

ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ М. ЗАПОРІЖЖЯ

Белоконь К.В.¹, Мальований М.С.², Тарабан Є.В.¹

¹Запорізький національний університет
вул. Жуковського, 66, 69600, м. Запоріжжя

²Національний університет «Львівська політехніка»
вул. Степана Бандери, 12, 79000, м. Львів

kv.belokon@gmail.com, myroslav.mal@gmail.com, reshka166@gmail.com

Місто Запоріжжя – промисловий центр Сходу України. У регіоні зосереджені підприємства чорної та кольорової металургії, теплоенергетики, хімії, машинобудування, харчової промисловості, на які припадає близько 90% викидів усіх забруднюючих речовин. Означено пріоритетність шкідливих забруднюючих речовин в атмосферне повітря та їх вплив на здоров'я людини. Постійний тиск забрудненого повітря на здоров'я населення позначається на показниках захворюваності та смертності. В першу чергу – це зростання хронічних захворювань органів дихання, зору, імунної та центральної нервової систем, серцево-судинних захворювань. Період розрахунків обирався таким чином, щоб порівняти ризики для здоров'я населення у різні періоди – коли промислові підприємства працювали на повну потужність (2019 р.), під час спалаху коронавірусу (2020–2021 рр.) та воєнного стану (2022 р.). У праці представлено метод оцінки ризику для здоров'я населення внаслідок забруднення атмосферного повітря відповідно до методології ЕРА. Здійснено оцінку ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря у заводському та Вознесенівському районах м. Запоріжжя. Розраховано ризики виникнення неканцерогенних ефектів (коефіцієнти та індекси безпеки при хронічному впливі забруднюючих речовин).

Зазначено, що результати розрахунків сумарних індексів безпеки під час оцінки хронічних інгаляційних впливів викидів забруднюючих речовин від промислових підприємств знаходилися на досить високому рівні (HI = 22,62÷32,14) у 2019–2022 роках. Вони також засвідчують наявність значної кількості скарг, проявів хронічних захворювань у експонованого населення та необхідність розробки заходів з мінімізації ризиків на здоров'я населення. Результати досліджень актуалізовані для прийняття науково-обґрунтованих управлінських рішень у галузі екологічної безпеки та забезпечення комфортних умов життєдіяльності людини. *Ключові слова:* атмосферне повітря, коефіцієнт безпеки, індекс безпеки, експоноване населення, хронічний вплив, захворювання, ризик.

Assessment of the risk to public health from anthropogenic load on the atmospheric air of Zaporizhzhia. Belokon K., Malovanyu M., Taraban Ye.

The city of Zaporizhzhia serves as the industrial hub of Eastern Ukraine, housing enterprises engaged in ferrous and non-ferrous metallurgy, heat power engineering, chemistry, mechanical engineering, and the food industry. Collectively, these sectors account for approximately 90% of all pollutant emissions in the region. A list of priority harmful pollutants in the atmospheric air and their impact on human health has been determined. The constant pressure of air pollution on public health affects morbidity and mortality rates, primarily leading to an increase in chronic diseases of the respiratory system, vision, immune and central nervous systems, as well as cardiovascular diseases.

The calculation period was chosen to enable the comparison of risks to public health during different periods: when industrial enterprises were operating at full capacity (2019), during the periods of the coronavirus pandemic (2020–2021), and under martial law (2022). The paper presents a method for assessing the risk to public health due to air pollution, following the EPA methodology. An assessment of the risk to public health from air pollution was conducted in the Zavodsky and Voznesenovsky districts of Zaporizhzhia. The risks of non-carcinogenic effects on the exposed population were calculated, including coefficients and hazard indices for chronic exposure to pollutants. It was established that the results of total hazard indices calculations, assessing chronic inhalation effects of pollutant emissions from industrial enterprises, reached a very high level (HI = 22.62 to 32.14) during 2019–2022.

The calculation results indicate the presence of mass complaints and the occurrence of chronic diseases in the exposed population, highlighting the urgent need to develop measures to minimize the risk to public health. The research findings presented in the article are pertinent for making scientifically based management decisions in the field of environmental safety and ensuring comfortable living conditions for human life. *Key words:* atmospheric air, hazard coefficient, hazard index, exposed population, chronic exposure, disease, risk.

Постановка проблеми. Один з найбільш впливових чинників, від якого залежить стан здоров'я населення міста, – техногенне забруднення навколишнього середовища. За ступенем хімічної небезпеки провідним фактором ризику для людини є забруд-

нення атмосферного повітря. Рівень та характер ризику залежить від особливостей промислового розвитку населеного пункту та різноманітності джерел забруднення. Забруднення атмосферного повітря може спричиняти специфічну, неспецифічну, гостру

та хронічну дію на організм людини [1]. Що, в свою чергу, може вплинути на зростання серед населення гіпертонічних захворювань, кількості випадків утворення злоякісних новоутворень та патології органів дихання [2].

Місто Запоріжжя – великий металургійний центр України і входить до складу Придніпровського регіону. У місті на відносно невеликій площі розташовано 40% чорної та кольорової металургійної промисловості, 20,5% хімічної та машинобудівельної промисловості, 41% енергетики. Тому для міста Запоріжжя та, власне, й для багатьох інших промислових міст України, що мають значну кількість джерел забруднення атмосферного повітря, обґрунтування безпечних для здоров'я обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря є досить актуальним [3].

Актуальність дослідження. Здійснений аналіз викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря міста Запоріжжя засвідчив перевищення референтних доз відповідних хімічних сполук. Розвиток міста Запоріжжя відбувався таким чином, що великі промислові підприємства опинилися в безпосередній близькості до селітебної зони. Багато житлових забудов розташовані у межах санітарно-захисних зон промислових потужностей. Над містом часто – густо спостерігається жовто-сиза димка смогу, що утворюється викидами промислових об'єктів, сконцентрованих на відносно невеликій території. Рельєф місцевості – хвиляста рівнина з ярусно – балочною мережею – погіршує провітрювання території та умови розсіювання викидів забруднюючих речовин.

Основні підприємства міста розташовані на промисловому майданчику, який знаходиться в північно-східній частині міста. Таким чином, забруднення атмосферного повітря над основними районами міста відбувається при напрямках вітру від північно-західного через північ – до східного. При південному напрямку вітру забруднюється Заводський район, у якому, крім промислових підприємств, також знаходиться селітебна зона. Південно-західний та західний вітри сприяють виносу забрудненого повітря за місто. Вітер, швидкість якого 0–4 м/с, забруднює місто незалежно від напрямку [4].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Результати праці спрямовані на вирішення задач, поставлених для досягнення норм якості повітря за рекомендаціями ВООЗ, Директиви 2008/50 та граничних величин – рівнів забруднювальних речовин, визначених постановою Кабінету Міністрів України від 14.08.2019 р. № 827 з метою уникнення, попередження чи зменшення шкідливих впливів на здоров'я людини та/або на навколишнє природне середовище в цілому. Отримані дані можуть використовуватися в практичній діяльності ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України», Комунальної уста-

нови «Адміністрація з питань охорони здоров'я» Запорізької міської ради та управління з питань екологічної безпеки Запорізької міської ради, департаменту захисту довкілля Запорізької обласної державної адміністрації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У дослідженні [5] зазначено, що найбільш небезпечний стан атмосферного повітря спостерігається в Донецькій, Дніпропетровській, Луганській областях (5 клас) та в Запорізькій області (4 клас). За розрахунками, у місті Запоріжжя спостерігається високий індекс забруднення атмосферного повітря за п'ятьма пріоритетними речовинами. Основними хімічними компонентами, що потрапили в атмосферне повітря у 2020 році від стаціонарних джерел, це речовини у вигляді суспендованих твердих часток, діоксид та інші сполуки сірки, оксиди азоту, оксид вуглецю, метан та інші. Найбільша кількість викидів від стаціонарних джерел у 2020 році спостерігалася у Донецькій області – 750,9 тис. т, Дніпропетровській – 534,6 тис. т та Запорізькій області – 155,4 тис. т. Автори статті наголошують на подальшому дослідженні стану атмосферного повітря та прийнятті необхідних управлінських рішень щодо вжиття відповідних природоохоронних заходів.

У роботах [6–8] зазначено, що контроль за станом атмосферного повітря є важливою ланкою системи моніторингу довкілля, адже надає інформацію щодо рівня забрудненості компонента, який першочергово та не опосередковано впливає на здоров'я людей. Згідно з розрахунками, проведеними авторами, аналіз відповідності потужності виробництва у місті Запоріжжі та рівнів КІЗА засвідчив, що за умов різкого падіння виробничих потужностей відбувається зменшення вмісту пріоритетних забруднюючих речовин. Проте КІЗА в зоні експозиції знаходиться на небезпечному рівні забруднення атмосферного повітря.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Постійне забруднення атмосферного повітря впливає на загальний стан здоров'я населення промислового міста. Мета роботи – визначення неканцерогенного ризику для здоров'я населення Заводського та Вознесенівського районів міста Запоріжжя за період 2019–2022 роки від забруднення атмосферного повітря газоподібними речовинами. Дослідження спрямовувалося на вирішення таких завдань: оцінити токсичність викидів та сформулювати перелік пріоритетних забруднюючих речовин атмосферного повітря, що характеризують вплив на здоров'я населення; розрахувати неканцерогенні ризику за коефіцієнтами та індексами безпеки (Н_Q, Н_I) для здоров'я експонованого населення, що зазнає впливу від забруднення атмосферного повітря промислового міста за період 2019–2022 роки.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження проводили відповідно до міжнародної

методології оцінки ризику для здоров'я населення (Human Health Risk Assessment), розроблену та рекомендовану Агентством США з охорони довкілля, яка передбачає проведення чотирьох взаємопов'язаних етапів: ідентифікації небезпеки, оцінки «доза-відповідь», оцінки експозиції та характеристики ризику [9]. У методиці подається така градація рівнів ризику розвитку неканцерогенних ефектів: надзвичайно високий ($HQ/NI > 10$, масові скарги, виникнення хронічних захворювань); високий ($HQ/NI = 5-10$, існує ризик розвитку несприятливих ефектів у більшій частині населення); середній ($HQ/NI = 1-5$, існує ризик розвитку шкідливих ефектів у особливо чутливих підгруп населення (неприпустимий для населення, допустимий для виробничих умов)); низький ($HQ/NI = 0,1-1,0$, ризик виникнення шкідливих ефектів є нехтувано малим); мінімальний ($HQ/NI \leq 0,1$, ризик виникнення шкідливих ефектів відсутній).

Також використовувалися санітарно-гігієнічні (для оцінки забруднення атмосферного повітря шкідливими хімічними речовинами), аналітичні (оцінка токсичності речовин), математичні (ймовірнісна оцінка для розрахунків рівнів ризику для здоров'я експонованого населення) методи дослідження.

Сценарій та характеристика впливу забруднюючих речовин, обраних для умов Заводського та Вознесенівського районів, представлена в табл. 1.

З метою створення формуляру пріоритетних потенційно шкідливих хімічних сполук від промислових підприємств спочатку склали максимально повний список всіх хімічних речовин, здатних впливати на людину на досліджуваній території. Зокрема, враховувалися такі критерії вибору пріоритетних забруднюючих речовин: оцінка токсичності забруднюючих речовин, здатних впливати на здоров'я населення; аналіз даних відносно параметрів небезпеки та залежностей «доза-відповідь» (референтні

концентрації; фактори канцерогенного потенціалу; чинні вітчизняні нормативи: гранично допустимі концентрації максимально разові та середньодобові (ГДКм.р., ГДКс.д.), орієнтовно безпечні рівні впливу (ОБРВ)); оцінка спрямованості впливу на органи та системи людського організму.

Зважаючи на критерії відбору пріоритетних забруднюючих речовин, що викидають в атмосферне повітря стаціонарні джерела промислових підприємств, було сформовано перелік пріоритетних забруднюючих речовин за чотири роки (2019–2022 рр.), необхідних для проведення подальших досліджень з оцінки ризику для здоров'я населення. У переліку – 8 хімічних сполук, з яких до 2 класу небезпеки (високонебезпечні речовини) відносяться – сірководень, фенол, формальдегід, сірковуглець; до 3 класу небезпеки – азоту діоксид, ангідрид сірчистий, завислі речовини, до 4 класу небезпеки – вуглецю оксид [10].

Усереднені рівні річних концентрацій забруднюючих речовин за 2019–2022 рр., які формують експозиційні навантаження на здоров'я населення Заводського та Вознесенівського районів міста Запоріжжя, було надано ДУ «Запорізький обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України». На основі розрахованих рівнів експозиції були означені характеристики ризиків для Заводського та Вознесенівського районів від забруднення атмосферного повітря, обумовлені викидами промислових підприємств, що мали неканцерогенні ризики, зокрема, коефіцієнти небезпеки для окремих речовин (HQ), індекси небезпеки для сукупності речовин та сумарні індекси небезпеки (NI).

Викладення основного матеріалу. Результати розрахунків коефіцієнтів небезпеки під час оцінки інгалаційних впливів викидів забруднюючих речовин від промислових підприємств у досліджуваних районах м. Запоріжжя за 2019–2022 рр. свідчать про наявність перевищень безпечних рівнів ($HQ > 1$), зокрема: для пилу та формальдегіду – на високому рівні; ангідриду сірчистого, діоксиду азоту, фенолу, сірководню – середньому рівні; оксиду вуглецю – низькому рівні; сірковуглецю – мінімальному рівні.

Результати розрахунків коефіцієнтів небезпеки у Заводському районі за 2019–2022 роки наведено в табл. 2 та на рис. 1, у Вознесенівському районі – в табл. 3 та на рис. 2. З таблиць видно, що найбільший внесок у забруднення атмосферного повітря міста Запоріжжя здійснюють викиди пилу ($HQ = 5,18 \div 7,6$) та формальдегіду ($HQ = 4,96 \div 10,25$), показник коефіцієнта небезпеки таких речовин за досліджуваний період знаходиться на високому рівні, що призводить до скарг та ризику розвитку несприятливих ефектів у більшій частині населення промислового міста. З таблиць видно, що неканцерогенний ризик для здоров'я населення від хронічного впливу зважених речовин, формальдегіду, ангідриду сірчи-

Таблиця 1

Сценарій і маршрут впливу забруднюючих речовин

Елементи аналізу експозиції	Характеристика експозиції
Агенти	хімічні забруднюючі речовини
Джерела	викиди підприємств в атмосферне повітря від стаціонарних організованих джерел
Шлях впливу	інгалаційний (дихання повітрям)
Тривалість експозиції	неканцерогенні ефекти
Географічне охоплення	Заводський та Вознесенівський райони м. Запоріжжя
Період оцінки	2019–2022 роки
Тип впливу за часом контакту	хронічний

Таблиця 2

Порівняння розрахунків коефіцієнтів небезпеки по Заводському районі

№	Назва речовини	Н _Q , Заводський район			
		2019	2020	2021	2022
1	Зважені речовини	7,6	5,18	7,37	7,53
2	Ангідрид сірчистий	2,6	2,25	2,54	3,25
3	Діоксид азоту	2,7	2,6	4,94	3,08
4	Фенол	2,5	1,83	2,58	2,09
5	Формальдегід	5,00	7,33	5,75	10,25
6	Вуглецю оксид	1,01	0,69	0,97	0,99
7	Сірководень	6,00	5,50	4,49	4,88
8	Сірковуглець	0,06	0,05	0,06	0,07

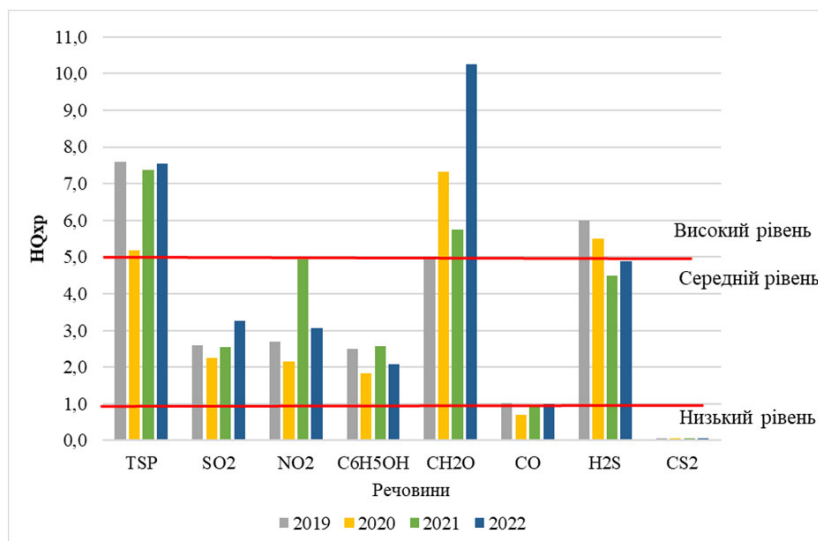


Рис. 1. Середні значення коефіцієнтів небезпеки при оцінці хронічних інгаляційних впливів викидів забруднюючих речовин у Заводському районі

Таблиця 3

Порівняння розрахунків коефіцієнтів небезпеки по Вознесенівському районі

№	Назва речовини	Н _Q , Вознесенівський район			
		2019	2020	2021	2022
1	Зважені речовини	7,53	6,99	7,22	6,87
2	Ангідрид сірчистий	2,51	1,59	2,37	2,03
3	Діоксид азоту	3,61	2,45	3,62	1,65
4	Фенол	2,13	1,35	2,08	1,52
5	Формальдегід	4,96	7,23	7,54	5,83
6	Вуглецю оксид	1,00	0,93	1,02	0,82
7	Сірководень	4,30	4,67	4,38	3,83
8	Сірковуглець	0,06	0,05	0,07	0,07

стому збільшився з 2019 по 2022 роки, ризик від дії сірководню зменшився.

Річні середні значення індексів небезпеки при оцінці хронічних інгаляційних впливів викидів забруднюючих речовин від промислових підприємств у період 2019–2022 рр. у Заводському та Вознесенівському районах міста Запоріжжя перевищують допустимі рівні ризиків (рис. 3, рис. 4). Найшкідливіший вплив забруднюючих речовин спостерігається на органи дихання (надзвичайно висо-

кий рівень НІ = 24÷31), серцево-судинну систему (високий рівень НІ = 5÷10), додаткову смертність (високий рівень НІ = 7÷10), вроджені дефекти розвитку (високий рівень НІ = 5÷8,7), органи зору (високий рівень, НІ = 7÷12), імунну систему (високий рівень, НІ = 5÷10). Безпосередня близькість промислових підприємств до селітебної зони призводить до масових скарг населення та спричинює розвиток хронічних захворювань. Вплив на центральну імунну систему (НІ = 2÷3,6), кров

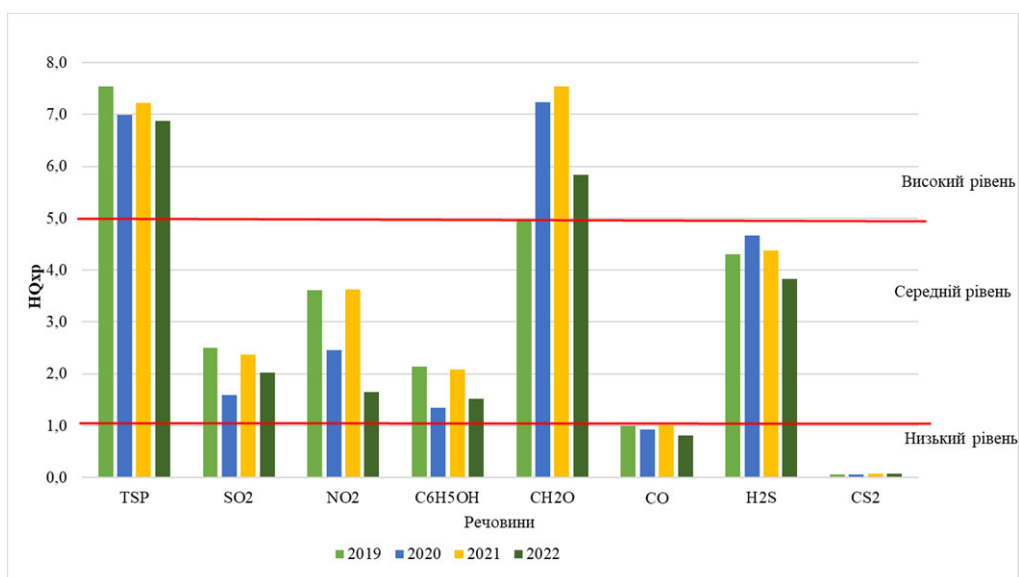


Рис. 2. Середні значення коефіцієнтів небезпеки при оцінці хронічних інгаляційних впливів викидів забруднюючих речовин у Вознесенівському районі

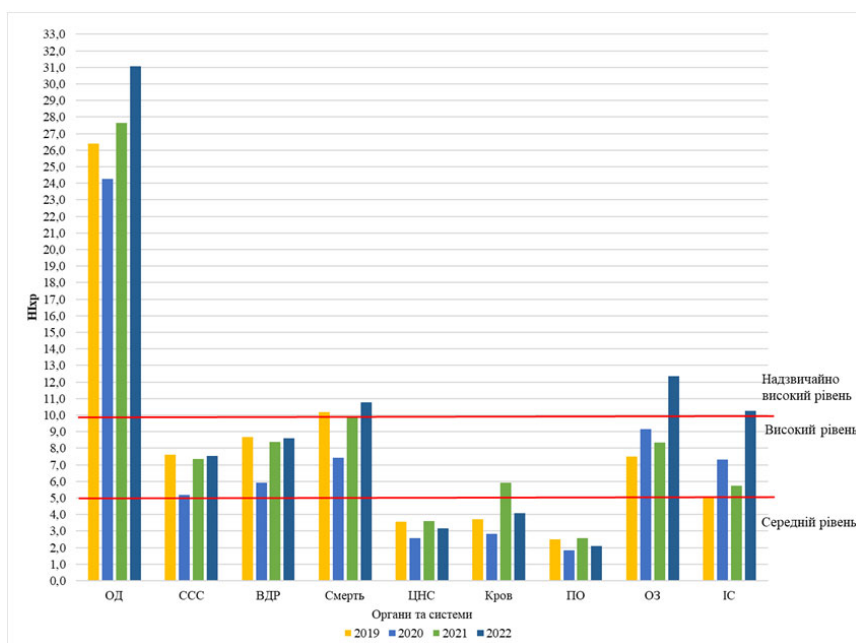


Рис. 3. Середні значення індексів небезпеки під час оцінки хронічних інгаляційних впливів викидів забруднюючих речовин від промислових підприємств у період 2019–2022 рр. у Заводському районі міста Запоріжжя

(HI = 2,5÷6) та паренхіматозні органи (HI = 1,3÷2,6) знаходиться на середньому рівні, що призводить до розвитку шкідливих ефектів у особливо чутливих підгруп населення.

Результати розрахунків сумарних індексів небезпеки, одержаних під час оцінки хронічних інгаляційних впливів викидів забруднюючих речовин (рис. 5) від промислових підприємств, свідчать про наявність перевищень безпечних рівнів (HI > 1) та знаходяться на досить високому рівні у 2019–2022 рр:

у Заводському районі: 2019 р. – HI = 27,48, 2020 р. – HI = 24,99, 2021 р. – HI = 28,69, 2022 р. – HI = 32,14;

у Вознесенівському районі: 2019 р. – HI = 26,11, 2020 р. – HI = 25,25, 2021 р. – HI = 28,31, 2022 р. – HI = 22,62.

Висновки. У Заводському та Вознесенівському районах м. Запоріжжя спостерігаються скарги та прояви хронічних захворювань у населення. Високий рівень ризику зумовлений особливостями

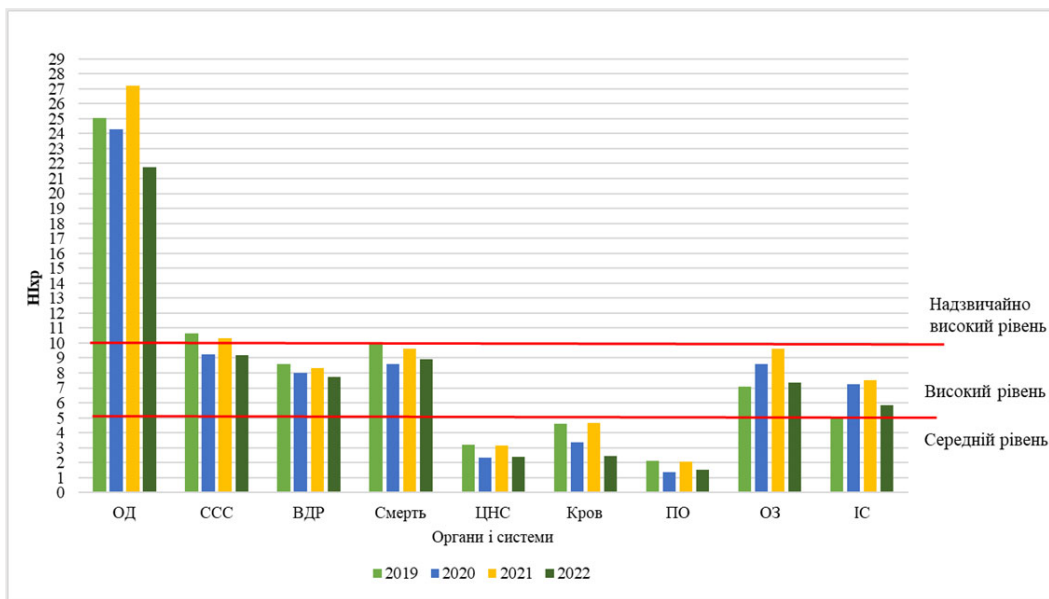


Рис. 4. Річні середні значення індексів небезпеки під час оцінки хронічних інгаляційних впливів викидів забруднюючих речовин від промислових підприємств у період 2019–2022 рр. у Вознесенівському районі міста Запоріжжя

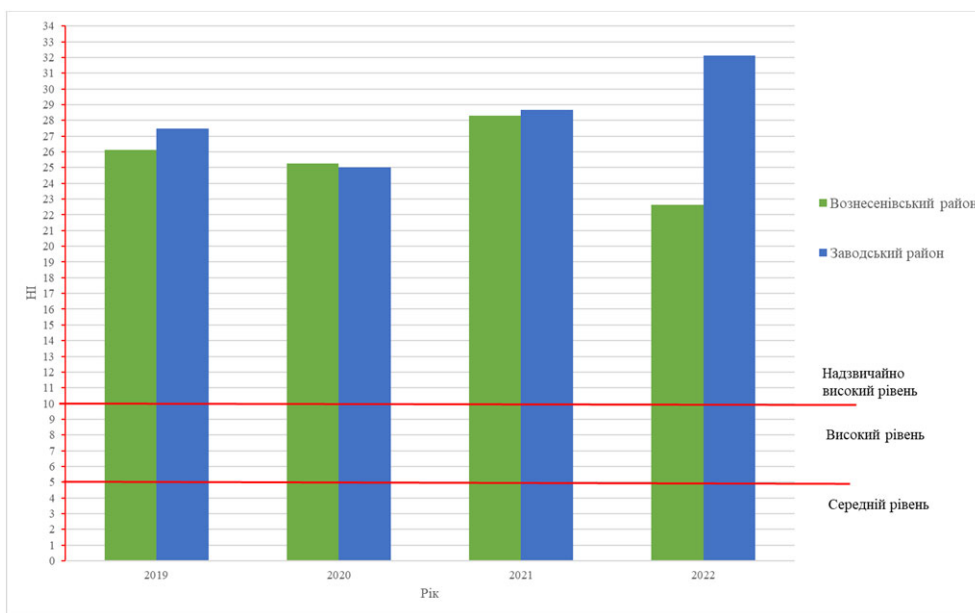


Рис. 5. Середні значення індексів небезпеки під час оцінки хронічних інгаляційних впливів викидів забруднюючих речовин від промислових підприємств у Заводському та Вознесенівському районах міста Запоріжжя за 2019–2022 роки

функціонального зонування міста, а саме: локальною зосередженістю металургійних підприємств та приляганням житлової забудови до промислової зони. Щоб запобігти розвитку такої ситуації слід впроваджувати комплекси заходів спрямованих на зменшення кількості забруднюючих речовин в атмосферному повітрі міста. На незадовільну якість повітря регіону впливає відсутність у металургійній галузі методів ефективноної очистки великих обсягів забруднених газів та моніторингу з використанням авто-

матичних датчиків викидів забруднюючих речовин. Впровадження автоматизованих методів постійного контролю та моніторингу дасть змогу швидкого реагування органів державного контролю на випадки понаднормативного надходження забруднюючих речовин у атмосферне повітря цілодобово в різні пори року.

Основні рішення щодо управління ризиком, спираючись на його оцінку, треба зосередити на таких напрямках:

– створення нового вектору у природоохоронній роботі для міста Запоріжжя – концентрація зусиль на тих екологічних заходах, що дозволяють мінімізувати ризик для здоров'я населення;

– розробка та впровадження системи профілактичних заходів щодо зниження ризику для різних груп населення, які мешкають у зоні підвищеного ризику. Доцільно у діючих програмах передбачити природоохоронні заходи для тих підприємств, забруднюючих

речовин та джерел, що утворюють неприйнятний рівень ризику для різних груп населення;

– визначення рівня вартості завданих збитків здоров'ю населення, економічне обґрунтування шкоди, що завдається як здоров'ю населення, так і навколишньому природному середовищу в цілому;

– безперервний (фоновий) моніторинг стану повітря на вулицях, що зазнають впливу від стаціонарних джерел.

Література

1. Федорченко Р.А. Гігієнічна оцінка та профілактика впливу атмосферних забруднень на населення у мегаполісі металургійної галузі : дис. На здобуття наукового ступеня к. мед. Наук : 14.02.01. Запоріжжя. 2016. 189 с.
2. Черниченко І.О., Баланко Н.В., Цимбалюк С.М., Остах О.М. Про можливі механізми впливу атмосферних забруднень формальдегідом на формування захворюваності населення на рак щитоподібної залози. *Довкілля та здоров'я*. 2016. № 2. С. 9–13.
3. Белоконь К.В., Манідіна Є.А., Куранова Я.О. Дослідження впливу викидів металургійних підприємств на забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя. *Металургія*. 2018. Вип. 1 (39). С. 136–140.
4. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Запорізькій області у 2021 році. Запоріжжя : Запорізька обласна державна адміністрація, 2022. 240 с.
5. Рибалова О.В., Артем'єв С.Р., Бригада О.В., Ільїнський О.В., Чорнс К.Є. Ймовірність виникнення захворювань внаслідок забруднення атмосферного повітря. *The scientific heritage*. 2023. № 110. С. 23–31.
6. Пірогова І., Веремеєнко Г., Янько С. Якість атмосферного повітря за 1 півріччя 2022 м. Запоріжжя [Аналітична записка]. Запоріжжя : Департамент захисту довкілля Запорізької обласної адміністрації, 2022. 20 с.
7. Белоконь К. В., Пірогова І. М. Аналіз та оцінка рівня забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2021. Т. 1. № 38. С. 149–158.
8. Bielokon K. V., Pirohova I. M., Hordiienko D. R. Analysis Of The State Of Air Pollution In Industrial Cities Of Ukraine During The War Period (On The Example Of Zaporizhzhia City). В кн.: *Scientific and educational dimensions of natural sciences* Riga: Baltija Publishing. 2023 С. 276–296.
9. Integrated Risk Information System (IRIS) : [Електронний ресурс] / U. S. Environmental Protection Agency (EPA). Режим доступу: <http://www.epa.gov/iris>
10. Белоконь К.В., Тулушев Є.О. Аналіз впливу технологій промислових підприємств та автотранспорту на стан екологічної безпеки атмосферного повітря (на прикладі м. Запоріжжя). Монографія. Запоріжжя : ВД «Гельветика», 2020. 230 с.