

Методологічні підходи прогнозування стану здоров'я населення на основі оцінки ризиків, спричинених забрудненням довкілля

УДК 613:614.7

Я. В. Першегуба

Національний університет охорони здоров'я України ім. П. Л. Шупика, Київ, Україна

Резюме. Розглянуто методологічні підходи прогнозування стану здоров'я населення на основі оцінювання ризиків від забруднення довкілля. *Мета.* Розробити методологічні підходи до прогнозування стану здоров'я населення на основі оцінювання ризиків від забруднення довкілля на прикладі забруднення повітря. *Методи.* Аналіз науково-методичної літератури, узагальнення, синтез, абстрагування, формалізація. *Результати.* Було виконано системний аналіз наукової, науково-методичної літератури та інших джерел інформації, що стосуються методологічних підходів прогнозування стану здоров'я населення на основі оцінювання ризиків для здоров'я населення від забруднення довкілля. За отриманими результатами було зроблено висновки, що оцінювання впливу забруднення повітря на населення за допомогою ризиків потрібне для ефективної політики контролю якості повітря та впровадження ефективних втручань. Управління забрудненням повітря означає зменшення до прийнятних рівнів або можливе усунення забруднювачів повітря, присутність яких у повітрі впливає на рівень здоров'я людини. Розробники політики у сфері охорони здоров'я повинні використовувати оцінювання ризиків для здоров'я населення від забруднення довкілля для сприяння здоров'ю населення, зменшенню впливу та більш точному запобіганню виникнення захворювань ефективними та економічно вигідними способами.

Ключові слова: методологія оцінювання ризику, стан здоров'я, забруднення довкілля, громадське здоров'я.

Methodological approaches to forecasting the state of public health based on risk assessment of environmental pollution

Ya. V. Pershehuba

Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Abstract. The article deals with methodological approaches to forecasting the state of public health based on risk assessment of environmental pollution. *Objective.* To develop methodological approaches to forecasting the state of public health based on risk assessment from environmental pollution on the example of air pollution. *Methods.* Analysis of scientific and methodological literature, generalization, synthesis, abstraction, and formalization. *Results.* A systemic analysis of scientific and methodological literature and other sources of information related to methodological approaches to forecasting the state of public health based on assessing risks to public health from environmental pollution was performed. Based on the results obtained, it was concluded that risk-based assessment of the impact of air pollution on the population is necessary for effective air quality control policies and the implementation of effective interventions. Air pollution management means reducing to acceptable levels or possibly eliminating air pollutants whose presence in the air affects human health. Health policymakers should use public health risk assessments of environmental pollution to promote public health, reduce exposure, and more accurately prevent diseases in effective and cost-efficient ways.

Keywords: risk assessment methodology, health status, environmental pollution, public health.

Постановка проблеми. Діяльність людини негативно впливає на навколишнє середовище. Вона проявляється в забрудненні води, повітря та ґрунту. Промислова революція, яка виникла наприкінці XVIII ст., мала великий успіх з точки зору технологій, суспільства та надання різноманітних послуг, з іншого боку вона також започаткувала виробництво величезної кількості забруднюючих речовин, що викидаються в повітря і які є шкідливими для здоров'я людини. Індустріалізація змінила економіку, транспорт, охорону здоров'я та медицину. На сьогодні глобальне забруднення навколишнього середовища вважається міжнародною проблемою громадського здоров'я з багатьма аспектами. Такий стан взаємодії між людьми та їхнім фізичним оточенням широко вивчається, оскільки численні людські дії впливають на навколишнє середовище, яке є поєднанням біотичного (живі організми і мікроорганізми) і абіотичного (гідросфера, літосфера, атмосфера). Забруднення визначається як введення в навколишнє середовище речовин, які є шкідливими для людини та інших живих організмів. Забруднювачі — це шкідливі тверді речовини, рідини або гази, що утворюються у вищих за звичайні концентраціях і які погіршують якість довкілля [17, 23].

Забруднення повітря є серйозною проблемою охорони здоров'я. Значна кількість епідеміологічних досліджень виявила кореляцію між якістю повітря та широким спектром несприятливих впливів на здоров'я, підкреслюючи значну роль забруднення повітря в тягарі хвороб серед населення в цілому, починаючи від субклінічних ефектів і закінчуючи передчасною смертю. Оцінка ризику для здоров'я щодо якості повітря може відігравати ключову роль на індивідуальному та глобальному рівнях зміцнення здоров'я та профілактики захворювань [13]. Підраховано, що в світі 8,9 млн смертей трапляються через вплив забрудненого повітря, що становить 7,6 % загальної щорічної смертності та призводить до втрати 103,1 млн років здорового життя [1, 3, 18].

Передбачається, що до 2050 р. передчасна смертність, пов'язана із забрудненням повітря, може подвоїтися, а забруднення повітря вважається найсерйознішою загрозою здоров'ю навколишнього середовища, з якою стикається світ [21]. Збільшення смертності, захворюваності, передчасної смерті, серцево-судинних і респіраторних захворювань є одними з несприятливих наслідків через вплив забруднення повітря, раку легенів, несприятливого впливу на діяльність центральної нервової системи, що призводить до

когнітивних порушень, а також шкідливого впливу на розвиток плоду та вагітності [6, 7, 14].

Забруднення повітря, в основному твердими часточками (PM), може мати канцерогенний вплив на людину [8]. Незважаючи на те що озон у стратосфері відіграє захисну роль від ультрафіолетового випромінювання, у високій концентрації на рівні землі він є шкідливим і негативно впливає на дихальну та серцево-судинну системи. Крім того, оксид азоту, діоксид сірки, леткі органічні сполуки, діоксини та поліциклічні ароматичні вуглеводні вважаються забруднювачами повітря, які є шкідливими для людини [19].

Мета дослідження — розробити методологічні підходи до прогнозування стану здоров'я населення на основі оцінювання ризиків для здоров'я населення від забруднення довкілля на прикладі забруднення повітря.

Методи дослідження: аналіз науково-методичної літератури, узагальнення, синтез, абстрагування, формалізація.

Результати дослідження та їх обговорення.

Було враховано, що викиди в атмосферу спричиняють різні негативні впливи на клімат і якість повітря. Крім того, забруднення складається не з однієї хімічної речовини, а з суміші багатьох забруднюючих речовин, що походять від широкого спектра людської діяльності та природних джерел, які можна контролювати різною мірою [18].

Розробка політики щодо якості повітря, яка покращує здоров'я населення, може отримати вигоду з інформації про ризики та вплив забруднення повітря на здоров'я, що включають респіраторні, серцево-судинні захворювання та передчасну смерть. Ключові характеристики включають просторову роздільну здатність, забруднювачі та результати оцінювання впливу на здоров'я, метод визначення впливу на населення, а також формат інструменту, доступність, складність і ступінь експертної оцінки та застосування в контексті політики. Незважаючи на те що багато інструментів використовують загальні джерела даних для асоціацій між концентрацією та реакцією, популяцією та базовими показниками смертності, вони відрізняються джерелом інформації про вплив, форматом і ступенем технічної складності [2]. Дослідження вказують на те, що зв'язок експозиція—реакція на серцево-судинні захворювання є нелінійним, із різким збільшенням ризику при низькій експозиції та згладжуванням при більшій експозиції. Для оцінювання тягаря захворювання та відповідної оцінки політики громадського здоров'я потрібні порівняльні оцінки взаємозв'язку експозиція—реакція на рак легенів [21]. Забруднення повітря є серйозною

проблемою для громадського здоров'я через його значне поширення та потенційний вплив на здоров'я. Через те що люди піддаються одночасному впливу багатьох забруднювачів повітря, які сильно корелюють один з одним, необхідно враховувати явище впливу багатьох забруднювачів [6].

Забруднення повітря має різні наслідки для здоров'я. Здоров'я вразливих і чутливих людей може постраждати навіть у дні низького забруднення повітря. Короточасний вплив забруднювачів повітря тісно пов'язаний із ХОЗЛ (хронічною обструктивною хворобою легень), кашлем, задишкою, хрипами, астмою, респіраторними захворюваннями та високим рівнем госпіталізації. Забруднення повітря в основному впливає на тих, хто живе у великих містах, де викиди з доріг найбільше погіршують якість повітря. Існує також небезпека промислових аварій, коли поширення токсичного туману може бути смертельним для населення прилеглих районів. Розсіювання забруднюючих речовин визначається багатьма параметрами, особливо стабільністю атмосфери та вітром [15]. Оцінка політики та методів контролю часто екстраполюється з локального на регіональний, а потім на глобальний масштаб. Забруднене повітря може розсіюватися і переноситися з одного регіону в інший, який розташований далеко. Наслідки для здоров'я, які пов'язані з впливом високих рівнів забруднювачів повітря, були детально описані, і багато останніх епідеміологічних досліджень також постійно повідомляли про позитивний зв'язок між впливом забруднювачів повітря в низьких концентраціях (зокрема $PM_{2.5}$) і несприятливими наслідками для здоров'я [8].

За оцінками [9], вплив побутового забруднення повітря є однією з найважливіших причин поганого здоров'я в бідних країнах. На основі оцінювання використання твердого палива було виявлено, що забруднення повітря в домогосподарствах є другим за значущістю фактором ризику для жінок і дівчат у всьому світі та четвертим загалом серед обстежених.

Розробники екологічної політики впроваджують різні стратегії для зменшення впливу забруднення атмосферного повітря, включаючи систему 10-денної заборони на водіння автомобільного транспорту з двигуном внутрішнього згорання. На сьогодні вплив забруднювачів повітря на населення оцінюють з використанням даних моніторингу повітря зі стаціонарних станцій моніторингу атмосфери, моделювання атмосферної дисперсії або методів просторової інтерполяції концентрацій забруднюючих речовин. Це по-

єднується з даними перепису населення, адміністративними реєстрами та даними про моделі діяльності, заснованої на часі, в індивідуальному масштабі. Сучасні технології, такі як датчики, Інтернет речей (Internet of Things), комунікаційні технології та штучний інтелект, дозволяють точно оцінювати вплив забруднення повітря на населення в контексті здоров'я навколишнього середовища. У багатьох дослідженнях впливу забруднення повітря на здоров'я використовують дані моніторингу зі стаціонарних станцій моніторингу повітря [5]. Оцінка експозиції для всієї популяції залежить від конкретних цілей дослідження. Однак важливо об'єднати рівні забруднення повітря в приміщенні і на відкритому повітрі та індивідуальні моделі часу й активності для створення надійних оцінок впливу [4].

Дослідження, які використовували нові методології для оцінювання впливу на міське населення на основі альтернативних технологій і підходів мобільного моніторингу [11, 25, 26], потребують удосконалення оцінювання впливу забруднення повітря на населення щодо наявності інформації про просторовий розподіл населення в реальному часі [12]. Стаціонарні станції моніторингу повітря обмежені у своїй здатності давати дані про рівні забруднювачів повітря та ступінь впливу на людину або населення, оскільки надають дані лише для кількох місць і доріг в експлуатації [10]. Таким чином, вони не можуть забезпечити оцінювання впливу на людину, навіть якщо забезпечують точні концентрації забруднювачів повітря [24]. Моніторинг якості повітря є першим кроком для розуміння впливу на населення та життя заходів. Вирішуючи, як найкраще розвинути чи покращити потенціал моніторингу забруднення повітря, потрібно передовсім оцінити обмеження: вартість (капітальна та операційна) та людей (навчені фахівці) / наявність технічних ресурсів.

Здоров'я людини визначається складною взаємодією ряду факторів: спадковість, соціально-економічне та психологічне благополуччя, доступність і якість медичного обслуговування, спосіб життя і наявність шкідливих звичок, умови життєдіяльності та якість навколишнього природного середовища. Визначення точного внеску окремих факторів у розвиток захворювання нерідко є досить важким завданням, яке ускладнюється значною кількістю обумовлених ними ефектів, багато з яких, до того ж, можуть зустрічатися серед населення і без впливу цих факторів. Шляхом проведення належним чином спланованих епідеміологічних та еколого-гігієнічних досліджень можна виявити і кількісно оці-

нити ризик розвитку захворювань, пов'язаних зі шкідливою дією факторів навколишнього природного середовища для відносно великих груп населення [16, 20, 22].

Найбільш ефективним підходом до встановлення зв'язку між станом навколишнього природного середовища та здоров'ям населення України в певному регіоні чи місті є методологія оцінювання ризику, яка регламентується Методичними рекомендаціями «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря», які затверджені Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 1811 від 18 жовтня 2023 року.

Методологія оцінювання ризику — це вибір оптимальних у даній конкретній ситуації шляхів усунення або зменшення ризику, вона складається з трьох взаємопов'язаних елементів: оцінювання ризику, управління ризиком та інформування про ризик. Саме їх сукупність дозволяє не лише виявити існуючі проблеми, розробити шляхи їх вирішення, а й створити умови для практичної реалізації цих рішень. Визначення ризику від забруднення атмосферного повітря дозволяє прогнозувати ймовірність і медико-соціальну значущість можливих порушень здоров'я за різних сценаріїв його впливу, а ще й встановлювати першочерговість і пріоритетність заходів з управління факторами ризику на індивідуальному та популяційному рівнях. Моніторинг якості атмосферного повітря є найбільш важливим інструментом для аналітичного визначення вмісту хімічних чинників. За сучасних умов джерелом даних можуть бути результати спеціально спрямованих спостережень і матеріали щодо стану забруднення атмосферного повітря, отримані Державною службою України з надзвичайних ситуацій та її територіальними органами [20].

Виявлення небезпек за допомогою процесу оцінювання ризиків є ключовим елементом для забезпечення здоров'я та безпеки людей. Стає очевидним, що для більш ефективного захис-

ту громадського здоров'я майбутнє оцінювання ризиків потребуватиме використання повного спектра доступних даних, інноваційних методів для інтеграції різноманітних потоків даних і врахування кінцевих точок здоров'я, які також відображають діапазон ледь помітних ефектів і захворювань, що спостерігаються в людських популяціях. Враховуючи ці фактори, існує потреба змінити структуру оцінювання хімічного ризику, щоб вона була чітко узгоджена з метою громадського здоров'я щодо мінімізації впливу шкідливих чинників навколишнього середовища на здоров'я населення.

Сьогодні одним із найбільш ефективних сучасних підходів до встановлення зв'язку між станом навколишнього природного середовища та здоров'ям населення в певному регіоні чи місті, що дозволяє вирішувати подібні завдання в умовах обмежених термінів і фінансових можливостей, є методологія оцінювання ризику.

Висновки:

1. Оцінювання впливу забруднення повітря на населення за допомогою ризиків потрібне для ефективної політики контролю якості повітря та впровадження ефективних втручань.

2. Управління забрудненням повітря означає зменшення до прийнятних рівнів або можливе усунення забруднювачів повітря, присутність яких впливає на рівень здоров'я людини.

3. Розробники політики у сфері охорони здоров'я повинні використовувати оцінювання ризиків для здоров'я населення від забруднення довкілля для сприяння здоров'ю населення, зменшення впливу та більш точного запобігання виникненню захворювань ефективними та економічно вигідними способами.

Перспективи подальших досліджень передбачають розробку методології оцінювання впливу забрудненого повітря на рівень здоров'я населення в певному регіоні чи місті за допомогою комунікаційних технологій та штучного інтелекту.

Література

1. Adar SD, Filigrana PA, Clements N, Peel JL. Ambient Coarse Particulate Matter and Human Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Curr Environ Health Rep.* 2014 Aug 8;1(3):258-274. doi: 10.1007/s40572-014-0022-z. PMID: 25152864; PMCID: PMC4129238.
2. Anenberg SC, Belova A, Brandt J, Fann N, Greco S, Guttikunda S, Heroux ME, Hurley F, Krzyzanowski M, Medina S, Miller B, Pandey K, Roos J, Van Dingenen R. Survey of Ambient Air Pollution Health Risk Assessment Tools. *Risk Anal.* 2016 Sep;36(9):1718-36. doi: 10.1111/risa.12540. Epub 2016 Jan 6. PMID: 26742852.
3. Anenberg SC, Talgo K, Arunachalam S, Dolwick P, Jang C, and West JJ: Impacts of global, regional, and sectoral black carbon emission reductions on surface air quality and human mortality. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 7253–7267, <https://doi.org/10.5194/acp-11-7253-2011>, 2011

4. Baxter LK, Dionisio KL, Burke J, Ebel Sarnat S, Sarnat JA, Hodas N, Rich DQ, Turpin BJ, Jones RR, Mannshardt E, Kumar N, Beevers SD, Özkaynak H. Exposure prediction approaches used in air pollution epidemiology studies: key findings and future recommendations. *Journal Expo Sci Environ Epidemiol.* 2013 Nov-Dec;23(6):654-9. doi: 10.1038/jes.2013.62. Epub 2013 Oct 2. PMID: 24084756; PMCID: PMC4088339.
5. Breen M, Xu Y, Schneider A, Williams R, Devlin R. Modeling individual exposures to ambient PM2.5 in the diabetes and the environment panel study (DEPS). *Sci Total Environ.* 2018 Jun 1;626:807-816. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.139. Epub 2018 Feb 19. PMID: 29396342; PMCID: PMC6147059.
6. Billionnet C, Sherrill D, Annesi-Maesano I; GERIE study. Estimating the health effects of exposure to multi-pollutant mixture. *Ann Epidemiol.* 2012 Feb;22(2):126-41. doi: 10.1016/j.annepidem.2011.11.004. PMID: 22226033.

7. Boldo E, Linares C, Aragonés N, Lumbreras J, Borge R, de la Paz D, Pérez-Gómez B, Fernández-Navarro P, García-Pérez J, Pollán M, Ramis R, Moreno T, Karanasiou A, López-Abente G. Air quality modeling and mortality impact of fine particles reduction policies in Spain. *Environ Res.* 2014 Jan;128:15-26. doi: 10.1016/j.envres.2013.10.009. Epub 2013 Dec 22. PMID: 24407475.
8. Boldo E, Linares C, Lumbreras J, Borge R, Narros A, García-Pérez J, Fernández-Navarro P, Pérez-Gómez B, Aragonés N, Ramis R, Pollán M, Moreno T, Karanasiou A, López-Abente G. Health impact assessment of a reduction in ambient PM(2.5) levels in Spain. *Environ Int.* 2011 Feb;37(2):342-8. doi: 10.1016/j.envint.2010.10.004. Epub 2010 Nov 5. PMID: 21056471.
9. Bonjour S, Adair-Rohani H, Wolf J, Bruce NG, Mehta S, Prüss-Ustün A, Lahiff M, Rehfuess EA, Mishra V, Smith KR. Solid fuel use for household cooking: country and regional estimates for 1980-2010. *Environ Health Perspect.* 2013 Jul;121(7):784-90. doi: 10.1289/ehp.1205987. Epub 2013 May 3. PMID: 23674502; PMCID: PMC3701999.
10. Caplin A, Ghandehari M, Lim C, Glimcher P, Thurston G. Advancing environmental exposure assessment science to benefit society. *Nat Commun.* 2019 Mar 15;10(1):1236. doi: 10.1038/s41467-019-09155-4. PMID: 30874557; PMCID: PMC6420629.
11. Castell N, Dauge FR, Schneider P, Vogt M, Lerner U, Fishbain B, Broday D, Bartonova A. Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? *Environ Int.* 2017 Feb;99:293-302. doi: 10.1016/j.envint.2016.12.007. Epub 2016 Dec 28. PMID: 28038970.
12. Glasgow ML, Rudra CB, Yoo EH, Demirbas M, Merriman J, Nayak P, Crabtree-Ide C, Szpiro AA, Rudra A, Wactawski-Wende J, Mu L. Using smartphones to collect time-activity data for long-term personal-level air pollution exposure assessment. *Journal Expo Sci Environ Epidemiol.* 2016 Jun;26(4):356-64. doi: 10.1038/jes.2014.78. Epub 2014 Nov 26. PMID: 25425137.
13. Hassan Bhat T, Jiawen G, Farzaneh H. Air Pollution Health Risk Assessment (AP-HRA), Principles and Applications. *Int Journal Environ Res Public Health.* 2021 Feb 17;18(4):1935. doi: 10.3390/ijerph18041935. PMID: 33671274; PMCID: PMC7922529.
14. Health effects of outdoor air pollution. Committee of the Environmental and Occupational Health Assembly of the American Thoracic Society. *Am Journal Respir Crit Care Med.* 1996 Jan;153(1):3-50. doi: 10.1164/ajrccm.153.1.8542133. PMID: 8542133.
15. Kelishadi R, Poursafa P. Air pollution and non-respiratory health hazards for children. *Arch Med Sci.* 2010 Aug 30;6(4):483-95. doi: 10.5114/aoms.2010.14458. Epub 2010 Sep 7. PMID: 22371790; PMCID: PMC3284061.
16. Khomenko I, Ivakhno O, Pershehuba Y, Zakladna N. Strategy for the development of the public health system of Ukraine in line with modern changes in society. *Med. perspekt.* [Internet]. 2022 Jun 28 [cited 2024 Jan 26]; 27(2):168-74. Available from: <https://journals.urau.ua/index.php/2307-0404/article/view/260296>
17. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front Public Health.* 2020 Feb 20;8:14. doi: 10.3389/fpubh.2020.00014. PMID: 32154200; PMCID: PMC7044178.
18. Markus Amann, Imrich Bertok, Jens Borken-Kleefeld, Janusz Cofala, Chris Heyes, Lena Höglund-Isaksson, Zbigniew Klimont, Binh Nguyen, Maximilian Posch, Peter Rafaj, Robert Sandler, Wolfgang Schöpp, Fabian Wagner, Wilfried Winiwarter, Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modeling and policy applications, *Environmental Modelling & Software*, Volume 26, Issue 12, 2011, Pages 1489-1501, ISSN 1364-8152, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.07.012>.
19. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Front Public Health.* 2020 Feb 20;8:14. doi: 10.3389/fpubh.2020.00014. PMID: 32154200; PMCID: PMC7044178.
20. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 18 жовтня 2023 року № 1811 Методичні рекомендації «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмо-сферного повітря» [Assessment of carcinogenic and non-carcinogenic risk to public health from chemical pollution of atmospheric air]. – Режим доступу: <https://moz.gov.ua/article/ministry-mandates/nakaz-moz-ukraini-vid-18102023--1811-pro-zatverdzhennja-metodichnih-rekomendacij-ocinka-kancerogennogo-ta-nekancerogennogo-riziku-dlja-zdorovja-naseleння-vid-himichnogo-zabrudnennja-atmosfernogo-povitlja>
21. Pope CA 3rd, Burnett RT, Turner MC, Cohen A, Krewski D, Jerrett M, Gapstur SM, Thun MJ. Lung cancer and cardiovascular disease mortality associated with ambient air pollution and cigarette smoke: shape of the exposure-response relationships. *Environ Health Perspect.* 2011 Nov;119(11):1616-21. doi: 10.1289/ehp.1103639. Epub 2011 Jul 19. PMID: 21768054; PMCID: PMC3226505.
22. Pershehuba YV, Tsyganenko OI, Maslova OV, Sklyarova NA. The epidemiological problem of global epidemics danger to acute respiratory viral infections, especially coronavirus, for the organization of mass sporting events: solution ways. *Wiad Lek.* 2021;74(10 pt 1):2516-2519. PMID: 34897014.
23. Peter P. Groumpos, A Critical Historical and Scientific Overview of all Industrial Revolutions, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 54, Issue 13, 2021, Pages 464-471, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492>.
24. Sami Kaivonen, Edith C.-H. Ngai, Real-time air pollution monitoring with sensors on city bus, *Digital Communications and Networks*, Volume 6, Issue 1, 2020, Pages 23-30, ISSN 2352-8648, <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2019.03.003>.
25. Tagle M, Rojas F, Reyes F, Vásquez Y, Hallgren F, Lindén J, Kolev D, Watne ÅK, Oyola P. Field performance of a low-cost sensor in the monitoring of particulate matter in Santiago, Chile. *Environ Monit Assess.* 2020 Feb 10;192(3):171. doi: 10.1007/s10661-020-8118-4. PMID: 32040639; PMCID: PMC7010625.
26. Yi EEPN, Nway NC, Aung WY, Thant Z, Wai TH, Hlaing KK, Maung C, Yagishita M, Ishigaki Y, Win-Shwe TT, Nakajima D, Mar O. Preliminary monitoring of concentration of particulate matter (PM2.5) in seven townships of Yangon City, Myanmar. *Environ Health Prev Med.* 2018 Oct 25;23(1):53. doi: 10.1186/s12199-018-0741-0. PMID: 30360764; PMCID: PMC6202861.