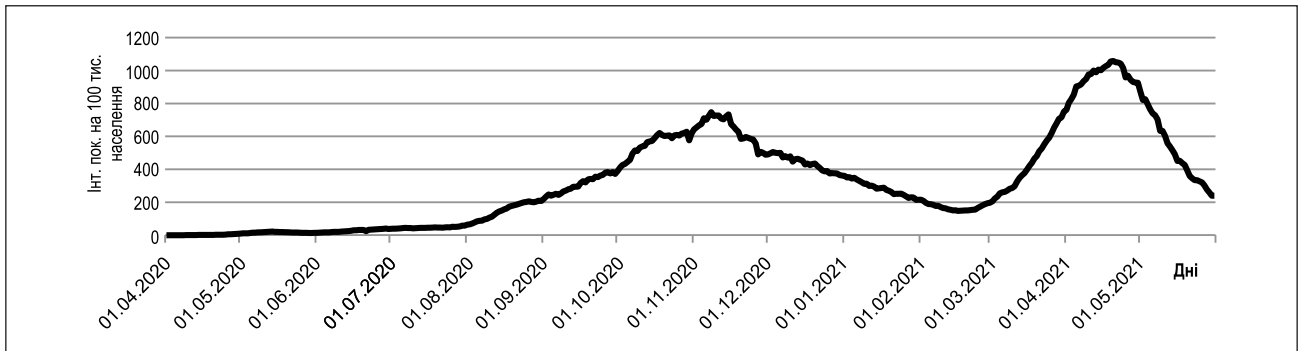
сліджували ефект конкретних забруднювачів атмосферного повітря на локальному рівні, недостатньо. Тож наша робота була спрямована на вивчення найбільш поширених забруднювачів атмосферного повітря, що впливають на захворюваність на COVID-19, в адміністративно-промисловому, високо урбанізованому м. Харкові.

**Метою** дослідження було виявлення впливу забруднюючих речовин атмосферного повітря на активні та підтверджені випадки (захворювання) та госпіталізовані й летальні випадки (тяжкі форми перебігу) COVID-19 в адміністративно-промисловому місті Харкові.

## Матеріали та методи

У роботі використано інформацію офіційного сайту Національної служби здоров'я України [18] та матеріали Харківського регіонального центру з гідрометеорології щодо забруднювачів атмосферного повітря. У м. Харкові стан атмосферного повітря формується переважно обсягами викидів забруднюючих речовин від пересувних (автомобільний транспорт) та стаціонарних (філія «Теплоелектроцентрально» Товариства з обмеженою відповідальністю «ДВ нафтогазовидобувна компанія», Приватне акціонерне товариство «Харківська теплоелектроцентрально № 5») джерел забруднення. Харківський регіональний центр з гідрометеорології щоденно, крім святкових днів, фіксує дані про забруднення атмосферного повітря міста Харкова на 10 стаціонарних пунктах спостереження, які обладнані лабораторіями «ПОСТ-1» та «ПОСТ-2».

Вивчали щодобові епідеміологічні параметри COVID-19 (активні, підтверджені, госпіталізовані та летальні випадки) та 10 забруднювачів атмосферного повітря ( $\text{мг/м}^3$ ) — завислі речовини, діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ), оксид вуглецю ( $\text{CO}$ ), діоксид азоту ( $\text{NO}_2$ ), оксид азоту ( $\text{NO}$ ), сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ), фенол ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ ), сажа, аміак ( $\text{NH}_3$ ), формальдегід ( $\text{CH}_2\text{O}$ ) протягом 425 днів (01.04.2020–31.05.2021 р.). Досліджували 16 723 випадки госпіталізованих, 1883 летальних та 15 146 підтверджених різних вікових груп. Щодня в середньому було 4663 активні випадки. Зазначені забруднювачі відомі своїм шкідливим впливом на здоров'я. Так,  $\text{CO}$ , вступаючи в реакцію із гемоглобіном крові, утворює стійку сполуку — карбоксигемоглобін, яка зумовлює кисневе голодування.  $\text{NO}$  викликає алергічні реакції респіраторного характеру та бронхіальну астму.  $\text{NO}_2$  негативно впливає на дихальну систему та зменшує гемоглобін у крові, знижує опірність організму людини до захворювань, призводить до кисневого голодування тканин.  $\text{SO}_2$  у комплексі вологи та інших речовин подразнює слизові оболонки та негативно впливає на легені. Тривалий вплив завислих речовин — дрібнодисперсних твердих часток призводить до ініціації запальної реакції при дихальних і серцево-судинних захворюваннях [7]. Аналізуючи вплив хімічних речовин, які знаходилися в атмосферному повітрі, на прояви епідемічного процесу COVID-19, враховували інкубаційний період COVID-19, зокрема мінімальний (3–4 дні), середній (6–7 днів) та максимальний (10–14 днів).



**Рисунок 1. Динаміка багатодобової захворюваності на COVID-19 з 01.04. 2020 по 31.05.2021 р. у м. Харкові**

Статистичний аналіз результатів дослідження виконували за допомогою програмного пакета IBM SPSS Statistics Trial Version для Windows 10 (IBM, USA). Перевірку отриманих результатів на нормальність закону розподілу проводили за критерієм Колмогорова — Смірнова. Перевірка на тип розподілу кількісних даних за методом Колмогорова — Смірнова показала його невідповідність закону нормального розподілу, тому визначення впливу забруднювачів атмосферного повітря на захворюваність на COVID-19 з різною тяжкістю перебігу проводили за критерієм Краскела — Уолліса (Kruskal-Wallis), який є непараметричним аналогом дисперсійного аналізу.

## Результати та обговорення

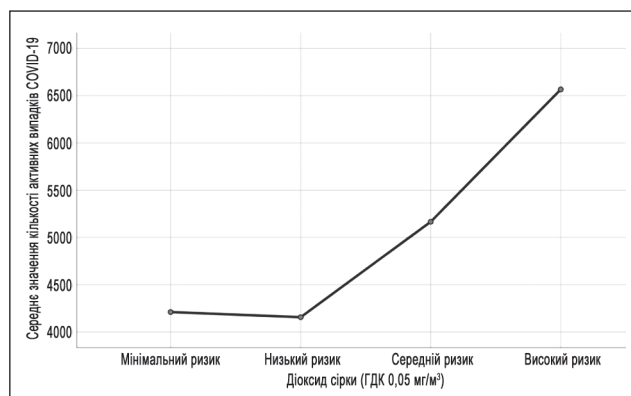
За 425 днів у м. Харкові було зареєстровано 15 146 підтверджених випадків COVID-19, а середній показник захворюваності становив  $326,00 \pm 25,78$  на 100 тис. населення. У багатодобовій динаміці захворюваності на COVID-19 спостерігалось два епідемічних під-

йоми: з 09.09.2020 по 07.01.2021 р. та з 12.03.2021 по 25.05.2021 р., при яких запроваджували «червоний» рівень епідемічної небезпеки поширення COVID-19 (рис. 1).

У Харкові концентрація завислих речовин коливалася в межах від 0,0133 до 0,2517 мг/м<sup>3</sup>, а середньодобова становила 0,081676 мг/м<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> — від 0,0018 до 0,0111 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова 0,0068 мг/м<sup>3</sup>, CO — від 0,855 до 2,010 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова 1,3127 мг/м<sup>3</sup>, NO<sub>2</sub> — від 0,0177 до 0,0445 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова 0,03085 мг/м<sup>3</sup>, NO — від 0,0029 до 0,0441 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова 0,0184 мг/м<sup>3</sup>, H<sub>2</sub>S — від 0 до 0,0031 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова 0,000657 мг/м<sup>3</sup>, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>O — від 0,0008 до 0,0043 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова 0,00185 мг/м<sup>3</sup>, сажі — від 0 до 0,080 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова 0,02473 мг/м<sup>3</sup>, NH<sub>3</sub> — від 0 до 0,0107 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова 0,00281 мг/м<sup>3</sup>, CH<sub>2</sub>O — від 0,0004 до 0,0065 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова 0,00234 мг/м<sup>3</sup>. Гранично допустима концентрація (ГДК) хімічних речовин не перевищувала їх межі, окрім NO<sub>2</sub> — спостерігалось перевищення ГДК протягом 21 дня в різні часові періоди.

**Таблиця 1. Ступені ризику впливу забруднювачів атмосферного повітря на захворюваність на COVID-19 з різною тяжкістю перебігу**

Забруднювачі атмосферного повітря	Ступені ризику впливу на захворюваність на COVID-19			
	Високий	Середній	Низький	Мінімальний
Завислі речовини (ГДК 0,15 мг/м <sup>3</sup> )	Від 0,2517 до 0,1500	Від 0,1499 до 0,1000	Від 0,0999 до 0,04000	Від 0,0399 та нижче
Діоксид сірки (ГДК 0,05 мг/м <sup>3</sup> )	Від 0,0111 до 0,0090	Від 0,0089 до 0,0070	Від 0,0069 до 0,0050	Від 0,0049 та нижче
Оксид вуглецю (ГДК 3,0 мг/м <sup>3</sup> )	Від 2,0100 до 1,8000	Від 1,7999 до 1,5000	Від 1,4999 до 1,2000	Від 1,1999 та нижче
Діоксид азоту (ГДК 0,04 мг/м <sup>3</sup> )	Від 0,0445 до 0,0385	Від 0,0384 до 0,0346	Від 0,0345 до 0,0270	Від 0,0269 та нижче
Оксид азоту (мг/м <sup>3</sup> )	Від 0,0441 до 0,0280	Від 0,0279 до 0,0240	Від 0,0239 до 0,0200	Від 0,0199 та нижче
Сірководень (мг/м <sup>3</sup> )	Від 0,0031 до 0,0009	Від 0,0008 до 0,0005	Від 0,0004 до 0,0002	Від 0,0001 до 0
Фенол (мг/м <sup>3</sup> )	Від 0,0043 до 0,0029	Від 0,0028 до 0,0025	Від 0,0024 до 0,0020	Від 0,0019 та нижче
Сажа (мг/м <sup>3</sup> )	Від 0,0800 до 0,0600	Від 0,0599 до 0,0400	Від 0,0399 до 0,0200	Від 0,0199 та нижче
Аміак (мг/м <sup>3</sup> )	Від 0,0107 до 0,0050	Від 0,0049 до 0,0030	Від 0,0029 до 0,0010	Від 0,0009 та нижче
Формальдегід (мг/м <sup>3</sup> )	Від 0,0065 до 0,0050	Від 0,0049 до 0,0030	Від 0,0029 до 0,0010	Від 0,0009 та нижче



**Рисунок 2. Вплив високої концентрації діоксиду сірки на активні випадки COVID-19**

Враховуючи ГДК хімічних речовин у повітрі та концентрацію десяти забруднювачів атмосферного повітря у м. Харкові за період від 01.04.2020 до 31.05.2021 р., визначили попередньо ступені ризику інфікування (високий, середній, низький та мінімальний, табл. 1).

Аналіз відносних змін концентрації у навколишньому середовищі десяти забруднювачів повітря проводився протягом всього періоду дотримання режимно-обмежувальних заходів. Викид хімічних речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел не припинявся протягом періоду карантину у м. Харкові. Тож жорсткий карантин, введений у м. Харкові з 16 березня 2020 року, ймовірно, не спричинив зниження рівня забруднення атмосферного повітря.

Припущення можливого впливу забруднювачів атмосферного повітря від стаціонарних та пересувних джерел на параметри (активні, підтвержені, госпіталізовані та летальні випадки) епідемічного процесу COVID-19 у період пандемії у м. Харкові було підтвержене аналізом, проведеним за допомогою критерію Краскала — Уолліса. Встановили, що із 10 забруднювачів 7 хімічних речовин, зокрема діоксид сірки, діоксид азоту, оксид азоту, сірководень, фенол, сажа та формальдегід, могли бути причиною поширення COVID-19 (табл. 2).

Вплив діоксиду сірки, діоксиду азоту, оксиду азоту, сірководню, фенолу, сажі та формальдегіду на захворюваність на COVID-19 (активні та підтвержені випадки) та тяжкий перебіг інфекції (госпіталізовані та летальні випадки) спостерігали при різних інкубаційних періодах (3–4 дні, 6–7 днів та 10–14 днів).

Встановлено, що при зростанні концентрації діоксиду сірки зростала кількість активних випадків COVID-19 (рис. 2).

Вплив діоксиду азоту на активні, підтвержені, госпіталізовані та летальні випадки COVID-19 суттєвий, але неоднозначний. Спостерігали зростання випадків COVID-19 як при низьких концентраціях діоксиду азоту, так і при високих. Більшою мірою це проявилось при тяжкому перебігу (госпіталізовані та летальні випадки) (рис. 3).

Найбільш суттєвий вплив на активні, підтвержені, госпіталізовані та летальні випадки COVID-19 справляв оксид азоту високої концентрації (рис. 4).

Можна припустити, що сірководень при будь-яких концентраціях може впливати на перебіг COVID-19, але нами було підтверджено це тільки щодо активних та госпіталізованих випадків, причому переважно при мінімальних інкубаційних періодах (рис. 5).

Фенол більшою мірою впливав на тяжкий перебіг (госпіталізовані та летальні випадки) COVID-19, причому при різних концентраціях цієї речовини (рис. 6).

Сажа більшою мірою впливала на тяжкий перебіг (госпіталізовані та летальні випадки) COVID-19, але також на активні випадки при середніх та високих концентраціях цієї речовини і при 6–7 та 10–14 днях інкубаційного періоду (рис. 7).

Негативний вплив формальдегіду різної концентрації виявили при всіх параметрах епідемічного процесу COVID-19 (рис. 8).

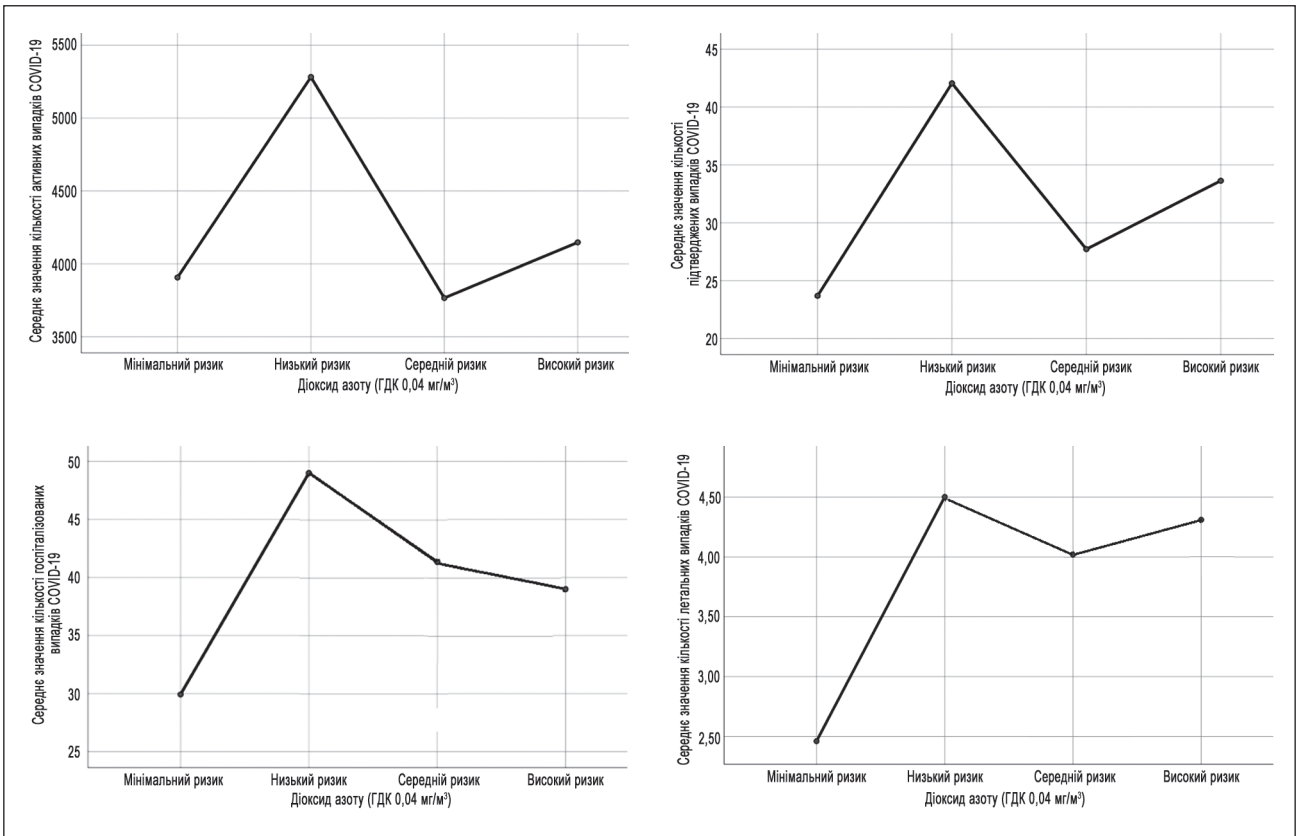
Не було встановлено впливу високої концентрації завислих речовин, аміаку та оксиду вуглецю на прояви епідемічного процесу COVID-19.

Здоров'я людини залежить від дії факторів навколишнього середовища, що спричиняють не тільки респіраторні вади, але і хронічні захворювання печінки,

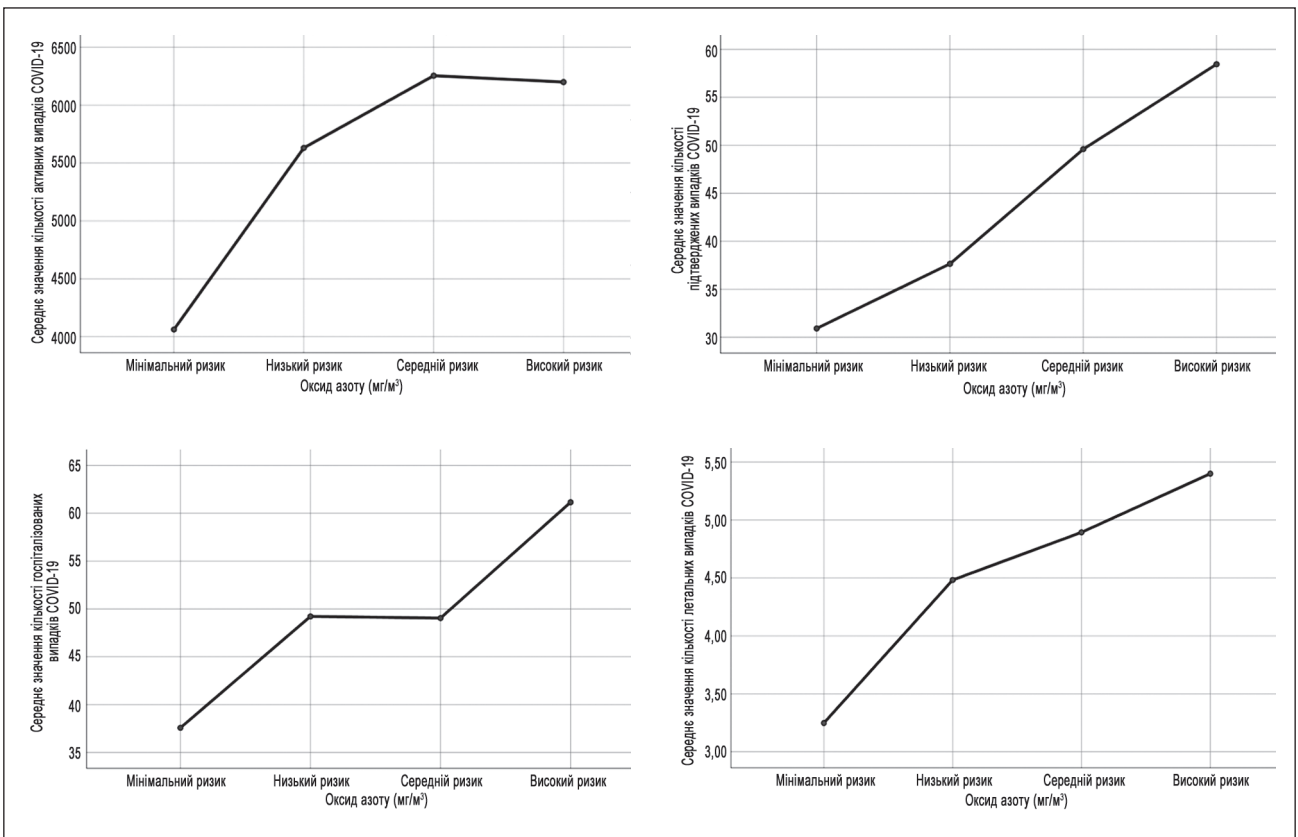
**Таблиця 2. Вплив забруднювачів атмосферного повітря на прояви епідемічного процесу COVID-19 у м. Харкові за 01.04.2020–31.05.2021 р.**

Хімічні речовини	Випадки COVID-19											
	Активні			Підтвержені			Госпіталізовані			Летальні		
	Інкубаційний період (дні)											
	3–4	6–7	10–14	3–4	6–7	10–14	3–4	6–7	10–14	3–4	6–7	10–14
Діоксид сірки	+	+	+									
Діоксид азоту		+++	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Оксид азоту	+++	+++	+	+++	++	++	+++	+	+	+++	++	++
Сірководень	++	++					+++					
Фенол								++	+++		+++	
Сажа		++	+					+++	+++		+++	+++
Формальдегід	+++	+++		+++	+++	+++	++	++	++	+	+++	+++

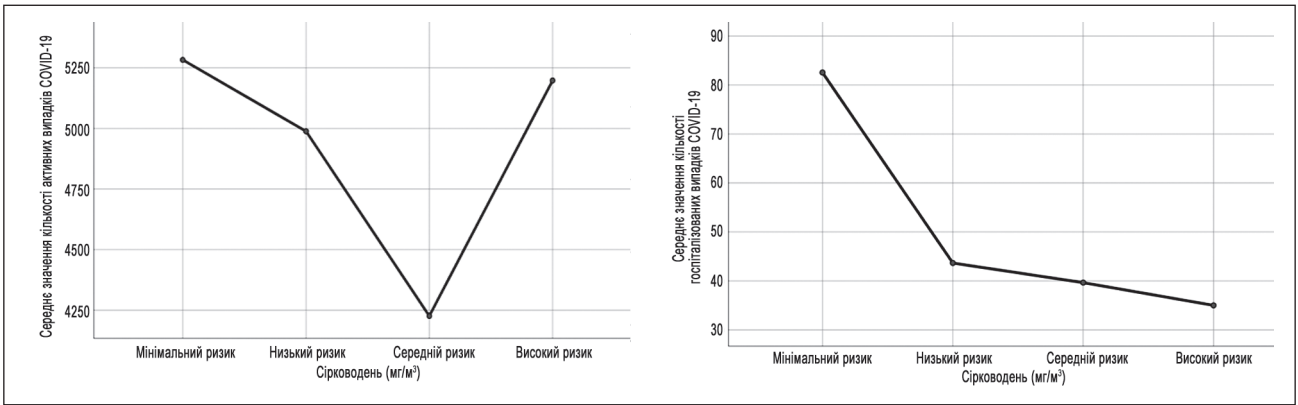
Примітки: «+» —  $p < 0,05$ ; «++» —  $p < 0,01$ ; «+++» —  $p < 0,001$ .



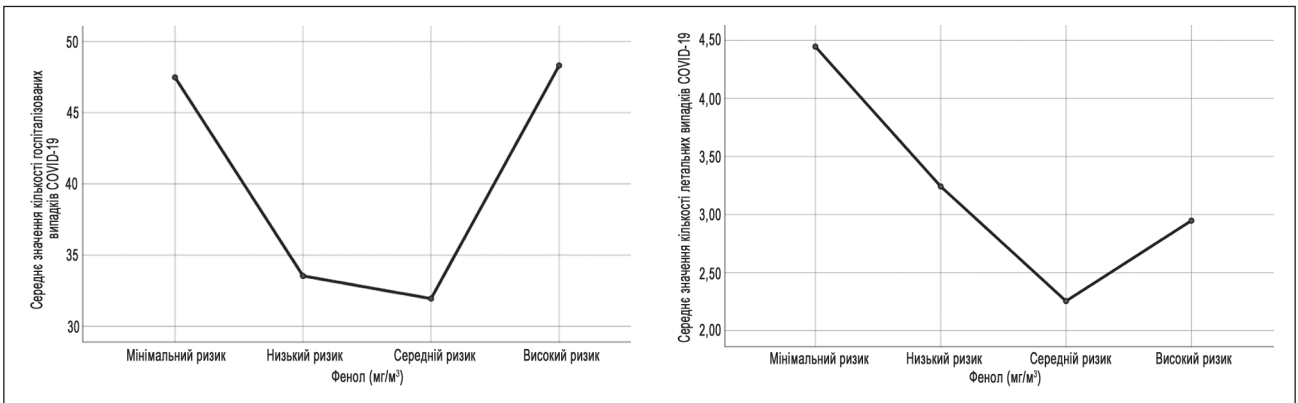
**Рисунок 3. Вплив високої концентрації діоксиду азоту на активні, підтверджені, госпіталізовані та летальні випадки COVID-19**



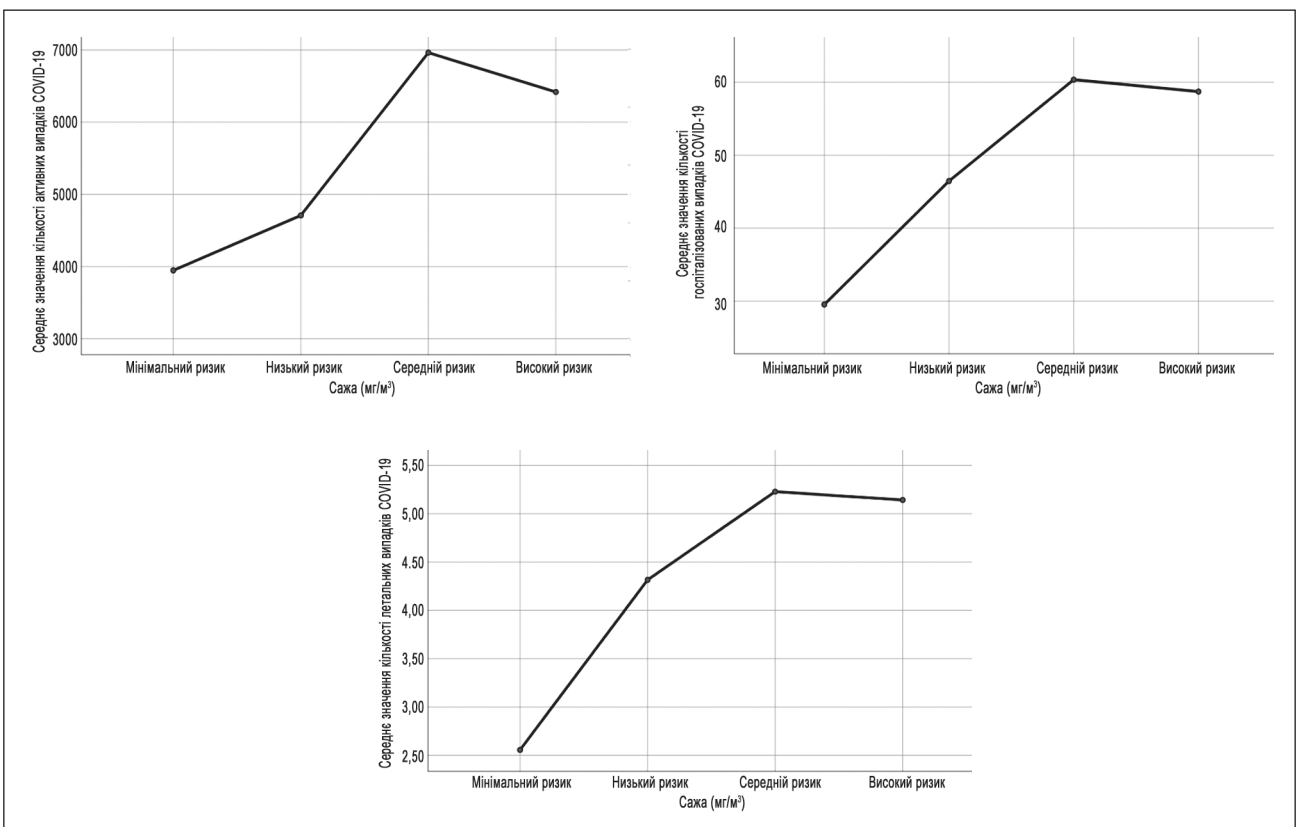
**Рисунок 4. Вплив високої концентрації оксиду азоту на активні, підтверджені, госпіталізовані та летальні випадки COVID-19**



**Рисунок 5. Вплив сірководню на активні та госпіталізовані випадки COVID-19**



**Рисунок 6. Вплив фенолу на госпіталізовані та летальні випадки COVID-19**



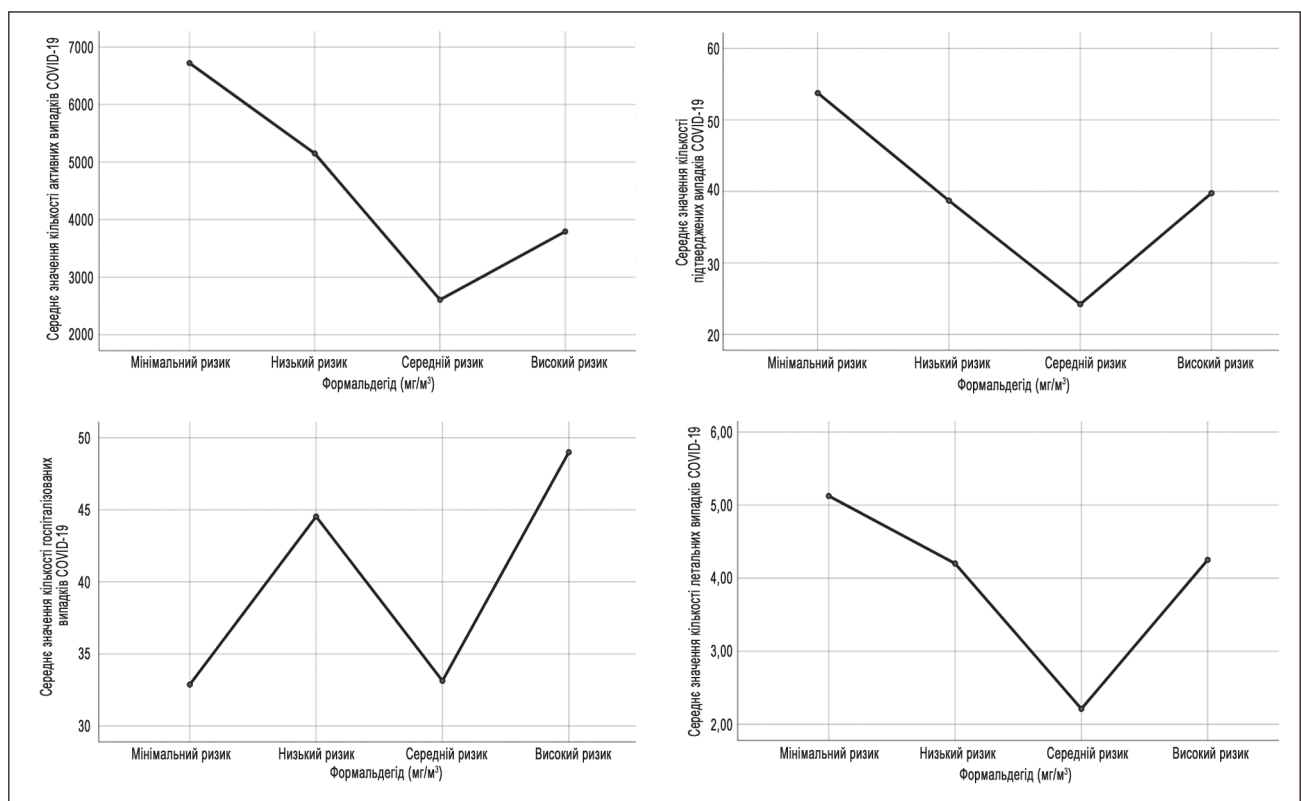
**Рисунок 7. Вплив сажі на активні, госпіталізовані та летальні випадки COVID-19**

нирок та серцево-судинної системи, а також діабет і онкозахворювання [19], які є причиною тяжкого перебігу COVID-19 [20, 21]. У літературі показано, що коморбідні стани були відзначені у 62,5 % дітей з тяжким та критичним перебігом COVID-19 [22]. Доведений факт, що дихальна система найбільш уразлива до забруднення атмосферного повітря. Домішки у повітрі (завислі речовини, сажа) можуть осідати на поверхні альвеол та провокувати розвиток хронічного бронхіту, емфіземи або раку легень. Сполуки азоту можуть бути причиною емфіземи та набряку легень, а діоксид сірки сприяє виникненню алергічних захворювань дихальних шляхів і також емфіземи легень. Причому результат цього впливу може бути прямим або опосередкованим, що залежить від терміну дії хімічних речовин, їх властивостей та концентрацій. Отже, вивчення впливу забруднювачів атмосферного повітря на перебіг хвороби з аерозольно-аспіраційним шляхом передачі збудника на локальному рівні в адміністративно-промисловому місті Харкові за період з 01.04.2020 по 31.05.2021 р., враховуючи інкубаційний період (3–4 дні, 6–7 та 10–14 днів) COVID-19 та два епідемічних підйоми весною та восени, на наш погляд, є обґрунтованим. Дослідження впливу десяти забруднювачів атмосферного повітря статистично підтвердили, що зростання концентрації  $\text{NO}_2$  ( $p \leq 0,0001$ ),  $\text{NO}$  ( $p = 0,01–0,0001$ ) та формальдегіду ( $p = 0,045–0,0001$ ) має суттєвий вплив на активні, підтверджені, госпіталізовані та летальні випадки COVID-19, сірководню ( $p < 0,0001$ ) — на госпіталізовані випадки, фенолу ( $p = 0,001 – < 0,0001$ ) та сажі ( $p < 0,0001$ ) — на тяжкий перебіг хвороби (госпіталізовані та летальні ви-

падки). Встановлено менш значимий вплив діоксиду сірки ( $p = 0,01–0,024$ ), сірководню ( $p = 0,006–0,009$ ) та суттєвий — сажі ( $p = 0,001 – < 0,0001$ ) на активні випадки COVID-19. Вплив високої концентрації оксиду вуглецю на прояви епідемічного процесу COVID-19 не встановлений, а проведені дослідження в Китаї показують, що висока концентрація  $\text{CO}$  є фактором ризику [23]. Водночас дія високої концентрації діоксиду сірки пов'язана із зниженням ризику зараження COVID-19 [23], а ми встановили незначний вплив на активні випадки. Тож необхідні більш детальні дослідження для вивчення основних механізмів.

Аналіз 355 досліджень [24] у більшості випадків продемонстрував неточності, помилки вимірювання результатів, водночас зроблені висновки підтвердили частково наші дані щодо впливу конкретних забруднювачів на захворюваність на COVID-19. Так,  $\text{NO}_2$  пов'язують із захворюваністю, зокрема з тяжкими формами та летальними випадками, при цьому не виявили зв'язку із  $\text{SO}_2$ . Ми отримали такі ж результати, виявили значимий вплив  $\text{NO}$  та  $\text{NO}_2$  на активні, підтверджені, госпіталізовані та летальні випадки. Сукупність фактичних даних за допомогою метааналізу показала вплив забруднюючих атмосферне повітря речовин (тверді речовини,  $\text{NO}_2$  та  $\text{CO}$ ) на епідеміологію COVID-19, при цьому науковці не виключали систематичної помилки в існуючих дослідженнях [9].

Відомо, що атмосферні тверді частинки, зокрема сажа, можуть виконувати роль фактора передачі збудника COVID-19 через повітря, але цьому повинні сприяти швидкість вітру, низька відносна вологість та



**Рисунок 8. Вплив різних концентрацій формальдегіду на активні, підтверджені, госпіталізовані та летальні випадки COVID-19**

температура [25–27]. Можна з цим погодитися, зважаючи на те, що епідемічні підйоми захворюваності у місті відбувалися при кліматичних умовах, які відповідають вищезазначеним метеофакторам. Сажа є складовою частиною забруднень атмосферного повітря. Найменші частки (до 5 мкм) спроможні проникати глибоко в легені, викликаючи загострення респіраторних захворювань, а у дітей — астму та пневмонію [25, 28]. На моделі було показано зв'язок між щоденним коливанням забруднювачів повітря та смертністю від COVID-19 [29], що підтверджено результатами наших досліджень. Відомо, що автомобілі з дизельними двигунами та енергетичні стаціонарні джерела викидають в атмосферне повітря найбільшу кількість сажі. У Харкові через високу ціну на бензин 30–40 % автомобілів та громадських автобусів використовують дизельне паливо, а теплоелектромережі — паливо, яке при згоранні утворює сажу. Спалювання вугілля на теплових електростанціях супроводжується викидами диму, який містить також діоксид сірки та оксид азоту, що може викликати звуження дихальних шляхів та загострення хронічних захворювань.

Слід зазначити, що не було встановлено впливу високої концентрації завислих речовин на прояви епідемічного процесу, що може бути пов'язано з крупнодисперсними частинками, які швидко падали, на відміну від сажі. Хоча РНК SARS-CoV-2 був виявлений у твердих частинках атмосферного повітря в Італії [30].

Високі показники смертності від COVID-19, можливо, мають прямий зв'язок з концентрацією NO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі, про що свідчать наші результати досліджень і висновки німецьких вчених університету Мартіна Лютера, які вивчали цей зв'язок в Італії, Франції, Іспанії та Німеччині [31], а також проведені дослідження у Китаї та США [29]. Крім цього, в Італії встановлено сильну кореляцію між смертністю та позитивними результатами SARS-CoV-2 і тривалою дією забруднювачів атмосферного повітря, причому серед різноманітних факторів (соціальних, економічних, кліматичних тощо) якість повітря, за даними дослідників [32], відіграє найважливішу роль.

Забруднювачі атмосферного повітря можуть також здійснювати опосередкований вплив на поширення COVID-19. Одним з факторів, що впливає на здоров'я населення, є якість атмосферного повітря. Встановлено зв'язок між забруднювачами повітря та хронічними захворюваннями дихальних шляхів [26]. Сполуки сірки та азоту, завислі речовини та сажа наче наждачний папір, постійно подразнюють тканини, що призводить до хронічних запалень, та збільшують ризик інфекційного ураження. Під час пандемії коронавірусної інфекції організм людей з такими вадами не здатен протистояти інфекційному захворюванню. Послаблений та уражений організм легше «атакувати» інфекційним агентом, аніж здоровий. Тож багаторічне забруднення навколишнього середовища при пандемії може суттєво впливати на поширеність та наслідки інфекційних захворювань серед населення, що і спостерігалось у Китаї та Італії, де багато років відмічали високий рівень забруднення

атмосфери [23, 33]. В Україні, частіше в промислових регіонах, спостерігається аналогічна ситуація із забрудненням атмосферного повітря, що є умовою для поширення інфекцій з аерозольно-аспіраційним шляхом передачі збудника.

## Висновки

1. Встановили найбільш суттєвий вплив високої концентрації діоксиду азоту, оксиду азоту та формальдегіду на активні, підтвержені, госпіталізовані та летальні випадки COVID-19, причому при різних інкубаційних періодах (3–4 дні, 6–7 та 10–14 днів).

2. Збільшення активних випадків COVID-19 спостерігалось при зростанні концентрації діоксиду сірки та сірководню. Висока концентрація фенолу та сажі чинила вплив на тяжкі форми перебігу (госпіталізовані та летальні випадки).

3. Отже, забруднення повітря може сприяти поширенню COVID-19 та призводити до тяжких форм перебігу, що необхідно мати на увазі при прогнозуванні епідемічної ситуації на різних рівнях (національному, регіональному, локальному) проведення епідеміологічного нагляду. Для встановлення причинно-наслідкових зв'язків між захворюваністю на COVID-19 та забруднювачами атмосферного повітря слід використовувати більш надійний дизайн досліджень та враховувати вплив інших факторів ризику.

**Подяка.** Автори вдячні начальнику Харківського обласного центру з гідрометеорології Тетяні Михайлівні Кудіновій та співробітникам цього центру за допомогу в зборі інформації про метеорологічні та екологічні показники.

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

**Інформація про фінансування.** Епідеміологічне дослідження є фрагментом науково-дослідної роботи МОЗ України «Наукове обґрунтування епідеміологічного нагляду за COVID-19 та шляхи його вдосконалення в адміністративно-промисловому регіоні» (номер державної реєстрації 0121U107484).

**Внесок авторів.** Корж О.М., Георгіяни М.А., Подаваленко А.П. — істотний внесок у розробку роботи, тлумачення даних; Подаваленко А.П., Висоцька О.В., Порван А.П., Маслова В.С., Бабаєва О.І., Березняков В.І. — збір даних, дизайн дослідження; Подаваленко А.П., Висоцька О.В., Порван А.П. — аналіз даних; Георгіяни М.А., Подаваленко А.П., Березняков В.І. — написання роботи; Корж О.М., Георгіяни М.А., Подаваленко А.П., Маслова В.С. — критичне доопрацювання з урахуванням важливого інтелектуального змісту.

## References

1. World Health Organization (WHO). Weekly epidemiological update on COVID-19 - 25 May 2023: Edition 144. Available from: <https://www.who.int/publications/m/item/weekly-epidemiological-update-on-covid-19---25-may-2023>.
2. Hsiang S, Allen D, Annan-Phan S, et al. The effect of large-scale anti-contagion policies on the COVID-19 pandemic. *Nature*.



2020 Aug;584(7820):262–267. doi:10.1038/s41586-020-2404-8.

3. Flaxman S, Mishra S, Gandy A, et al. Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe. *Nature*. 2020 Aug;584(7820):257–261. doi:10.1038/s41586-020-2405-7.

4. Lou F, Li M, Pang Z, et al. Understanding the Secret of SARS-CoV-2 Variants of Concern/Interest and Immune Escape. *Front Immunol*. 2021 Nov 5;12:744242. doi:10.3389/fimmu.2021.744242.

5. Cui Y, Zhang ZF, Froines J, et al. Air pollution and case fatality of SARS in the People's Republic of China: an ecologic study. *Environ Health*. 2003 Nov 20;2(1):15. doi:10.1186/1476-069X-2-15.

6. Austin W, Carattini S, Gomez-Mahecha J, Pesko MF. The effects of contemporaneous air pollution on COVID-19 morbidity and mortality. *J Environ Econ Manage*. 2023 May;119:102815. doi:10.1016/j.jeem.2023.102815.

7. Lai A, Chang ML, O'Donnell RP, Zhou C, Sumner JA, Hsiai TK. Association of COVID-19 transmission with high levels of ambient pollutants: Initiation and impact of the inflammatory response on cardiopulmonary disease. *Sci Total Environ*. 2021 Jul 20;779:146464. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146464.

8. Franza L, Cianci R. Pollution, Inflammation, and Vaccines: A Complex Crosstalk. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jun 11;18(12):6330. doi:10.3390/ijerph18126330.

9. Buck JC, Weinstein SB. The ecological consequences of a pandemic. *Biol Lett*. 2020 Nov;16(11):20200641. doi:10.1098/rsbl.2020.0641.

10. Dantas G, Siciliano B, Frania BB, da Silva CM, Arbilla G. The impact of COVID-19 partial lockdown on the air quality of the city of Rio de Janeiro, Brazil. *Sci Total Environ*. 2020 Aug 10;729:139085. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139085.

11. Xu K, Cui K, Young LH, et al. Impact of the COVID-19 event on air quality in Central China. *Aerosol Air Qual Res*. 2020;20:915–929. doi:10.4209/aaqr.2020.04.0150.

12. Mahato S, Pal S, Ghosh KG. Effect of lockdown amid COVID-19 pandemic on air quality of the megacity Delhi, India. *Sci Total Environ*. 2020 Aug 15;730:139086. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139086.

13. Tobías A, Carnerero C, Reche C, et al. Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Sci Total Environ*. 2020 Jul 15;726:138540. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138540.

14. Silva ACT, Branco PTBS, Sousa SIV. Impact of COVID-19 Pandemic on air quality: a systematic review. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Feb 10;19(4):1950. doi:10.3390/ijerph19041950.

15. Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution № 215 dated March 16, 2020. On making changes to the Resolution № 211 dated March 11, 2020 of the Cabinet of Ministers of Ukraine. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/215-2020-n#Text>. (in Ukrainian).

16. Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution № 1236 dated December 9, 2020. On the establishment of quarantine and the introduction of restrictive anti-epidemic measures to prevent the spread of the acute respiratory disease COVID-19 caused by the SARS-CoV-2 coronavirus on the territory of Ukraine. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1236-2020-%D0%BF#Text>. (in Ukrainian).

17. Katoto PDMC, Brand AS, Bakan B, et al. Acute and chronic exposure to air pollution in relation with incidence, prevalence, severity and mortality of COVID-19: a rapid systematic review. *Environ Health*. 2021 Apr 10;20(1):41. doi:10.1186/s12940-021-00714-1.

18. National Health Service of Ukraine. Available from: <https://nszu.gov.ua/>. (in Ukrainian).

19. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, et al. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet*. 2018 Feb 3;391(10119):462–512. doi:10.1016/S0140-6736(17)32345-0.

20. Gao YD, Ding M, Dong X, et al. Risk factors for severe and critically ill COVID-19 patients: A review. *Allergy*. 2021 Feb;76(2):428–455. doi:10.1111/all.14657.

21. Leung JM, Niikura M, Yang CWT, Sin DD. COVID-19 and COPD. *Eur Respir J*. 2020 Aug 13;56(2):2002108. doi:10.1183/13993003.02108-2020.

22. Riga O, Korsunov V, Penkov A, et al. Severe and critical COVID-19 in children: a simple single-center, cross-sectional study. *Pediatr Pol*. 2021;96(4):231–237. doi:10.5114/polp.2021.112396.

23. Zhu Y, Xie J, Huang F, Cao L. Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. *Sci Total Environ*. 2020;727:138704. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138704.

24. Hernandez Carballo I, Bakola M, Stuckler D. The impact of air pollution on COVID-19 incidence, severity, and mortality: A systematic review of studies in Europe and North America. *Environ Res*. 2022 Dec;215(Pt 1):114155. doi:10.1016/j.envres.2022.114155.

25. Maleki M, Anvari E, Hopke PK, Noorimotlagh Z, Mirzaee SA. An updated systematic review on the association between atmospheric particulate matter pollution and prevalence of SARS-CoV-2. *Environ Res*. 2021 Apr;195:110898. doi:10.1016/j.envres.2021.110898.

26. Coccia M. Factors determining the diffusion of COVID-19 and suggested strategy to prevent future accelerated viral infectivity similar to COVID. *Sci Total Environ*. 2020 Aug 10;729:138474. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138474.

27. Podavalenko AP, Malysh NG, Kuzmenko OV, Zadorozhna VI, Kolomiets SV, Chemych OM. Influence of meteorological factors on Covid-19 incidence in the conditions of Ukraine. *Bangladesh J Med Sci*. 2023;22(2):385–391. doi:10.3329/bjms.v22i2.65000.

28. Liu HY, Dunea D, Iordache S, Pohoata A. A review of airborne particulate matter effects on young children's respiratory symptoms and diseases. *Atmosphere*. 2018;9:150. doi:10.3390/atmos9040150.

29. Balmes JR. Do we really need another time-series study of the PM<sub>2.5</sub>-mortality association? *N Engl J Med*. 2019 Aug 22;381(8):774–776. doi:10.1056/NEJMe1909053.

30. Setti L, Passarini F, De Gennaro G, et al. SARS-Cov-2RNA found on particulate matter of Bergamo in Northern Italy: First evidence. *Environ Res*. 2020 Sep;188:109754. doi:10.1016/j.envres.2020.109754.

31. Ogen Y. Assessing nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) levels as a contributing factor to coronavirus (COVID-19) fatality. *Sci Total Environ*. 2020 Jul 15;726:138605. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138605.

32. Cazzolla Gatti R, Velichevskaya A, Tateo A, Amoroso N, Monaco A. Machine learning reveals that prolonged exposure to air pollution is associated with SARS-CoV-2 mortality and infectivity in Italy. *Environ Pollut*. 2020 Dec;267:115471. doi:10.1016/j.envpol.2020.115471.

33. Copat C, Cristaldi A, Fiore M, et al. The role of air pollution (PM and NO<sub>2</sub>) in COVID-19 spread and lethality: a systematic review. *Environ Res*. 2020 Dec;191:110129. doi:10.1016/j.envres.2020.110129.

Отримано/Received 11.08.2023

Рецензовано/Revised 22.08.2023

Прийнято до друку/Accepted 30.08.2023 ■

**Information about authors**

Alla Podavalenko, MD, PhD, professor, head of the department of hygiene, epidemiology, disinfectology, and occupational diseases, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: epid@ukr.net; phone: +380 (67) 198-07-34; <https://orcid.org/0000-0003-4585-060X>

Marine Georgiyants, MD, PhD, Professor at the Department of anesthesiology, intensive care and pediatric anesthesiology, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: mgeorgiyants@gmail.com; phone: +380 (56) 523-32-13; <http://orcid.org/0000-0002-1373-7840>

Olena Vysotska, Doctor in Technical Sciences, Professor, head of the department of radioelectronic and biomedical computer-aided means, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: o.vysotska@khai.edu; phone: +380 (50) 767-56-59; <http://orcid.org/0000-0003-3723-9771>

O.M. Korzh, MD, PhD, professor, head of the department of general practice — family medicine, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: okorz2006@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-6838-4360>

A.P. Porvan, PhD, associate professor of the department of radioelectronic and biomedical computer-aided means, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: a.porvan@khai.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0001-9727-0995>

V.C. Maslova, PhD, associate professor, Kharkiv Regional Clinical Infectious Disease Hospital, Kharkiv, Ukraine; e-mail: maslovavalentina87@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8495-3519>

V.I. Bereznyakov, PhD, associate professor of the department of general practice — family medicine, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: nortaril@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7818-4864>

O.I. Babaieva, PhD, associate professor of the department of clinical laboratory diagnostics no. 2, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: olgababaeva0805@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9315-4847>

**Acknowledgement.** The authors are grateful to the head of the Kharkiv Regional Center for Hydrometeorology Tetiana Mykhailivna Kudinova and the employees of this center for their help in collecting information on meteorological and environmental indicators.

**Conflicts of interests.** Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

**Information about funding.** The epidemiological study is a fragment of the research project of the Ministry of Health of Ukraine "Scientific substantiation of epidemiological surveillance of COVID-19 and ways of its improvement in the administrative-industrial region" (state registration number 0121U107484).

**Authors' contribution.** *A.P. Podavalenko* — significant contribution to the development of the work, data interpretation, data collection, research design, data analysis, writing the paper, critical revision of the article taking into account its significant intellectual content; *M.A. Georgiyants* — significant contribution to the development of the work, data interpretation, writing the paper, critical revision of the article taking into account its significant intellectual content; *O.V. Vysotska, A.P. Porvan* — data collection, research design, data analysis; *V.S. Maslova* — data collection, research design, critical revision of the article taking into account its significant intellectual content; *O.M. Korzh* — significant contribution to the development of the work, data interpretation, critical revision of the article taking into account its significant intellectual content; *V.I. Bereznyakov* — data collection, research design, writing the paper; *O.I. Babaieva* — data collection, research design.

*A.P. Podavalenko<sup>1</sup>, M.A. Georgiyants<sup>1</sup>, O.V. Vysotska<sup>2</sup>, O.M. Korzh<sup>1</sup>, A.P. Porvan<sup>2</sup>, V.S. Maslova<sup>3</sup>, V.I. Bereznyakov<sup>1</sup>, O.I. Babaieva<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine*

<sup>3</sup>*Kharkiv Regional Clinical Infectious Disease Hospital, Kharkiv, Ukraine*

### The influence of air pollutants on COVID-19 severity in the administrative and industrial city of Kharkiv

**Abstract. Background.** Despite the official statement by the World Health Organization regarding the end of coronavirus disease (COVID-19) pandemic, the risk of an epidemic rise in morbidity remains due to the active circulation of the pathogen and its mutation. Social, natural, environmental, and other factors can contribute to the spread of COVID-19. Air pollutants are extremely dangerous for humans, and a mixture of aerosols and dust particles in the air can serve as factors for the severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 transmission. So, the purpose of the study was to reveal the impact of air pollutants on COVID-19 severity in Kharkiv. **Materials and methods.** The influence of environmental factors on the manifestations of COVID-19 epidemic was assessed for 425 days. 16,723 cases of hospitalizations, 1,883 deaths, and 15,146 confirmed cases of COVID-19 in various age groups were studied. There were on average 4,663 active cases every day. Statistical analysis on assessing the impact of environmental factors on COVID-19 morbidity with different degrees of severity was performed using the non-parametric Kruskal-Wallis test in the IBM SPSS Statistics software package, and the normality of the distribution was checked using the Kolmogorov-Smirnov test.

Microsoft Office Excel 2016 spreadsheet tools were used for some auxiliary calculations and graphing. **Results.** The influence of sulfur dioxide, nitrogen dioxide, nitrous oxide, hydrogen sulfide, phenol, soot, and formaldehyde on COVID-19 morbidity in different severity of infection course with incubation periods of 3–4, 6–7, and 10–14 days was revealed. The effect of high concentrations of nitrogen dioxide, nitrogen oxide, and formaldehyde was most significant on active, confirmed, hospitalized, and fatal cases of COVID-19. At the same time, a rise in active cases of COVID-19 was observed with increasing concentrations of sulfur dioxide and hydrogen sulfide, and high concentrations of phenol and soot had an impact on severe forms. **Conclusions.** Air pollution can contribute to the spread of COVID-19 and lead to its severe forms, which should be considered when predicting morbidity at different levels (national, regional, local) of epidemiological surveillance. Further research is needed to reveal causal relationships between the incidence of COVID-19 and air pollutants, considering the influence of social and natural factors.

**Keywords:** severity of the course; hospitalized people; fatal cases; COVID-19; air pollutants