

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

МАТЕМАТИЧНО-СТАТИСТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДРІБНОДИСПЕРСНИХ ТВЕРДИХ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

І. С. Козій¹, І. О. Рой¹, О. М. Яхненко¹, Р. В. Пономаренко², С. С. Щербак²¹Сумський державний університет, Суми, Україна²Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

УДК 504.064.2

DOI: 10.52363/2522-1892.2021.2.4

Отримано: 11 жовтня 2021

Прийнято: 25 листопада 2021

Cite as: Kozii I., Roi I., Yakhnenko O., Ponomarenko R., Shcherbak S. (2021). Mathematical and statistical study of the influence of fine solid pollutants on human health. Technogenic and ecological safety, 10(2/2021), 23–27. doi: 10.52363/2522-1892.2021.2.4

Анотація

У статті розглянуто питання дослідження впливу дрібнодисперсного пилу на здоров'я людини з використанням математично-статистичного моделювання. В якості вихідних даних взято статистичні дані щодо обсягів викидів суспендованих твердих частинок в атмосферу та зареєстрованих випадків хвороб систем кровообігу у населення України протягом 2012–2019 років. Для оцінки взаємозв'язку між декількома факторними ознаками використовували метод кореляційно-регресійного аналізу. Високий зв'язок між фактичними статистичними даними та даними модельного розрахунку, свідчить про наявність дуже сильної залежності захворюваності систем кровообігу населення від викидів дрібнодисперсного пилу. Отримані результати дослідження свідчать про підтверджений ризик здоров'ю та життю населення. Коефіцієнти детермінації дозволяють стверджувати, що викиди дрібнодисперсного пилу є однією із головних причин розвитку хвороб системи кровообігу у людини. Серед видів пилу який надходить в атмосферне повітря від антропогенних джерел викидів, найбільш небезпечним видом пилу для людини є пил, що містить тверді частинки розміром від 2,5 до 10 мкм.

Ключові слова: дрібнодисперсний пил, здоров'я людини, моделювання, регресійний аналіз, кореляція.

1. Постановка проблеми.

Забруднення атмосферного повітря в промислових регіонах становить небезпеку для навколишнього середовища і здоров'я населення. Всесвітня організація охорони здоров'я вперше з 2005 року оновила рекомендації щодо якості повітря, посиливши низку вимог [1, 2].

Особливий інтерес з точки зору санітарно-епідеміологічного благополуччя населення становлять ризики для здоров'я, пов'язані з дрібнодисперсними частинками діаметром менше 10 і 2,5 мкм (PM_{10} і $PM_{2,5}$, відповідно). Як $PM_{2,5}$, так і PM_{10} здатні проникати глибоко в легені, однак частки $PM_{2,5}$ можуть потрапляти навіть в кровотік, що в першу чергу шкодить серцево-судинної і дихальної систем, а також завдає шкоди іншим органам.

Головним джерелом забруднення повітря дрібнодисперсними частинками є спалювання палива в різних секторах економіки, включаючи транспорт, енергетику, промисловість і сільське господарство, а також в побуті [3]. У 2013 р забруднене атмосферне повітря і дрібнодисперсні частинки були класифіковані Міжнародним агентством ВООЗ з вивчення раку (МАВР) як канцерогени [4].

Всесвітня організація охорони здоров'я констатує, що забруднення повітря призводить до збільшення захворюваності та смертності в світі. За даними цієї ж організації, забруднення атмосферного повітря є пріоритетним чинником ризику для здоров'я населення, при цьому понад 80 % захворювань тією чи іншою мірою залежать від якості повітря.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

З усієї номенклатури забруднювальних речовин, одним з найбільш небезпечних є дрібнодисперсний (респірабельний) пил з розміром частинок до 10 мкм [5–7]. Такий пил представляє собою тверді частинки, які можуть тривалий час знаходитися в завислому стані в повітрі, недостатньо ефективно вловлюється існуючими апаратами очистки і поширюється в атмосфері на значні відстані [8]. Залежно від походження та складу розрізняють декілька видів пилу (рис. 1).

В повітрі населених пунктів знаходяться великі обсяги дрібнодисперсного пилу, який складається з сажі, цементної крихти та інших дрібнодисперсних частинок. Респірабельний пил чинить подразнюючу, алергенну, фіброгенну та токсичну дію на організм людини. Характер впливу залежить від фізико-хімічних властивостей часток пилу (форма, ступінь твердості, розчинність, хімічний склад). Питома поверхня пилу визначає його хімічну активність по відношенню до організму [8, 9].

Вплив пилу можуть посилювати важка фізична праця, переохолодження, деякі гази, тощо. Дрібнодисперсні частинки відносно легко проходять крізь фізіологічні фільтри людини та потрапляють у легені, де вони всмоктуються у кров. Пил відкладається на стінках судин і в сполучних тканинах навколо них. Звуження судин та погіршення циркуляції крові в організмі призводить до порушення нормальної роботи системи кровообігу [10, 11].



Рисунок 1 – Класифікація видів пилу

Дрібнодисперсні пилові викиди, які можуть бути токсичними самі по собі, під дією сонячних променів і за участю озону можуть утворювати в атмосфері нові, ще більш токсичні сполуки. При цьому атмосферна турбулентність і вітер не завжди встигають видалити з повітряного басейну підприємств зростаючі в зв'язку з інтенсифікацією виробництва пилові викиди [12]. Таким чином, зважені частинки пилу можуть знаходитися в атмосферному повітрі протягом багатьох днів і тижнів і, відповідно, піддаватися транскордонному переносу по повітрю на великі відстані.

Згідно з даними нового дослідження, забруднення повітря в Європі і в усьому світі викликало вдвічі більше випадків передчасної смерті в останні роки і більшість цих смертей пов'язана саме з дрібнодисперсним пилом.

Для того щоб проаналізувати загальні тенденції у динаміці змін обсягів викидів твердих частинок використовуємо графічний метод зображення інформації та будуємо графік динаміки показників, рис. 2 [13].

Аналіз даних на рис. 2, дозволяє зробити висновок, що обсяги викидів твердих дрібнодисперсних частинок за останні роки суттєво зменшились, за виключенням частинок $PM_{2,5}$ і менше. На перший погляд це є доволі позитивною тенденцією і може бути викликано удосконаленням та активним впровадженням очисного обладнання на промислових підприємствах, діяльність яких пов'язана із викидами забруднюючих речовин в повітря.

Проте, зменшення обсягів викидів в навколишнє середовище не гарантує зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людини [14]. Для того, щоб підтвердити чи спростувати це твердження, проведемо аналіз даних щодо захворюваності однієї з найбільш вразливих до впливу пилових викидів систем – органів кровообігу.

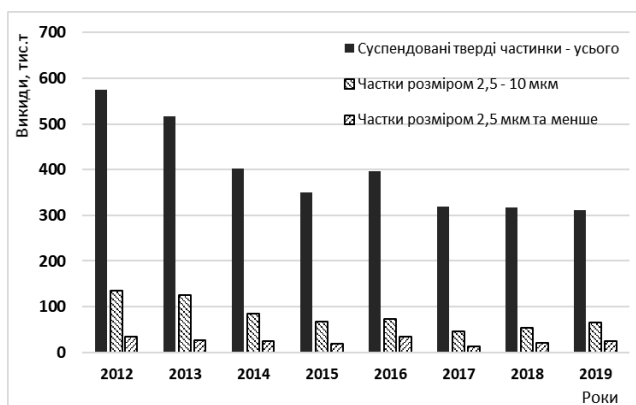


Рисунок 2 – Динаміка зміни обсягів викидів дрібнодисперсних частинок в Україні

3. Постановка завдання та його вирішення.

З метою встановлення ступеня впливу дрібнодисперсного пилу на людину застосовано математично-статистичне моделювання впливу респірабельного пилу на систему кровообігу людини. В якості вихідних даних взято статистичні дані щодо обсягів викидів суспендованих твердих частинок в атмосферу та зареєстрованих випадків хвороб систем кровообігу у населення України протягом 2012–2019 років [15, 16].

Для оцінки взаємозв'язку одночасно між декількома факторними ознаками використовується метод кореляційно-регресійного аналізу. Цей метод передбачає, що зв'язок між результативною та факторною ознаками описується певним рівнянням, яке має назву рівняння регресії. Цей метод передбачає, що зв'язок між результативною та факторною ознаками описується певним рівнянням, яке має назву рівняння регресії. Це може бути рівняння прямої, параболи, гіперболи тощо. Для вибору конкретного рівняння використовують теоретичний аналіз або графічний метод.

За наявності прямолінійного зв'язку між показниками використовують лінійне рівняння регресії, яке має вигляд:

$$Y_x = a_0 + a_1 X \quad (0)$$

де a_0 , a_1 – параметри рівняння регресії; Y_x – розрахункові (теоретичні) значення результативної ознаки; X – значення факторної ознаки.

Параметр a_1 є коефіцієнтом регресії, який показує, на скільки одиниць змінюється (Y) при збільшенні (X) на одиницю. Знак при a_1 характеризує напрямок зв'язку («+» – прямий, «-» – обернений).

В багатьох випадках на результативну ознаку (Y) впливає не один, а кілька факторів (X). Між ними існують складні взаємозв'язки, тому їх вплив на результативну ознаку є комплексним, його не можна розглядати як просту суму ізольованих впливів. В цьому випадку результативна ознака (Y) пов'язується за допомогою рівняння множинної регресії з двома або більше факторними ознаками ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_m$):

$$Y_x = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_m X_m \quad (2)$$

Для дослідження і вивчення впливу викидів дрібнодисперсного пилу на здоров'я населення та встановлення взаємозв'язку між обсягами викидів та кількістю захворювань систем кровообігу в нашій країні [5], проведено кореляційно-регресійний аналіз взаємозв'язку між факторами (X, N) і результатом (Y).

Кореляційно-регресійний аналіз проводили з використанням вбудованих функцій програмного продукту MS Excel, і використали наступні позначення:

N – загальна чисельність населення в країні, осіб;

X – обсяги викидів дрібнодисперсного пилу в атмосферне повітря, тис. т;

Y – кількість випадків захворювань, осіб.

З метою виключення впливу випадкових факторів (економічні, соціальні та ін.) замість абсолютних обсягів викидів суспендованих твердих частинок в атмосферу, прийнято узагальнений показник – викиди твердих частинок у розрахунку на одну особу (табл. 1).

Таблиця 1 – Математично-статистичне вивчення впливу пилу на систему кровообігу людини

Рік	Обсяги викидів суспендованих твердих частинок, кг/особу			Чисельність населення, тис. осіб	Зареєстровано випадків хвороб систем кровообігу, тис. випадків			
	усього	2,5...10 мкм	< 2,5 мкм		факт	модель		
	X_1	X_2	X_3	N	Y	$Y_m(X_1)$	$Y_m(X_2)$	$Y_m(X_3)$
2012	12,279	2,910	0,889	45633,6	2390	2302	2295	2333
2013	13,293	3,118	0,927	45553	2346	2404	2374	2326
2014	12,594	2,966	0,757	45426,2	2318	2328	2320	2242
2015	11,377	2,767	0,597	42929,3	2256	2199	2249	2169
2016	9,360	1,971	0,559	42760,5	1880	1985	1960	2139
2017	8,176	1,588	0,461	42584,5	1844	1803	1855	1804
2018	9,294	1,717	0,801	42386,4	1826	1916	1904	1918
2019	7,538	1,104	0,319	42153,2	1781	1728	1683	1707

За даними таблиці 1 проведено кореляційно-регресійний аналіз взаємозв'язку між факторами впливу (X_i – обсяги викидів твердих часток на одну особу, з урахуванням розміру твердих часток) та результатом їх впливу (Y – випадки зареєстрованих хвороб систем кровообігу на території розповсюдження суспендованих твердих частинок). З метою урахування максимально можливого числа людей, які безпосередньо піддаються небезпеці, що в певній мірі визначає обсяг і масштаби прояву хвороб систем кровообігу, за додатковий фактор прийнято загальну чисельність населення в країні (N) [16].

Одержані регресійні залежності пройшли перевірку адекватності (рис. 3–5), шляхом порівнянням кількості випадків хвороб систем кровообігу, розрахованих відповідно до отриманих моделей (Y_m), з фактично зареєстрованими даними по країні (Y).

При проведенні розрахунку визначається коефіцієнт детермінації, який вказує на скільки відсотків варіація результативного показника (Y) обумовлюється варіацією факторного показника (X). Цей показник набуває значень від -1 до $+1$. За його від'ємного значення наявний обернений зв'язок, а за додатного – прямий.

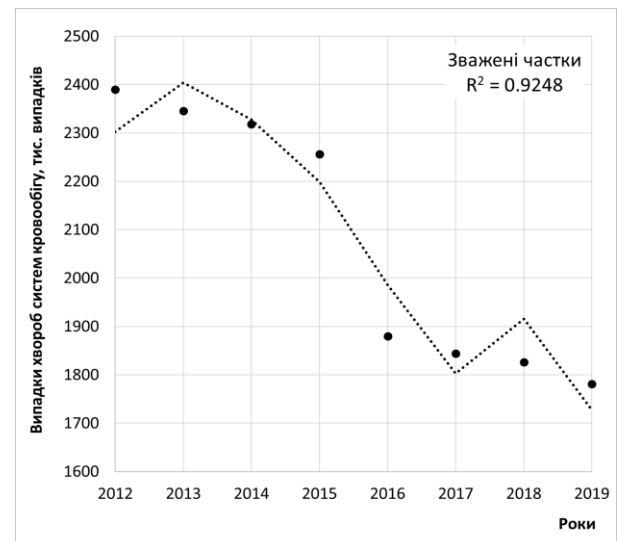


Рисунок 3 – Інтенсивність прояву хвороб систем кровообігу залежно від розміру дрібнодисперсного пилу (точки – фактичні дані, лінія – регресійна модель $Y = -47,4665 + 0,02318 \cdot N + 104,6041 \cdot X_1$)

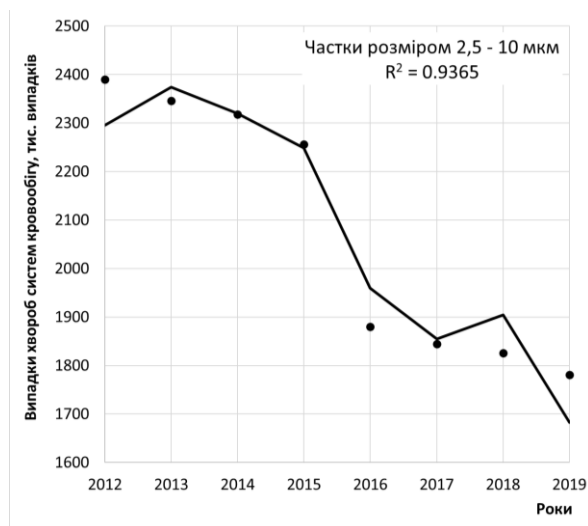


Рисунок 4 – Інтенсивність прояву хвороб систем кровообігу залежно від розміру дрібнодисперсного пилу (точки – фактичні дані, лінія – регресійна модель $Y = 1864,977 - 0,01372 \cdot N + 364,5516 \cdot X_2$)

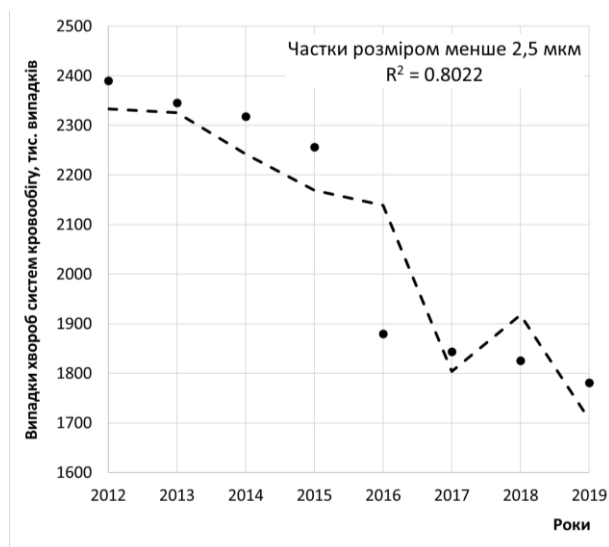


Рисунок 5 – Інтенсивність прояву хвороб систем кровообігу залежно від розміру дрібнодисперсного пилу (точки – фактичні дані, лінія – регресійна модель $Y = -3477,74 + 0,1188 \cdot N + 394,5634 \cdot X_3$)

Прийнято вважати, що за умови $0 < r < |0,3|$ зв'язок практично відсутній; $|0,3| < r < |0,5|$ – слабкий; $|0,5| < r < |0,7|$ – середній; $|0,7| < r < |0,9|$ – сильний; $r > |0,9|$ – дуже сильний зв'язок.

Невисока розбіжність між фактичними статистичними даними та даними модельного розрахунку, свідчить про наявність дуже сильної залежності захворюваності систем кровообігу населення від викидів дрібнодисперсного пилу. На ці результати варто звернути увагу, оскільки проблема викидів пилу в атмосферу є актуальною, а наведені результати дослідження свідчать про підтверджений ризик здоров'ю та життю населення.

Порівняльний аналіз відповідних коефіцієнтів детермінації, дозволив встановити високу небезпеку впливу твердих часток розміром від 2,5 до 10 мкм на систему кровообігу. Так коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,9365$), свідчить про те, що динаміка захворюваності систем кровообігу населення країни на 94 % обумовлена варіацією обсягів викидів твердих частинок розміром від 2,5 до 10 мкм у розрахунку на одну особу. В свою чергу результати проведеного моделювання впливу твердих часток розміром до 2,5 мкм на захворюваність населення вказують на те, що вплив таких домішок є порівняно нижчим.

Коефіцієнт детермінації на рівні 0,8022 свідчить про наявність слабого зв'язку між викидами твердих часток розміром 2,5 мкм та захворюваністю на хвороби системи кровообігу. Порівняльний аналіз одержаних результатів дозволив встановити, що захворюваність людини на хвороби системи кровообігу в більшій мірі викликана викидами твердих часток розміром від 2,5 до 10 мкм.

4. Висновки.

Математично доведено негативний вплив дрібнодисперсного пилу в атмосферному повітрі на стан здоров'я людини. Отримані коефіцієнти детермінації дозволяють стверджувати, що викиди дрібнодисперсного пилу є однією із головних причин розвитку хвороб системи кровообігу у людини. Серед видів пилу який надходить в атмосферне повітря від антропогенних джерел викидів, найбільш небезпечним видом пилу для людини є пил, що містить тверді частинки розміром від 2,5 до 10 мкм.

ЛІТЕРАТУРА

1. New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution. Geneva: WHO. URL: <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>.
2. WHO Air Quality Guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. (2005). Global update 2005. Summary of risk assessment. Geneva: WHO. URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=464F804B47551ECF18AC385034A07DB3?sequence=1.
3. Directive 2008/50 / EC of the European Parliament and of Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=en>.
4. Effects on health of suspended particles. Implications for policy development in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia. WHO Regional Office for Europe Newsletter. Copenhagen, 2013. URL: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf?ua=1.
5. Lee K. Chemical characteristics of aerosols in coastal and urban ambient atmospheres / K. Lee, J. Park, M. Kang, D. Kim, T. Batmunkh, M. S. Bae, K. Park // Aerosol and Air Quality Research. – 2017. – Vol. 17. – Pp. 908–919.
6. Чекман И. С. Аэрозоли – дисперсные системы: Монография / И. С. Чекман, А. О. Сырвая, С. В. Андреева, В. А. Макаров. – Х: «Цифрова друкарня №1». – 2013. – 100 с.
7. Verma S. A new classification of aerosol sources and types as measured over Jaipur, India / S. Verma, D. Prakash, P. Ricaud, S. Payra, J. L. Attié, M. Soni // Aerosol and Air Quality Research. – 2015. – Vol. 15. – Pp. 985–993.
8. Cheng M.-D. Classification of Volatile Engine Particles / M.-D. Cheng // Aerosol and Air Quality Research. – 2013. – Vol. 13. – Pp. 1411–1422.

9. Rodriguez S. Influence of sea breeze circulation and road traffic emissions on the relationship between particle number, black carbon, PM₁, PM_{2.5} and PM_{2.5-10} concentrations in a coastal city // S. Rodriguez, E. Cuevas, Y. Gonzalez, R. Ramos, P. M. Romero, N. Perez, X. Querol, A. Alastuey // *Atmospheric Environment*. – 2008. – Vol. 42. – Pp. 6523–6534.
10. Belis C. A. Urban pollution in the Danube and Western Balkans regions: the impact of major PM_{2.5} sources / C. A. Belis, E. Pisoni, B. Degraeuwe, E. Peduzzi, P. Thunis, F. Monforti-Ferrario, D. Guizzardi // *Environment International*. – 2019. – Vol. 133. – Pp. 105–158.
11. Diapouli E. Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM₁₀ and PM_{2.5} source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece / E. Diapouli, M. Manousakas, S. Vratolis, V. Vasilatou, Th. Maggos, D. Saraga, Th. Grigoratos, G. Argyropoulos, D. Voutsas, C. Samara, K. Eleftheriadis // *Atmospheric Environment*. – 2017. – Vol. 164. – Pp. 416–430.
12. Lang J. L. Investigating the contribution of shipping emissions to atmospheric PM_{2.5} using a combined source apportionment approach / J. L. Lang, Y. Zhou, D. S. Chen, X. F. Xing, L. Wei, X. T. Wang, N. Zhao, Y. Y. Zhang, X. R. Guo, L. H. Han // *Environmental Pollution*. – 2017. – Vol. 229. – Pp. 557–566.
13. Державна служба статистики України. Викиди забруднюючих речовин і парникових газів у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення. Статистичні дані за 2012-2019 роки. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm.
14. Центр громадського здоров'я Міністерства охорони здоров'я України. Серцево-судинні захворювання — головна причина смерті українців. Висновки з дослідження Глобального тягаря хвороб у 2019 році. URL: <https://phc.org.ua/news/sercevo-sudinni-zakhvoryuvannya-golovna-prichina-smerti-ukrainciv-visnovki-z-doslidzhennya>.
15. Державна служба статистики України. Заклади охорони здоров'я та захворюваність населення України. Статистичні дані за 2012-2019 роки. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publzdorov_u.htm.
16. Інститут демографії та соціальних досліджень ім. М.В. Птухи Національної Академії Наук України. База даних чисельності населення. URL: <https://cutt.ly/xb3TPUF>.

Kozii I., Roi I., Yakhnenko O., Ponomarenko R., Shcherbak S.

MATHEMATICAL AND STATISTICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF FINE SOLID POLLUTANTS ON HUMAN HEALTH

The article discusses the issues of studying the effect of fine dust on human health using mathematical and statistical modeling. The initial data were statistical data on the volume of emissions of suspended particulate matter into the atmosphere and registered cases of diseases of the circulatory system among the population of Ukraine in 2012–2019. To assess the relationship between several factor signs was used method of correlation-regression analysis. The high connection between the actual statistical data and the data of the model calculation indicates the presence a very strong dependence the incidence of the circulatory system of the population on the emissions of fine dust. The obtained results of the study testify to the confirmation of the risk to the health and life of the population. The coefficients of determination make it possible to assert that the emissions of fine dust are one of the main reasons for the development of diseases of the circulatory system in humans. Among the types of dust that enters the atmospheric air from anthropogenic sources of emissions, the most dangerous type of dust for humans is dust containing solid particles ranging in size from 2.5 to 10 microns.

Key words: fine dust, human health, modeling, regression analysis, correlation.

REFERENCES

1. New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution. Geneva: WHO. URL: <https://www.who.int/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>.
2. WHO Air Quality Guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. (2005). Global update 2005. Summary of risk assessment. Geneva: WHO. URL: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf;jsessionid=464F804B47551ECF18AC385034A07DB3?sequence=1.
3. Directive 2008/50 / EC of the European Parliament and of Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&from=en>.
4. Effects on health of suspended particles. Implications for policy development in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia. WHO Regional Office for Europe Newsletter. Copenhagen. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf?ua=1.
5. Lee K., Park J., Kang M., Kim D., Batmunkh T., Bae M. S., Park K. (2017). Chemical characteristics of aerosols in coastal and urban ambient atmospheres. *Aerosol and Air Quality Research*, 17, 908–919.
6. Chekman I. S., Syrovaja A. O., Andreeva S. V., Makarov V. A. (2013). Ajerozoli – dispersnye sistemy: Monografija [Aerosols – dispersed systems: Monograph]. Kharkiv: “Cifrova drukarnja No.1”, 100 p. [in Russian].
7. Verma S., Prakash D., Ricaud P., Payra S., Attié J. L., Soni M. (2015). A new classification of aerosol sources and types as measured over Jaipur, India. *Aerosol and Air Quality Research*, 15, 985–993.
8. Cheng M.-D. (2013). Classification of Volatile Engine Particles. *Aerosol and Air Quality Research*, 13, 1411–1422.
9. Rodriguez S., Cuevas E., Gonzalez Y., Ramos R., Romero P., Perez N., Querol X., Alastuey A. (2008). Influence of sea breeze circulation and road traffic emissions on the relationship between particle number, black carbon, PM₁, PM_{2.5} and PM_{2.5-10} concentrations in a coastal city. *Atmospheric Environment*, 42, 6523–6534.
10. Belis C. A., Pisoni E., Degraeuwe B., Peduzzi E., Thunis P., Monforti-Ferrario F., Guizzardi D. (2019). Urban pollution in the Danube and Western Balkans regions: the impact of major PM_{2.5} sources. *Environment International*, 133, 105–158.
11. Diapouli E., Manousakas M., Vratolis S., Vasilatou V., Maggos Th., Saraga D., Grigoratos Th., Argyropoulos G., Voutsas D., Samara C., Eleftheriadis K. (2017). Evolution of air pollution source contributions over one decade, derived by PM₁₀ and PM_{2.5} source apportionment in two metropolitan urban areas in Greece. *Environment International*, 164, 416–430.
12. Lang J. L., Zhou Y., Chen D. S., Xing X. F., Wei L., Wang X. T., Zhao N., Zhang Y. Y., Guo X. R., Han L. H. (2017). Investigating the contribution of shipping emissions to atmospheric PM_{2.5} using a combined source apportionment approach. *Environmental Pollution*, 229, 557–566.
13. State Statistics Service of Ukraine. (2021). Vykydy zabrudnjuchykh rečovyn i parnykovykh gaziv u atmosferne povitrja vid stacionarnykh dzherel zabrudnennja. Statystychni dani za 2012-2019 roky. [Emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere from stationary sources of pollution. Statistical data for 2012-2019.]. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/ns/vzap/arch_vzrap_u.htm. [in Ukrainian].
14. Public Health Center of the Ministry of Health of Ukraine. (2021). Sercevo-sudynni zahvorjuvannja — glavna prychna smerti ukrainciv. Vysnovky z doslidzhennja Global'nogo tjararja hvorob u 2019 roci. [Cardiovascular diseases are the main cause of death of Ukrainians. Conclusions from the study of the Global Burden of Disease in 2019.]. URL: <https://phc.org.ua/news/sercevo-sudinni-zakhvoryuvannya-golovna-prichina-smerti-ukrainciv-visnovki-z-doslidzhennya>. [in Ukrainian].
15. State Statistics Service of Ukraine. (2021). Zaklady ohorony zdorov'ja ta zahvorjuvanist' naselennja Ukrai'ny. Statystychni dani za 2012–2019 roky. [Health care facilities and morbidity of the population of Ukraine. Statistical data for 2012–2019.]. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publzdorov_u.htm. [in Ukrainian].
16. Institute of Demography and Social Research named after M.V. Ptuha, National Academy of Sciences of Ukraine. (2021). Baza danyh chysel'nosti naselennja. [Population database]. URL: <https://cutt.ly/xb3TPUF>. [in Ukrainian].