

БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-8-84-19>

УДК 614.71

Петросян А.А., Маремуха Т.П., Моргульова В.В.

Державна установа «Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзєєва
Національної академії медичних наук України»

УДОСКОНАЛЕННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗА ЯКІСТЮ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ

Анотація. Обґрунтовано методичні підходи до визначення місць розташування постів спостережень (відповідно до вимог Директиви ЄС 2008/50/ЄС та Постанови КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827) на підставі результатів математичного моделювання просторового поширення забруднення в приземному шарі атмосфери та оцінок інгаляційного ризику для здоров'я населення. Це дозволило визначити «гарячі точки» (hot spot) найвищих рівнів забруднення, враховуючи прив'язки до місць найвищої щільності проживання населення та розташування навчальних закладів, що сприятиме гармонізації (оптимізації) існуючої мережі спостережень та економії державних коштів при прийнятті управлінських рішень. Рекомендовано на підставі отриманих результатів оцінок ризику встановити у м. Кам'янське – 7 автоматизованих постів спостереження за викидами: пилу НДЗС, у т.ч. PM_{10} та $PM_{2,5}$, азоту діоксиду, сірки діоксиду, бенз(а)пірену, вуглецю оксиду, нафталіну, сірководню, бензолу, озону, марганцю та його сполук, міді, нікелю, хрому, заліза та його сполук, формальдегіду та вуглеводнів, при цьому 5 на базі існуючих постів контролю за рівнем хімічного забруднення атмосферного повітря; у м. Марганець – 3 автоматизовані пости (за викидами пилу НДЗС, у т.ч. PM_{10} та $PM_{2,5}$, азоту діоксиду, вуглецю оксиду, сірки діоксиду, марганцю та його сполук, озону, формальдегіду, вуглеводнів); у м. Жовті Води – 2 автоматизовані пости (за викидами пилу НДЗС, у т.ч. PM_{10} та $PM_{2,5}$, азоту діоксиду, вуглецю оксиду, сірки діоксиду, марганцю і його сполук, озону, формальдегіду, вуглеводнів, радіонуклідів уранового та торієвого рядів).

Ключові слова: атмосферне повітря, моделювання, моніторинг якості атмосферного повітря, автоматизовані пости спостережень, усереднені концентрації, забруднюючі речовини, оцінка ризику для здоров'я населення.

Petrosian Arina, Maremukha Tetiana, Morhulova Varvara

SI «O.M. Marzeiev Institute for Public Health of the National Academy
of Medical Science of Ukraine»

IMPROVEMENT AND ORGANIZATION OF AUTOMATED AIR QUALITY MONITORING SYSTEM IN UKRAINE

Summary. Methodical approaches are substantiated to determine the location of observation posts (in accordance with the requirements of EU Directive 2008/50 / EC and the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine, August 14, 2019 № 827) based on the results of mathematical modeling of the spatial distribution of pollution in the surface layer of the atmosphere and estimates of inhalation risk to public health. This study allowed to identify "hot spots" of the highest levels of pollution, taking into account the links to the highest population density and location of educational institutions, which will contribute to the harmonization (optimization) of the existing network of observations and saving public funds in making management decisions. Emission toxicity of industrial enterprises is estimated (1720 sources in Kamyanske; 116 sources +2 slagheaps in Marhanets; 106 sources +2 slagheaps in Zhovti Vody) Dnipropetrovsk region and modeling (using ISC-AERMOD View software) levels of average hourly, daily and annual concentrations of priority pollutants in the nodes of the given receptor grids of the studied cities. Levels of non-carcinogenic risk (HQ) in acute assessments were determined (at the level of the average daily concentration) and chronic (at the level of the average annual concentration) inhalation effects of priority chemicals on the health of the exposed population. It is established that the risk factors in the nodes of the receptor network (where the population lives) in Kamyanske exceed the permissible level ($HQ \geq 1$) for particulate matter, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide, benzo[a]pyrene, manganese and its compounds, naphthalene, hydrogen sulfide; in Marhanets for particulate matter, nitrogen dioxide and manganese and its compounds and pose a risk to the health of the exposed population of the studied cities. In Zhovti Vody, it has been established that the risk factors in the nodes of the receptor network (where the population lives) do not exceed the permissible level ($HQ \leq 1$). The levels of total carcinogenic risk (ICRtotal) and individual risk of death (IRM) for the particulate matter with a particle diameter less than $10 \mu m$ (PM_{10}) were estimated. It is recommended to establish on the basis of the received results of risk assessments in Kamyanske – 7 automated posts (by emissions: particulate matter, including PM_{10} and $PM_{2,5}$, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, benzo[a]pyrene, carbon monoxide, naphthalene, hydrogen sulfide, benzene, ozone, manganese and its compounds, copper, nickel, chromium, iron, formaldehyde and hydrocarbons), at the same time to organize automated monitoring at 5 existing posts and add 2 more; in Marhanets – 3 automated stations (by emissions: particulate matter, including PM_{10} and $PM_{2,5}$, nitrogen dioxide, carbon monoxide, sulfur dioxide, manganese and its compounds, ozone, formaldehyde, hydrocarbons); in Zhovti Vody – 2 automated posts (by emissions: particulate matter, including PM_{10} and $PM_{2,5}$, nitrogen dioxide, carbon monoxide, sulfur dioxide, manganese and its compounds, ozone, formaldehyde, hydrocarbons, uranium and radionuclides thorium series).

Keywords: atmospheric air, modeling, monitoring of air quality, automated observation posts, average concentrations, pollutants, human health risk assessment.

Постановка проблеми. Враховуючи сучасні тенденції зовнішньої політики України щодо імплементації нормативно-правових документів та рекомендацій Європейського Союзу (Директиви ЄС 2008/50/ЄС та 2004/107/ЄС), відповідно до вимог про Асоціацію, проблема організації, розбудови та удосконалення системи державного моніторингу за якістю атмосферного повітря є вкрай актуальною [1; 2]. Незважаючи, на прийняття Постанови КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827, головним напрямком подальшого розвитку у сфері моніторингу атмосферного повітря має бути послідовна гармонізація відповідних суб'єктів (елементів) мереж спостережень за станом атмосферного повітря [3]. При цьому, з метою забезпечення виконання основних принципів функціонування державної системи моніторингу довілля необхідне залучення існуючого потенціалу всіх суб'єктів моніторингу, насамперед на основі узгодженості та прогресивності нормативно-правового, методичного та технічного забезпечення мереж спостережень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальновідомо, що основний обов'язок організації та проведення моніторингу атмосферного повітря в зонах та агломераціях (враховуючи основні положення Постанови КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827), покладено на Український гідрометеорологічний центр ДСНС України та частково на лабораторні центри МОЗ України (у сільбищних, рекреаційних, промислових (на межі СЗЗ) зонах та за скаргами населення) та Державну екологічну інспекцію, яка здійснює вибірково контроль на джерелах викидів промислових об'єктів [4]. Протягом останніх років розвиток системи екологічного моніторингу (зокрема, атмосферного повітря) в Україні набирає швидких обертів. Це передбачає створення у великих промислових центрах мереж спостереження з використанням автоматизованих постів спостережень (АПС), які доповнять склад існуючих стаціонарних постів. Такі проекти вже реалізовані обласними державними адміністраціями у Дніпропетровській, Донецькій і Київській областях та розробляються в інших регіонах України. Також, широкої популярності набуває громадський моніторинг, реалізований в основному на платформах активних громадських організацій, які безумовно, сприяють розвитку державної системи моніторингу атмосферного повітря в Україні. На сьогодні існує понад 700 станцій громадського моніторингу в основному обладнаних сенсорними приладами, які на жаль, не відповідають вимогам методів оцінювання рівнів забруднюючих речовин при проведенні фіксованих вимірювань, згідно Постанови КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827 [5].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. В існуючих системах спостережень, заснованих за радянських часів, збір і обробка інформації засновані на лабораторних методах аналізу проб атмосферного повітря та використовуються не стільки для прийняття оперативних управлінських рішень, скільки для статистичного аналізу [6]. Використання індикативних вимірювань або моделювання недостатньо врегульовані нормативно-правовою базою. Внаслідок цього, наявна система моніторингу є недосконалою, обмежуючи дані про стан

забруднення повітря на всій території та довгострокову динаміку показників. Розташування постів спостереження, які були визначені за принципом територіальної спільності відповідно до вимог РД 52.04.186-89, наразі не відповідають сучасним реаліям щодо обґрунтованості їх встановлення в умовах стрімкої урбанізації та неконтрольованих містобудівних рішень майже у всіх регіонах України [4]. Неврегульованим залишається й питання визначення вмісту твердих часток пилу (з діаметром менше 10 мкм – PM_{10} та менше 2,5 мкм – $PM_{2.5}$) та озону, оскільки їх державний моніторинг й досі не запроваджено на національному рівні [7].

Відповідно до Директиви ЄС 2008/50/ЄС, обґрунтування встановлення АПС необхідно проводити на підставі прогнозування рівнів забруднення атмосферного повітря на досліджуваних територіях, використовуючи дані математичного моделювання просторового поширення забруднення в приземному шарі атмосфери [1], що дозволяє оцінити інгаляційний ризик для здоров'я населення від джерел забруднення (промислових підприємств, автотранспорту) по всій території міста. Такий підхід є доцільним в умовах реалій України («хаотичне» розташування постів) з метою економії державних коштів, що сприятиме гармонізації існуючої мережі спостережень та підвищить обґрунтованість прийняття управлінських рішень стосовно поліпшення якості атмосферного повітря.

Мета статті. Головною метою роботи є розробка пропозицій щодо організації та удосконалення автоматизованої системи спостережень (моніторингу) за якістю атмосферного повітря в Україні (на прикладі Дніпропетровської області – м. Кам'янське, Марганець та Жовті Води).

Викладення основного матеріалу дослідження. На підставі результатів математичного моделювання поширення забруднення атмосферного повітря та ризику для здоров'я населення у м. Кам'янське, Марганець та Жовті Води було здійснено науковий супровід проекту «Організація, розбудова та удосконалення регіональної автоматизованої мережі спостережень за станом атмосферного повітря у Дніпропетровській області». До дослідження було включено: у м. Кам'янське 1720 джерел викидів основних промислових підприємств (90 % валових викидів у загальному забрудненні атмосферного повітря), що викидають в атмосферне повітря 74 забруднюючі речовини; у м. Марганець – 116 джерел викидів (+2 відвали), що викидають в атмосферне повітря 29 забруднюючих речовин; у м. Жовті Води – 106 джерел викидів (+2 відвали), що викидають 40 забруднюючих речовин. З метою отримання подальших репрезентативних результатів досліджень було проведено фізико-географічну оцінку територій зон впливу промислових підприємств. Проаналізовано та введено до модулів програми наступні параметри: метеорологічні дані за певний часовий період, характеристики землекористування, топографічні дані територій (створено цифрові моделі рельєфів), параметри та характеристики джерел викидів [8; 9].

Використовуючи геоінформаційні технології (ArcGIS 10.0) у кожному місті було геокодовано розташування джерел викидів промислових

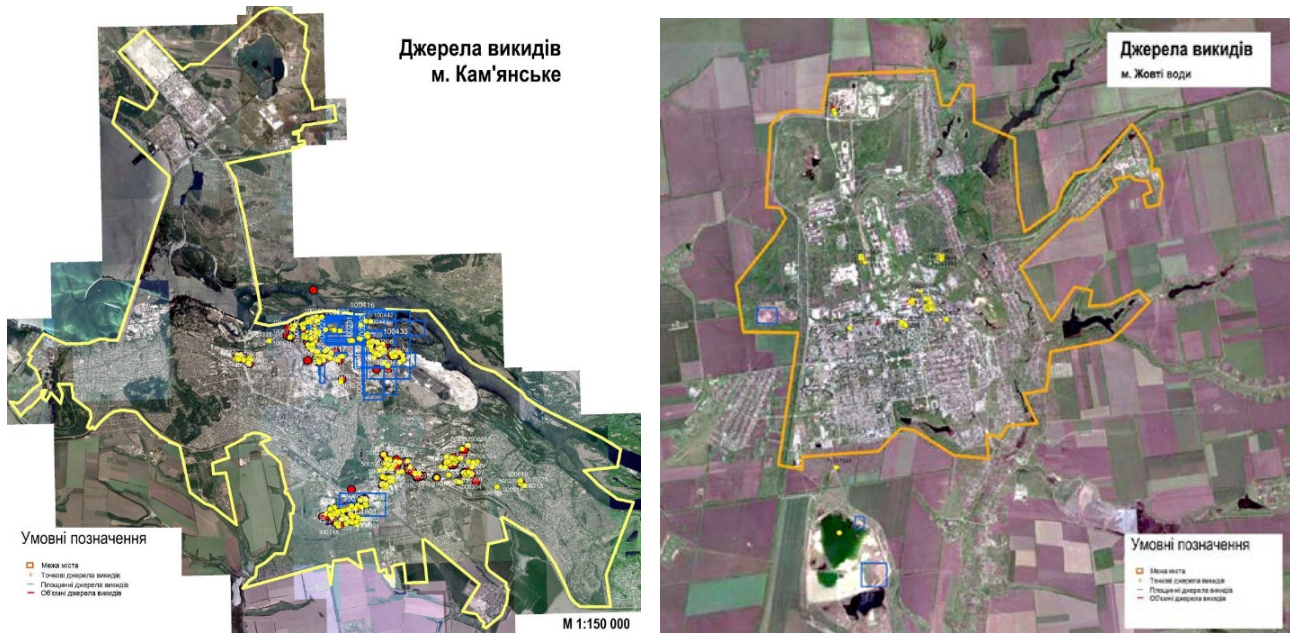


Рис. 1. Приклад результатів геокодування стаціонарних джерел викидів промислових об'єктів мм. Кам'янське та Жовті Води

Джерело: розроблено авторами

підприємств, уточнено та прив'язано їх у географічній (геодезичній) системі координат WGS-84 (рис. 1) та компенсовано даними дистанційного зондування Землі високої роздільної здатності (ортофотоплани територій дослідження за матеріалами супутникової зйомки DigitalGlobe/GeoEye Google). В якості вихідних параметрів було проаналізовано: генеральні плани міст та територій промислових підприємств; координати прив'язки, характеристики параметрів та режимів роботи стаціонарних джерел викидів (витяги з таблиць інвентаризації та документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів стаціонарних джерел в атмосферне повітря).

На етапі ідентифікації небезпеки, враховуючи критерії вибору та оцінку токсичності пріоритетних забруднюючих речовин, що входять до складу емісій стаціонарних джерел забруднення досліджуваних міст [10], було проведено: аналіз обсягів надходження забруднюючих речовин в атмосферне повітря (г/с) та даних відносно параметрів небезпеки і залежностей «доза-відповідь» (референтних концентрацій; чинних вітчизняних нормативів: гранично допустимих максимально разових концентрацій – ГДК_{м.р.} та середьодобових – ГДК_{с.д.}); оцінку токсичності викидів і направленості впливу на органи та системи людського організму, необхідних для подальших розрахунків. В результаті було сформовано перелік забруднюючих речовин, для проведення досліджень оцінок ризику для здоров'я експонованого населення. До переліку пріоритетних забруднюючих речовин у м. Кам'янське увійшло 26 хімічних сполук, в тому числі 5 канцерогенних – бенз(а)пірен, бензол, нікель, формальдегід, хром (IV); у м. Марганець – 7, в тому числі 1 канцерогенна – формальдегід; у м. Жовті Води – 13 хімічних сполук, в тому числі 4 канцерогенні – бензин, нікель, свинець, хром (IV) [11; 12].

Для подальших розрахунків усереднених концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери було використано розрахунковий комплекс ISC-AERMOD View, враховуючи дані метеорологічних спостережень, топографії та характеристики землекористування [8; 13]. Зона дослідження для подальших розрахунків ризику для здоров'я населення та визначення «гарячих точок» (hot spot) від впливу викидів промислових підприємств міст була визначена у: м. Кам'янське, як територія розміром 21×20 км; м. Марганець – 11,5×7 км; м. Жовті Води – 6,5×8 км. Сітка з розбивкою на квадрати була задана (рис. 2) над територіями: м. Кам'янське з вузлами у вершинах квадратів розміром 1000×1000 м; м. Марганець – 500×500 м над щільно забудованою частиною міста та 1000×1000 м над помірно забудованою частиною міста; м. Жовті Води – 500×500 м. Кількість розрахункових вузлів радіальної рецепторної сітки, відповідно у містах – 462, 228, 238 контрольних точок.

В результаті було розраховано усереднені годинні, добові та річні концентрації для 26 забруднюючих речовин, які формують експозиційні навантаження на здоров'я населення м. Кам'янське; для 7 пріоритетних хімічних речовин у м. Марганець та для 13 – у м. Жовті Води. Змодельовані усереднені концентрації забруднюючих речовин були порівняні з діючими вітчизняними нормативами (РД 52.4.186-89 Рукводство по контролю замірювання атмосфери; наказ МОЗ України № 52 від 14.01.2020 р. «Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць», зареєстрованого в Міністерстві юстиції України за № 156/34439 від 10.02.2020 р.). Згідно методології оцінки ризику для оцінки ймовірного впливу промислових підприємств на здоров'я експонованого населення.

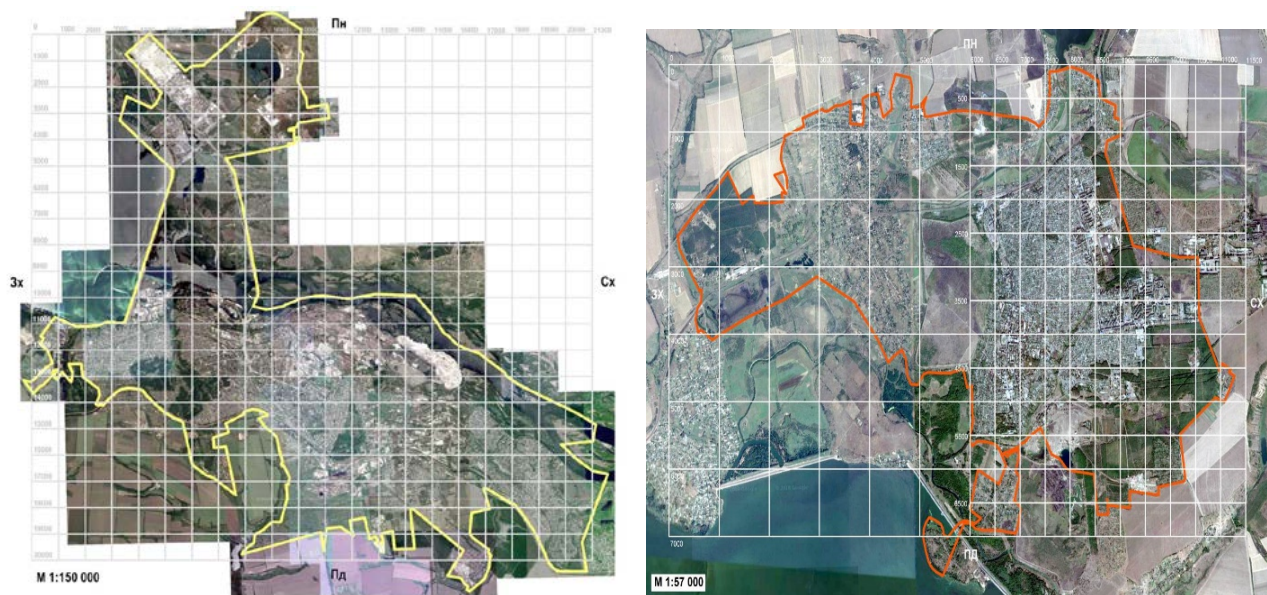


Рис. 2. Приклад розташування розрахункових вузлів рецепторної сітки у мм. Кам'янське та Марганець

Джерело: розроблено авторами

ного населення досліджуваних міст при гострому та хронічному інгаляційному впливах пріоритезованих забруднюючих речовин, отримані рівні усереднених концентрацій (добова та річна) були порівняні з референтними концентраціями, що дозволило в подальшому оцінити ризик для здоров'я населення [11; 12; 14]. При цьому, оцінка якості повітря була проведена за умови найжорсткішого вітчизняного або міжнародного гігієнічного нормативу.

На основі розрахованих рівнів експозиції були встановлені характеристики ризику від забруднення атмосферного повітря у розрахункових вузлах рецепторної сітки мм. Кам'янське, Марганець та Жовті Води, які включали розрахунки [10; 15]: неканцерогенних ризиків у вигляді коефіцієнтів небезпеки (Н_Q) для окремих речовин та сумарно (НІ); індивідуальних та сумарних канцерогенних ризиків (ICR; ICR_{total}); індивідуального ризику смерті від викидів пилу з діаметром часток менше 10 мкм (IRM).

У м. Кам'янське, проведені розрахунки рівнів неканцерогенного ризику (Н_Q) при оцінках гострих (на рівні усередненої добової концентрації; Н_{Qacute}) та хронічних (на рівні усередненої річної концентрації; Н_{Qchronic}) інгаляційних впливів для окремих забруднюючих речовин та сумарно (НІ) від 26 пріоритетних хімічних речовин на здоров'я експонованого населення показали, що коефіцієнти небезпеки у вузлах рецепторної сітки перевищують (Н_Q ≥ 1) та ризик для здоров'я експонованого населення є недопустимим майже по всій території міста зокрема, від викидів пилу НДЗС (Н_{Qacute} = 1,1 ÷ 5,7; Н_{Qchronic} = 1,1), азоту діоксиду (Н_{Qacute} = 1,1 ÷ 3,5), сірки діоксиду (Н_{Qacute} = 1,1 ÷ 8,1; Н_{Qchronic} = 1,1 ÷ 1,3), бенз(а) пірену (Н_{Qacute} = 1,1 ÷ 2,7), марганцю та його сполук (Н_{Qacute} = 1,1 ÷ 99,8; Н_{Qchronic} = 1,1 ÷ 183,4), нафталіну (Н_{Qacute} = 1,1 ÷ 4,5), сірководню (Н_{Qacute} = 1,2 ÷ 1,9; Н_{Qchronic} = 1,2), ксилолу (Н_{Qacute} = 4,6; Н_{Qchronic} = 1,1 ÷ 1,3), міді оксиду (Н_{Qacute} = 1,1 ÷ 4,0;

Н_{Qchronic} = 1,6 ÷ 43,2), нікелю оксиду (Н_{Qacute} = 1,1 ÷ 10,3; Н_{Qchronic} = 1,8 ÷ 14,9), хрому шестивалентного (Н_{Qacute} = 1,1 ÷ 1,8; Н_{Qchronic} = 1,3 ÷ 5,6), заліза оксиду (Н_{Qacute} = 1,7 ÷ 6,9), фенолу (Н_{Qacute} = 1,3). Такі рівні неканцерогенного ризику (Н_Q > 3), характеризуються як помірні – у чутливих груп населення (діти, вагітні жінки та люди похилого віку) можуть спостерігатися слабкі ефекти; Н_Q > 6 характеризуються як високі – у чутливих груп населення можуть спостерігатися виражені ефекти та дуже високі (Н_Q > 10) – прогресуючі ефекти (у населення в цілому), що вимагає розробки заходів щодо зниження експозиції та запобігання цих ефектів [14].

Проведені розрахунки рівнів неканцерогенного ризику (Н_Q) у м. Марганець при оцінках гострих та хронічних інгаляційних впливів для окремих забруднюючих речовин та сумарно від 7 пріоритетних хімічних речовин на здоров'я експонованого населення показали, що коефіцієнти небезпеки у вузлах рецепторної сітки перевищують (Н_Q ≥ 1) та ризик для здоров'я експонованого населення є недопустимим зокрема, від викидів пилу НДЗС (Н_{Qacute} = 1,1 ÷ 3,0), марганцю та його сполук (Н_{Qchronic} = 1,3 ÷ 5,8) та азоту діоксиду (Н_{Qacute} = 1,2 ÷ 12,7; Н_{Qchronic} = 1,6).

У м. Жовті Води проведено розрахунки рівнів неканцерогенного ризику (при гострих та хронічних впливах) на здоров'я експонованого населення, показали, що коефіцієнти небезпеки у вузлах рецепторної сітки (у рецепторних точках, де проживає населення), не перевищують допустимий рівень ризику (Н_Q ≤ 1). Сумарний неканцерогенний ризик від викидів усіх пріоритезованих хімічних речовин є недопустимим лише в одній рецепторній точці, яка розташована у промисловій зоні міста. Встановлені перевищення обумовлені за рахунок викидів марганцю та його сполук, пилу НДЗС та заліза оксиду.

При аналізі рівнів забруднення атмосферного повітря пріоритезованими канцерогенни-

ми речовинами, які входять до складу викидів стаціонарних джерел промислових підприємств досліджуваних міст, було встановлено, що рівні сумарного канцерогенного ризику (ICR_{total}) протягом всього життя людини коливаються в наступних межах: м. Кам'янське (в основному за рахунок викидів бензолу, хрому (VI) та бен(а)пірену) – $ICR_{total} = 1,8 \times 10^{-7} \div 2,9 \times 10^{-3}$ (такі рівні канцерогенного ризику, характеризуються як допустимі для професійних контингентів та недопустимі для населення в цілому); м. Жовті Води – $ICR_{total} = 1,8 \times 10^{-6} \div 9,4 \times 10^{-5}$ (такі рівні ризику, відповідають зоні умовно прийняттого (допустимого) ризику та потребують постійного контролю з боку контролюючих органів щодо дотримання потужностей викидів та технологічних режимів роботи обладнання підприємств; м. Марганець – $ICR_{total} = 9,7 \times 10^{-13} \div 6,1 \times 10^{-10}$ (мінімальні ризики $ICR_{total} < 1 \times 10^{-6}$ для експонованого населення) [10; 14]. Отримані результати вказують на те, що пил НДЗС є основою забруднюючою речовиною досліджуваних промислових міст.

Також додатково були проведені дослідження щодо оцінок впливу твердих часток пилу (PM_{10}) на здоров'я експонованого населення. Розрахунки показали, що рівні індивідуального ризику смерті (IRM) у рецепторних вузлах м. Кам'янське коливаються в межах – $IRM = 3,5 \times 10^{-5} \div 2,9 \times 10^{-3}$; у м. Марганець – $IRM = 1,4 \times 10^{-5} \div 1,5 \times 10^{-3}$. Такі рівні ризику (відповідно до класифікації ВООЗ) є допустимими для професійних контингентів та недопустимими для проживання населення в цілому [10]. Майже по всій території вище представлених міст спостерігаються рівні ризику від викидів PM_{10} на рівні $n \times 10^{-4}$. У м. Жовті Води рівні індивідуального ризику смерті (IRM) становили – $IRM = 5,4 \times 10^{-6} \div 9,8 \times 10^{-5}$. Такі рівні індивідуального ризику смерті (відповідно до класифікації ВООЗ) на рівні $1 \times 10^{-6} < ICR_{total} < 1 \times 10^{-4}$ (протягом життя), відповідають зоні умовно прийняттого (допустимого) ризику [10; 15].

Щостосується питання організації кількості АПС, то аналіз був проведений, відповідно до РД 52.04.186-89 та Директиви ЄС 2008/50/ЄС. Наприклад, у м. Кам'янське, згідно РД, необхідно встановлювати 3-5 ПС (2 ПС, відповідно до Директиви); мм. Марганець та Жовті Води – 1 ПС (1 ПС). Проведений аналіз доводить про неможливість «сліпого» використання європейських вимог на території України, особливо в промислових містах, які характеризуються зосередженням великої кількості промислових підприємств, навіть у невеликих містах з населенням до 50 тисяч осіб. В першу чергу, це обумовлено варіабельністю просторового поширення забруднення навколо промислових підприємств на значні відста-

ні та щільністю проживання населення в зонах їх впливу.

Таким чином, виходячи з отриманих результатів оцінки ризику для здоров'я населення (на підставі визначених «гарячих точок» (hot spot)) з обов'язковою прив'язкою до місць найвищої щільності проживання населення та розташування навчальних закладів було рекомендовано встановити у: м. Кам'янське – 7 АПС, при цьому на 5 існуючих організувати автоматизований моніторинг (за рекомендованими забруднюючими речовинами) та додати 2 АПС, відповідно по вул. по вул. Генерала Глаголева, 22 (дитячий садок № 5 «Дніпряночка») та по вул. Освітня, 19 (загальноосвітня школа № 33); м. Марганець – 3 АПС по вул. Перспективна, 3а (загальноосвітня школа № 1), вул. Садова, 18 (загальноосвітня школа № 2), вул. Ювілейний квартал, 17 (загальноосвітня школа № 9); м. Жовті Води – 2 АПС по вул. Гагаріна, 2 (інформаційно-обчислювальний центр ДП «СхідГЗК»), вул. Шевченка, 12 (загальноосвітня школа № 11 НВК «Дивосвіт»).

Також, відповідно до виконання Україною вимог щодо Асоціації з ЄС (імплементация Директив ЄС 2008/50/ЄС; 2004/107/ЄС) та Постанови КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827, враховуючи результати оцінки ризику, було рекомендовано додатково включити до системи моніторингу в: м. Кам'янське спостереження за викидами важких металів (мідь, нікель, хром, залізо) та озону; м. Марганець – вуглецю оксиду, сірки діоксиду та озону; м. Жовті Води – вуглецю оксиду, сірки діоксиду, азоту діоксиду, озону, радіонукліди відходів уранового виробництва (радіонукліди уранового та торієвого рядів, враховуючи багатолітні дослідження, які були проведені фахівцями ДУ «ІГЗ НАМНУ» в рамках науково-дослідних робіт); від викидів автотранспорту в усіх містах – формальдегід та вуглеводні.

Висновки і пропозиції. В результаті проведених досліджень обґрунтовано методичні підходи до визначення місць розташування постів спостережень (відповідно до вимог Директиви ЄС 2008/50/ЄС та Постанови КМУ від 14 серпня 2019 р. № 827) на підставі даних математичного моделювання просторового поширення забруднення в приземному шарі атмосфери та оцінок інгалаційного ризику для здоров'я населення. Це дозволило визначити «гарячі точки» (hot spot) найвищих рівнів забруднення, враховуючи прив'язки до місць найвищої щільності проживання населення та розташування навчальних закладів, що сприятиме гармонізації (оптимізації) існуючої мережі спостережень та економії державних коштів при прийнятті управлінських рішень.

Список літератури:

1. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe. Official Journal of the European Union. 2008. Vol. 51. L 152. 44 p.
2. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Official Journal of the European Union, L 23, 26 January 2005.
3. Постанова № 827 від 14 серпня 2019 р. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#n18> (дата звернення: 30.07.2020).
4. Дмитрієва О.О., Варламов Є.М., Квасов В.А., Палагута О.А., Нестеренко Л.М., Нестеренко У.Ю. Стан мережі спостереження за атмосферним повітрям в Україні та її відповідність вимогам директиви 2008/50/ЄС. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2016. Вип. 38. С. 99–110. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ponp_2016_38_12 (дата звернення: 02.08.2020).
5. Кольцов М., Шевченко Л. Моніторинг якості атмосферного повітря: український та міжнародний досвід. [Аналітична записка]. Київ: ГО «Фундація «Відкрите Суспільство», 2018. 13 с.

6. Турос О.І., Петросян А.А., Михіна Л.І. Гігієна повітря / Досвід та перспективи наукового супроводу проблем гігієнічної науки та практики : зб. наук. пр. Київ, 2011. С. 133–149.
7. Давиденко Г.М., Петросян А.А. Дослідження забруднення атмосферного повітря зваженими частками пилу: оцінка наслідків. *Вісник Вінницького національного медичного університету*. 2017. № 1. Ч. 1 (Т. 21). С. 165–168.
8. AERMOD: Description of Model Formulation, Alan J. Cimorelli, Steven G. Perry, Akula Venkatram, Jeffrey C. Weil, Robert J. Paine, Robert B. Wilson, Russell F. Lee, Warren D. Peters, Roger W. Brode, James O. Paumier / EPA-454/R-03-004 September, 2004. URL: https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf (дата звернення: 29.03.2020).
9. Cimorelli A. J., Perry S. G., Venkatram A., Weil J. C., Paine R. J. et al. AERMOD: Description of Model Formulation, EPA-454/R-03-004. U.S. Environmental Protection Agency, 2004. 92 p. URL: https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf (дата звернення: 11.06.2020).
10. Human health risk assessment. URL: <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment> (дата звернення: 04.05.2020).
11. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря: методичні рекомендації / МОЗ ; наказ № 184 від 13.04.2007 р. Київ, 2007. 28 с.
12. Integrated Risk Information System. URL: <http://www.epa.gov/iris> (дата звернення: 17.06.2020).
13. Патент № 33659 UA, МПК А61В 10/00. Спосіб визначення осереднених концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі / О.І. Турос, А.А. Петросян, О.М. Картавцев, О.В. Вознюк, Л.І. Михіна, Є.А. Мельник ; заявник і власник ДУ «ІГМЕ ім. О.М. Марзеева АМНУ». № u 200800699 ; заявл. 21.01.2008 ; опубл. 10.07.2008, Бюл. № 13.
14. Air quality guidelines – global update 2005. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2006. 484 p.
15. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities / U.S. Environmental Protection Agency ; Multimedia Planning and Permitting Division ; Office of Solid Waste Centre for Combustion Science and Engineering, 2005. P. 890.

References:

1. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe. Official Journal of the European Union. 2008. Vol. 51. L 152. 44 p.
2. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. Official Journal of the European Union, L 23, 26 January 2005.
3. Resolution № 827 from August 14, 2019. Deiaki pytannia zdiisnennia derzhavnoho monitorynhu v haluzi okhorony atmosfernoho povitria [Some issues of state monitoring in the field of air protection]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#n18>
4. Dmytriieva, O.O., Varlamov, Ye.M., Kvasov, V.A., Palahuta, O.A., Nesterenko, L.M., & Nesterenko, U.Yu. (2016). Stan merezhi sposterezhennia za atmosfernym povitriam v Ukraini ta yii vidpovidnist vymoham dyrektyvy 2008/50/EC [Condition of the air monitoring network in Ukraine and its compliance with the requirements of Directive 2008/50 / EC]. *Problems of environmental protection and environmental safety*, vol. 38, pp. 99–110. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ponp_2016_38_12
5. Koltsov, M., & Shevchenko, L. (2018). Monitorynh yakosti atmosfernoho povitria: ukrainskyi ta mizhnarodnyi dosvid: Analychna zapyska [Atmospheric air quality monitoring: Ukrainian and international experience: Analytical note]. Kyiv: NGO Open Society Foundation, 13 p.
6. Turós, O.I. Petrosian, A.A., & Mykhina, L.I. (2011). Air hygiene / Dosvid ta perspektyvy naukovooho suprovodu problem hihienichnoi nauky ta praktyky [Experience and prospects of scientific support of problems of hygienic science and practice]. Kyiv, pp. 133–149.
7. Davydenko, H.M., & Petrosian, A.A. (2017). Doslidzhennia zabrudnennia atmosfernoho povitria zvažhenymi chastkami pyly: otsinka naslidkiv [Investigation of air pollution by suspended dust particles: impact assessment]. *Bulletin of Vinnytsia National Medical University*, vol. 1 (T. 21), pp. 165–168.
8. AERMOD: Description of Model Formulation, Alan J. Cimorelli, Steven G. Perry, Akula Venkatram, Jeffrey C. Weil, Robert J. Paine, Robert B. Wilson, Russell F. Lee, Warren D. Peters, Roger W. Brode, James O. Paumier / EPA-454/R-03-004 September, 2004. URL: https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf
9. Cimorelli A. J., Perry S. G., Venkatram A., Weil J. C., Paine R. J. et al. AERMOD: Description of Model Formulation, EPA-454/R-03-004. U.S. Environmental Protection Agency, 2004. 92 p. URL: https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf
10. Human health risk assessment. URL: <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment>
11. Assessment of the risk to public health from air pollution: guidelines / Ministry of Health ; order № 184 dated 13.04.2007. Kyiv, 2007. 28 p.
12. Integrated Risk Information System. URL: <http://www.epa.gov/iris>
13. Patent № 33659 UA, МПК А61В 10/00. Sposib vyznachennia oserednenykh kontsentratsii shkidlyvykh rehovyn v atmosfernomu povitri [Method of determining averaged concentrations of harmful substances in atmospheric air]/ O. I. Turós, A. A. Petrosian, O. M. Kartavtsev, O. V. Vozniuk, L. I. Mykhina, Ye. A. Melnyk; applicant and owner the State Institution «IPH NAMSU». № u 200800699 ; 21.01.2008 ; publ. 10.07.2008, Bull. № 13.
14. Air quality guidelines – global update 2005. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2006. 484 p.
15. Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities / U.S. Environmental Protection Agency ; Multimedia Planning and Permitting Division ; Office of Solid Waste Centre for Combustion Science and Engineering, 2005. P. 890.