

## ON THE ISSUE OF REVISING THE REGULATORY FRAMEWORK FOR CHEMICAL CARCINOGENS IN THE AIR ACCORDING TO THE RISK CRITERION

Chernychenko I.O., Lytvychenko O.M., Babii V.F., Harkavyi S.I., Balenko N.V., Kondratenko O.Ye., Hlavachek D.O.

### ДО ПИТАННЯ ПЕРЕГЛЯДУ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ХІМІЧНИХ КАНЦЕРОГЕНІВ У ПОВІТРЯНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ЗА КРИТЕРІЄМ РИЗИКУ

<sup>1</sup>ЧЕРНИЧЕНКО І.О.,  
<sup>1</sup>ЛИТВИЧЕНКО О.М.,  
<sup>1</sup>БАБІЙ В.Ф.,  
<sup>2</sup>ГАРКАВИЙ С.І.,  
<sup>1</sup>БАЛЕНКО Н.В.,  
<sup>1</sup>КОНДРАТЕНКО О.Є.,  
<sup>1</sup>ГЛАВАЧЕК Д.О.

<sup>1</sup>ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ  
<sup>2</sup>Національний медичний ун-т ім. О.О.Богомольця, Київ, Україна

**Н**езважаючи на певні успіхи клінічної медицини у боротьбі з онкологічними хворобами пріоритетними залишаються питання їх профілактики. Нині вже ні у кого не викликає сумніву роль канцерогенних чинників довкілля та умов життєдіяльності людини у формуванні онкологічної захворю-

ваності, показники якої невинно зростають. Так, 2013 року у світі від злоякісних пухлин померло близько 8 млн. людей та виявлено 14,9 млн. нових випадків раку, тоді як ще 2000 р. ці показники становили 6,0 та 10,0 млн. відповідно [1]. За прогнозами фахівців, 2035 року буде реєструватися вже понад 24,0 млн. нових випадків захворювань [2].

ДО ПИТАННЯ ПЕРЕГЛЯДУ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ХІМІЧНИХ КАНЦЕРОГЕНІВ У ПОВІТРЯНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ЗА КРИТЕРІЄМ РИЗИКУ

<sup>1</sup>Черниченко І.О., <sup>1</sup>Литвиченко О.М.,  
<sup>1</sup>Бабій В.Ф., <sup>2</sup>Гаркавий С.І.,  
<sup>1</sup>Баленко Н.В.,  
<sup>1</sup>Кондратенко О.Є., <sup>1</sup>Главачек Д.О.  
<sup>1</sup>ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ, Україна

**Мета роботи** полягала в аналізі небезпеки внесених до вітчизняних нормативних баз канцерогенних речовин у населених місцях та виробничих зонах відповідно до міжнародних кваліфікаційних стандартів та визначенні рівня безпечності діючих гігієнічних нормативів для людини за специфічним онкогенним критерієм шкідливості.

**Матеріали та методи.** У роботі використано бібліосемантичний, бібліографічний та гігієнічний методи дослідження. Результати отримано на підставі збору та аналізу даних щодо хімічних канцерогенних сполук, небезпечних для людини, за матеріалами міжнародних директив, вітчизняних та закордонних нормативних баз. Для оцінки небезпеки окремих речовин та гігієнічних нормативних рівнів визначено показники канцерогенного ризику.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Проведено аналіз національних та міжнародних баз даних щодо канцерогенних сполук, оцінки їхніх фізико-хімічних властивостей, дозо-ефектної реакції

та наслідків впливу на здоров'я. Показано, що нині найбільш визнаною і поширеною є база Міжнародного агентства з вивчення раку, в якій на основі критичного аналізу експериментальних та епідеміологічних даних понад 1000 хімічних чинників проведено класифікацію їх за ступенем доведеної канцерогенної небезпеки для людини, гігієнічним виразом якої є канцерогенний ризик.

Аналіз вітчизняних баз гігієнічних нормативів допустимого вмісту хімічних речовин показав, що лише для 131 канцерогенної речовини обґрунтовано ГДК у повітряному середовищі, однак за критерієм канцерогенного ризику більшість з них не відповідає вимогам ЄС та світових практик, що свідчить про необхідність їх перегляду.

Наголошено, що одним з доступних і адекватних методів зазначеного завдання є принцип, закладений у визначенні залежності «концентрація – ризик (прийнятний ризик)».

**Висновки.** Показано, що за критерієм канцерогенного ризику гігієнічні нормативи більшості канцерогенних речовин, внесених до вітчизняних нормативних баз повітряного середовища, не відповідають вимогам ЄС та світових практик, що свідчить про необхідність їх перегляду на основі прийнятного ризику.

**Ключові слова:** хімічні канцерогени, повітряне середовище, нормативні бази, гігієнічні нормативи, канцерогенний ризик.

© Черниченко І.О., Литвиченко О.М., Бабій В.Ф., Гаркавий С.І., Баленко Н.В., Кондратенко О.Є., Главачек Д.О. СТАТТЯ, 2022.

Згідно з останніми оцінками ВООЗ різних локалізацій раку у 185 країнах світу число нових випадків захворюваності 2018 року становило 18,1 млн., а вже 2030 р. розвиток раку прогнозується на рівні 24,1 млн., 2040 р. – 29,5 млн. випадків [3, 4].

Аналогічні процеси спостерігаються в Україні. За даними Національного Канцер-реєстру України, загальна онкологічна захворюваність у країні за останні 20 років зростає майже в 1,4 рази [5].

Загалом, на думку експертів Міжнародного агентства з вивчення раку (МАВР), майже 80% усіх злоякісних новоутворень пов'язано з впливом канцерогенних чинників довкілля, побуту та виробництва [6, 7]. На цій підставі фахівці з питань детермінації раку, пов'язаного з навколишнім середовищем та професійною діяльністю, учасники Міжнародної конференції ВООЗ (Астурія, Іспанія, 17-18 березня 2011 р.) у своїй декларації наголосили, що більшість онкологічних захворювань, обумовлених екологічними та виробничими факторами, можна попередити.

При цьому особливий наголос зроблено на первинній профілактиці, спрямованій на недопущення впливу на організм канцерогенонебезпечних чинників та їхніх модифікаторів. Такі заходи донині залишаються єдиним та найбільш ефективним засобом попередження онкологічних захворювань [8].

Нині на основі експериментальних досліджень та епідеміологічних спостережень доведено канцерогенні властивості понад тисячі чинників різної природи. При цьому з часом їх число, як і різноманіття, невпинно збільшується, і якщо до недавнього часу у цьому переліку превалювали хімічні речовини, то наразі це стосується також фізичних та біологічних факторів.



## ПРОБЛЕМИ ГІГІЄНИЧНОГО НОРМУВАННЯ

Для організації боротьби з впливом канцерогенних факторів на організм науковці багатьох країн, у тому числі українські, намагалися систематизувати наявні дані щодо окремих чинників за ступенем небезпеки для людини, де найбільш поширеним критерієм безпечності дії окремих чинників є гранично допустимі концентрації/доза.

Однак, на жаль, гігієнічні нормативи канцерогенних речовин в окремих об'єктах довкілля характеризуються різним ступенем обґрунтованості. Передусім це стосується вибору критеріального показника з визначення допустимого рівня, що особливо характерно для української нормативної бази, зокрема величин стандартів допустимого вмісту хімічних сполук в атмосферному повітрі населених місць. Для багатьох речовин у даному випадку гігієнічні нормативи канцерогенних речовин обґрунтовано за токсичним критерієм шкідливості без урахування специфічних онкогенних властивостей. Водночас, як відомо, специфічні ефекти проявляються у процесі виявлення залежності «доза-ефект» на більш низькому рівні.

З урахуванням зазначеного **мета** даної роботи полягала в аналізі небезпеки канцерогенних речовин населених місць та виробничої зони, внесених до вітчизняних нормативних баз, відповідно до міжнародних кваліфікаційних стандартів та визначенні рівня безпечності діючих гігієнічних нормативів для людини за специфічним онкогенним критерієм шкідливості.

**Матеріали та методи.** У роботі використано бібліосемантичний, бібліографічний та гігієнічний методи дослідження. Результати отримано на підставі збору та аналізу даних щодо хімічних канцерогенних сполук, небезпечних для людини, за матеріалами міжнародних Директив, вітчизняних нормативних баз [9-11] та бази МАВР. Для оцінки небезпеки окремих речовин та гігієнічних нормативних рівнів визначено показники ризику за рекомендованими методичними документами [12].

**Результати дослідження та їх обговорення.** У процесі аналітичного розгляду національних та міжнародних баз даних щодо канцерогенних сполук було виокремлено ті, що містять дані щодо канцерогенонебезпечних чинників, переважна більшість яких пов'язана з Американським Агентством з охорони навколишнього середовища (US EPA). Це база даних щодо канцерогенної активності 1547 хімічних сполук, накопичених за період від 1980 по 2011 рік. Вона містить результати 1540 експериментальних досліджень, виконаних Національним інститутом раку та Національною токсикологічною програмою на різних видах тварин. Матеріали бази широко використовуються у процесі оцінки ризику розвитку раку у людини. Однак, на жаль, з 2012 року ця база не оновлюється.

Другою популярною базою, яка містить дані щодо хімічних речовин, у тому числі тих, з якими пов'язують розвиток раку та прояв репродуктивної ток-

сичності, визнається Каліфорнійське агентство з охорони довкілля.

IRIS – інтегрована система інформації про ризики Агентства з охорони довкілля США – нині є програмою оцінки наслідків впливу хімічних канцерогенів для здоров'я і стосується ідентифікації небезпеки і оцінки дозо-ефектної реакції для понад 500 хімічних сполук.

База Європейської комісії ЄС містить дані щодо класифікації канцерогенів, позначених в Європейській директиві з оцінки небезпечних речовин, які поділено на 3 категорії: речовини, відомі як канцерогени для людини; речовини, які розглядаються як канцерогенонебезпечні для людини; речовини, що можуть бути небезпечними для людини.

Данська база даних (Q) SAR охоплює оцінку 166072 хімічних речовин за більш ніж 70 моделями, які оцінюють фізико-хімічні властивості сполук: екотоксичність, токсичність, канцерогенність, абсорбційну спроможність, метаболізм.

База даних International Toxicity Estimates for Risk (ITER) – безкоштовна Інтернет-база даних щодо показників ризику для здоров'я людей понад 600 хімічних речовин, що ідентифікуються у довкіллі.

Інформаційна система досліджень хімічного канцерогенезу (CCRJS) є файлом токсикологічних даних На-

ціональної бібліотеки США. Це науково обґрунтований реферативний банк даних, розроблений Національним Інститутом раку США (NCI). Він містить понад 9000 характеристик речовин, отриманих за результатами тестування на канцерогенність, мутагенність, стимулювання росту та інгібування пухлин; складовою бази є дані, висвітлені у провідних журналах, звітах NCI тощо.

Загальний аналіз зазначених та деяких інших баз наведено в огляді 2017 року [13]. При цьому, не применшуючи науково-практичної значимості представлених вище баз, важливо визнати, що нині найбільш визнаною і поширеною є база даних МАВР, яка ґрунтується на критичному аналізі експериментальних та епідеміологічних даних щодо канцерогенної активності понад 1000 хімічних речовин, сумішей, виробничих процесів та природних факторів, канцерогенних для людини [14].

За ініціативи МАВР ще 1969 року було розроблено програму з оцінки канцерогенної небезпеки хімічних сполук для людини, а з 1972 р. розпочато публікації монографічних видань з узагальненням результатів епідеміологічних та експериментальних досліджень канцерогенної активності хімічних речовин, механізмів їхньої дії, а також висновки експертів МАВР щодо не-

безпеки для людини. На сьогодні опубліковано по-над 120 видань, що містять інформацію про окремі речовини, виробничі процеси та природні фактори [7].

Згідно з класифікацією МАВР усі канцерогенні чинники поділяються на 4 групи.

До першої групи відносять речовини і фактори, які є безумовно канцерогенними для людини. Обов'язковою умовою включення фактора до цієї групи, на думку експертів, мають бути епідеміологічні докази причинного зв'язку між його впливом і розвитком раку.

До другої групи відносять речовини, які експертами МАВР розглядаються як ймовірні канцерогени для людини. Ця група, у свою чергу, поділяється на 2 підгрупи – 2А і 2В. До групи 2А увійшли агенти з високим ступенем ймовірності онкогенного впливу на здоров'я людини – наявні докази мають певні обмеження для людини, але переконливо засвідчують їхню канцерогенність для тварин.

Агенти групи 2В, за висновками експертів МАВР, це – речовини і фактори, які ймовірно викликають рак у людини. Наявні дані щодо їхньої канцерогенності для людини є обмеженими або неадекватними за відсутності переконливих доказів на тваринах.

До групи 3 належать агенти, які на підставі наявних даних не можуть бути класифікованими як канце-

Таблиця 1

### Класифікація МАВР канцерогенонебезпечних чинників за критерієм небезпеки для людини

Роки спостережень	Групи, кількість чинників					Загалом оцінено
	безумовно канцерогенні для людини	ймовірно канцерогенні для людини	вірогідно канцерогенні для людини	не кваліфікуються як канцерогенні для людини	не канцерогенні для людини	
2002	74	57	225	480	1	837
2007	101	69	245	516	1	932
2012	107	59	267	508	1	942
2015	118	75	288	503	1	985
2017	120	81	299	502	1	1003
2019	120	82	311	500	1	1014
2021 (23.03)	121	89	319	503	1	1033
2021 (12.11)	121	90	323	498	1	1033

ON THE ISSUE OF REVISING  
THE REGULATORY FRAMEWORK  
FOR CHEMICAL CARCINOGENS IN THE AIR  
ACCORDING TO THE RISK CRITERION

<sup>1</sup>Chernyuchenko I.O., <sup>1</sup>Lytvychenko O.M.,  
<sup>1</sup>Babii V.F., <sup>2</sup>Harkavyi S.I., <sup>1</sup>Balenko N.V.,  
<sup>1</sup>Kondratenko O.Ye., <sup>1</sup>Hlavachek D.O.

<sup>1</sup>SI «O.M. Marzieiev Institute for Public  
Health, National Academy of Medical  
Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National O.O. Bohomolets Medical  
University, Kyiv, Ukraine

**The aim of the work** was to analyze the risk of carcinogenic substances in populated areas and industrial zone, included in domestic regulatory frameworks, in accordance with international qualification standards, and to determine the safety level of existing hygienic standards for humans by specific oncogenic hazard criteria.

**Materials and methods:** Bibliosemantic, bibliographic and hygienic research methods was used in the work. The results were obtained on the basis of collection and analysis of data on chemical carcinogenic compounds that are dangerous to humans, according to international directives, domestic and foreign regulatory frameworks. Carcinogenicity indicators was identified to assess the hazards of certain substances and hygienic regulatory levels.

**Research results and their discussion:**

The analysis of national and international databases on carcinogenic compounds, assessment of their physicochemical proper-

ties, «dose-effect» response and health effects was carried out. It was shown that today the most recognized and widespread base of the International Agency for Research on Cancer, in which based on a critical analysis of experimental and epidemiological data of more than 1000 chemical factors, their classification was carried out according to the degree of evidence of carcinogenic hazard to humans, the hygienic expression of which is carcinogenic risk.

The analysis of domestic databases of hygienic standards for the permissible content of chemicals showed that only for 131 carcinogenic substances the MPC in the air is justified, however, according to the criterion of carcinogenic risk, most of them do not meet the requirements of the EU and world practices, which indicates the need for their revision. It is emphasized that one of the available and adequate methods of this task is the principle laid down in determining the relationship «concentration – risk (acceptable risk)».

**Conclusions:** It was shown that according to the criterion of carcinogenic risk, the hygienic standards of most carcinogenic substances included in domestic regulatory air bases do not meet the requirements of the EU and international practices, which indicates the need to revise them based on acceptable risk.

**Keywords:** chemical carcinogens, air environment, regulatory frameworks, hygienic standards, carcinogenic risk.

рогенні щодо людини, але для яких є докази канцерогенності для тварин.

4 група містить речовини, які ймовірно не є канцерогенонебезпечними для людини.

Не применшуючи важливість цієї класифікації, слід підкреслити її деяку умовність, пов'язану з характером і обсягом знань властивостей агентів на момент їх розгляду

Загальну класифікацію хімічних чинників за ступенем доведеної канцерогенної небезпеки для людини наведено у таблиці 1.

При розгляді кількісних змін чисельності канцерогенних сполук в окремих групах за 2002-2021 роки важливо відзначити їхню динамічність. Якщо загальна кількість розглянутих експертами МАБР канцероген-

нів за цей час зросла на 23,4%, то кількість сполук групи 3, які не кваліфікуються як небезпечні для людини у канцерогенному відношенні, залишилася майже на тому ж рівні. Водночас число агентів, безумовно канцерогенних для людини (група 1) та ймовірно і можливо канцерогенних (групи 2A та 2B), суттєво зросло, оскільки у міру отримання нових знань щодо окремих агентів спостерігається переміщення їх до інших груп. Наприклад, лише за період з березня по листопад 2021 року кількість агентів групи 3 зменшилася на 5 одиниць, які, умовно, проявилися у групах 2B (4 агенти) та 2A (1 агент).

Це підтверджує той факт, що класифікація канцерогенонебезпечних факторів на той чи інший період є ре-

зультатом знань на певний час і з появою нових даних щодо активності та механізмів дії вони можуть переходити до інших груп. Такий динамічний процес дозволяє передбачити, що практично усі чинники, в яких визначаються канцерогенні властивості, є небезпечними для людини.

Водночас усі чинники відмінні між собою за силою канцерогенної активності, яка характеризується показником їхнього канцерогенного потенціалу, гігієнічним виразом якого є канцерогенний ризик. Зрозуміло, що ця ознака має бути пріоритетною у процесі обґрунтування гігієнічних нормативів допустимого вмісту канцерогенів у середовищі життєдіяльності людини. А як це відбувається у дійсності?

Для відповіді на це питання проаналізовано вітчизняні бази гігієнічних нормативів допустимого вмісту хімічних речовин в атмосферному повітрі населених місць [10] та повітрі робочої зони [11], зосередивши увагу на канцерогенних сполуках. У результаті із загального переліку канцерогенів було виокремлено 131 речовину, з яких для 53 обґрунтовано ГДК для атмосферного повітря населених місць та для 78 – для повітря робочої зони. За критерієм активності та ступенем доведеності небезпеки для людини 28 сполук віднесено експертами МАВР до групи 1, 32 – до групи 2А та 71 – до 2В.

Щодо якості обґрунтованості гігієнічних нормативів, то лише для 7 сполук (бенз/а/пірен, дибенз/а, h/антрацен, N-нітрозодиметиламін, берилій, вінілхлорид, свинець, формаль-

дегід) при обґрунтуванні нормативу критеріальним показником шкідливості був специфічний канцерогенний ефект, тоді як для решти – тільки показники токсичності.

Отже, визначені нині гігієнічні стандарти канцерогенів не є достатньо обґрунтованими з точки зору їхньої канцерогенності для людини. Підтвердженням такої думки є показник канцерогенного ризику, визначений нами для низки канцерогенних сполук (табл. 2, 3).

Наведені у таблицях показники канцерогенного ризику окремих сполук коливаються у широких межах, однак чітко простежується наявність більш низьких рівнів ризику для речовин, гігієнічні нормативи яких обґрунтовано за канцерогенною ознакою шкідливості ( $10^{-4}$ - $10^{-6}$ ), тоді як для інших сполук канцероген-

ний ризик впливу коливається у межах  $10^{-1}$ - $10^{-4}$ .

Іншими словами, за впливу речовин першої групи існує вірогідність розвитку одного випадку раку у популяції чисельністю від 10000 ( $10^{-4}$ ) до 1000000 ( $10^{-6}$ ), тоді як для речовин другої групи – у популяції чисельністю від 10 ( $10^{-1}$ ) до 10000 ( $10^{-4}$ ) осіб, що є надзвичайно високим для суспільства.

Оцінка ризику концентрацій канцерогенних речовин на рівні ГДК, представлених у вітчизняній нормативній базі, за Міжнародною кваліфікаційною шкалою (табл. 4) засвідчує, що лише для 8 з них рівень канцерогенного ризику може розглядатися як прийнятний, для 9 – неприйнятний як для атмосферного повітря населених місць, так і повітря робочої зони, для 7 – неприйнятний для повітря робочої зони.

Дані проведених аналітичних досліджень з використанням вітчизняних та міжнародних нормативних та кваліфікаційних баз засвідчують необхідність перегляду вітчизняних гігієнічних стандартів канцерогенних речовин повітряного середовища відповідно до міжнародних вимог. На нашу думку, найбільш доступним є шлях прийнятих та опрацьованих за кордоном практик нормування за критерієм прийнятного ризику. Результати динамічного вирішення зазначеного питання у гігієнічній практиці з використанням нових знань та міжнародного досвіду будуть висвітлюватися нами у наступних публікаціях.

На завершення не можна не виокремити для подальшої розробки ще одне питання теоретичного спрямування, яке впливає з розгляду аналітики вимірювання концентрацій сполук у повітряному середовищі на рівні ГДК з показником прийнятного ризику. Це питання певною мірою перегукується з проблемою пороговості дії канцерогенних речовин. Легко передбачити,

Таблиця 2

### Канцерогенний ризик концентрації сполук на рівні ГДК атмосферного повітря

Сполука	Група за класифікацією МАВР	ГДК для атмосферного повітря, мг/м <sup>3</sup>	Ризик концентрації на рівні ГДК
Акрилонітрил	2В	0,03	$2,1 \times 10^{-3}$
Бенз/а/пірен	1	0,000001	$1,1 \times 10^{-6}$
Бензол	1	0,1	$7,7 \times 10^{-4}$
Берилій	1	0,00001	$2,4 \times 10^{-5}$
1,3-бутадиєн	1	1,0	$3,0 \times 10^{-2}$
Дибенз/а, h/антрацен	2А	0,000005	$4,4 \times 10^{-6}$
Епіхлоргідрин	2А	0,2	$2,4 \times 10^{-4}$
Етилбензол	2В	0,02	$2,2 \times 10^{-5}$
Етиленоксид	1	0,03	$3,0 \times 10^{-3}$
Кадмій	1	0,0003	$5,4 \times 10^{-4}$
Кобальт	2В	0,001	$2,8 \times 10^{-3}$
Миш'як	1	0,003	$1,3 \times 10^{-2}$
Нікель	1	0,001	$2,4 \times 10^{-4}$
Нітрозодиметиламін	2А	0,00005	$7,0 \times 10^{-4}$
Нітрозодіетиламін	2А	0,000015	$6,4 \times 10^{-4}$
Пропілену оксид	2В	0,08	$3,0 \times 10^{-4}$
Свинець	2В	0,0003	$3,6 \times 10^{-6}$
Стирол	2А	0,002	$1,1 \times 10^{-6}$
Тетрахлоретилен	2А	0,06	$3,4 \times 10^{-5}$
Тетрахлорметан	2В	0,7	$1,1 \times 10^{-2}$
Трихлоретилен	1	1,0	$1,8 \times 10^{-3}$
1,2,3-трихлорпропан	2А	0,05	$1,0 \times 10^{-1}$
Формальдегід	1	0,003	$3,9 \times 10^{-5}$
Хром VI	1	0,0015	$1,8 \times 10^{-2}$

що у практичній площині гігієнічні стандарти сполук на рівні прийняттого ризику можуть лежати у зоні надзвичайно малих рівнів, що може серйозно ускладнити можливість практичного контролю над їх вмістом, з одного боку, та можливістю їх регулювання за умов використання найбільш ефективних сучасних технологій з недопущенням їх утворення та надходження у довкілля, з іншого боку.

Отже, на нашу думку, практична реалізація поставлених питань з гармонізації вітчизняних гігієнічних нормативів допустимого вмісту канцерогенних речовин у повітряному середовищі потребує використання принципово нових методичних підходів у практиці гігієнічної науки. В узагальненому вигляді при обґрунтуванні гігієнічних стандартів слід визначити необхідність компромісного урахування трьох факторів – прийнятного ризику, можливості технологічного досягнення запропонованих концентрацій сполук та можливості їх вимірювання як основи моніторингу у повітряному середовищі.

**Висновки.** В Україні до переліку вітчизняних нормативних баз атмосферного повітря населених місць та повітря робочої зони нині включено показники ГДК 53 та 78 канцерогенних сполук відповідно з різним рівнем доведеності безпеки для людини. З них, за критеріями експертів МАВР, до 1-ї групи віднесено 28 сполук, до групи 2А – 32 та групи 2В – 71 сполука.

Показано, що за критерієм канцерогенного ризику гігієнічні нормативи більшості канцерогенних речовин не відповідають вимогам ЄС та світових практик. Розрахунок канцерогенного ризику для 24 пріоритетних речовин на рівні їхніх ГДК засвідчує: за Міжнародною кваліфікаційною шкалою канцерогенний ризик 9 сполук є неприйнятним як для атмосферного повітря населених

місць, так і повітря робочої зони, для 7 – неприйнятним для повітря робочої зони, лише для 8 відповідає рівню прийняттого ризику.

Зазначене свідчить про необхідність перегляду вітчизняної бази гігієнічних нормативів речовин з канцерогенними властивостями відповідно до вимог

ЄС та світових практик.

Висловлено припущення щодо необхідності у процесі перегляду нормативної бази канцерогенних речовин повітряного середовища компромісного урахування трьох факторів: прийнятного ризику, можливості технологічного досягнення запропонованих концентра-

Таблиця 3  
**Канцерогенний ризик концентрації сполук на рівні ГДК повітря робочої зони**

Сполука	Група за класифікацією МАВР	ГДК для повітря робочої зони, мг/м <sup>3</sup>	Ризик концентрації на рівні ГДК
Акрилонітрил	2В	0,5	3,2x10 <sup>-3</sup>
Бенз/а/пірен	1	0,00015	1,6x10 <sup>-5</sup>
Бензол	1	5,0	3,5x10 <sup>-3</sup>
Берилій	1	0,001	2,3x10 <sup>-4</sup>
1,3-бутадиєн	1	100,0	2,9x10 <sup>-1</sup>
Дибенз/а,н/антрацен	2А		
Епіхлоргідрин	2А	1,0	1,1x10 <sup>-3</sup>
Етилбензол	2В	50,0	4,9x10 <sup>-3</sup>
Етиленоксид	1	1,0	1,0x10 <sup>-2</sup>
Кадмій	1	0,01	1,7x10 <sup>-3</sup>
Кобальт	2В	0,01	2,6x10 <sup>-3</sup>
Миш'як	1	0,01	4,1x10 <sup>-3</sup>
Нікель	1	0,05	1,1x10 <sup>-3</sup>
Нітрозодиметиламін	2А	0,0005	6,8x10 <sup>-3</sup>
Нітрозодіетиламін	2А	0,00015	6,1x10 <sup>-4</sup>
Пропілену оксид	2В	1,0	7,3x10 <sup>-3</sup>
Свинець	2В	0,005	5,5x10 <sup>-6</sup>
Стирол	2А	10,0	5,2x10 <sup>-4</sup>
Тетрахлоретилен	2А	10,0	5,4x10 <sup>-3</sup>
Трихлоретилен	1	2,0	3,4x10 <sup>-3</sup>
Тетрахлорметан	2В	20,0	9,6x10 <sup>-4</sup>
1,2,3-трихлорпропан	2А	2,0	3,8x10 <sup>-1</sup>
Формальдегід	1	0,5	6,9x10 <sup>-4</sup>
Хром VI	1	0,01	1,1x10 <sup>-2</sup>

Таблиця 4  
**Класифікація рівнів ризику US EPA [14]**

Індивідуальний ризик за життя	Рівень ризику 2,1x10 <sup>-3</sup>
>10 <sup>-3</sup>	Високий – неприйнятний для виробничих умов і населення. Необхідно проведення заходів щодо зниження ризику
10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-4</sup>	Середній – допустимий для виробничих умов; за впливу на все населення необхідно здійснювати динамічний контроль та поглиблене вивчення джерел і можливих наслідків шкідливої дії для вирішення питання щодо заходів з управління ризиком
10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-6</sup>	Низький – допустимий ризик (рівень, на якому, як правило, встановлюють гігієнічні нормативи для населення)
<10 <sup>-6</sup>	Мінімальний – бажана (цільова) величина при проведенні оздоровчих та природоохоронних заходів

цій сполук та можливості їх вимірювання як основи мониторингування у повітряному середовищі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Naghavi M. The global burden of cancer 2013. *JAMA Oncology*. 2015. Vol. 1, № 4. P. 505-527.
2. Ferlay J., Soerjomataram I., Ervik M. et al. Cancer incidence and mortality worldwide. *International Journal of Cancer*. 2015. Vol. 136, № 5. P. 359-386.
3. WHO report on cancer: setting priorities, investing wisely and providing care for all. Geneva : World Health Organization, 2020. 160 p. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330745>
4. Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I. et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin*. 2019. Vol. 10 (17). P. 4054-4062. doi: 10.3322/caac.21492
5. Підбірка щорічних бюлетенів та інших публікацій Національного канцер-реєстру України. URL: <http://www.ncru.inf.ua/publications/index.htm>
6. World Cancer Report (ed. by B.W. Stewart, C.P. Wild). Lyon : JARC Press, 2020. 594 p.
7. JARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks to Humans. URL : <http://monographs.iarc.fr/>
8. Основные документы, сорок девятое издание (с поправками по состоянию на 31 мая 2019 г.). Женева : ВОЗ, 2020. URL: [https://apps.who.int/gb/bd/pdf\\_files/BD\\_49th-ru.pdf](https://apps.who.int/gb/bd/pdf_files/BD_49th-ru.pdf)
9. Про затвердження гігієнічного нормативу «Перелік речовин, продуктів, виробничих процесів, побутових та природних факторів, канцерогенних для людини». Державний гігієнічний норматив. Наказ МОЗ № 7 від 13.01.2006. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0100-06#Text>
10. Гігієнічні регламенти. Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць. Наказ МОЗ № 52 від 14.01.2020. URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=81980](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=81980)
11. Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 14.07.2020. № 1596. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text>
12. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. Методичні рекомендації. МР 2.2.12-142-2007. Київ, 2007. 39 с.
13. Valavonidis A. Environmental Carcinogenic Substances. Exposure and Risk Assessment for Carcinogenic Potential. Classifications and Regulations by International and National Institutions. 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/317823912\\_Environmental\\_Carcinogenic\\_Substances\\_Exposure\\_and\\_Risk\\_Assessment\\_for\\_Carcinogenic\\_Potential\\_Classification\\_and\\_Regulations\\_by\\_International\\_and\\_National\\_Institutions](https://www.researchgate.net/publication/317823912_Environmental_Carcinogenic_Substances_Exposure_and_Risk_Assessment_for_Carcinogenic_Potential_Classification_and_Regulations_by_International_and_National_Institutions)
14. Бази даних IRIS для оцінки ризику. URL: [https://iris.epa.gov/AtoZ/?list\\_type=erd](https://iris.epa.gov/AtoZ/?list_type=erd)

#### REFERENCES

1. Naghavi M. The Global Burden of Cancer 2013. *JAMA Oncology*. 2015 ; 1 (4) : 505-527.
2. Ferlay J., Soerjomataram I., Ervik M. et al. Cancer Incidence and Mortality Worldwide. *International Journal of Cancer*. 2015 ; 136 (5) : 359-386.
3. WHO Report on Cancer: Setting Priorities, Investing Wisely and Providing Care for All. Geneva : WHO; 2020 : 160 p. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330745>
4. Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I. et al. Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin*. 2019 ; 10 (17) : 4054-4062. doi: 10.3322/caac.21492
5. Pidbirka shchorichnykh biuleteniv ta inshykh publikatsii Natsionalnoho kantser-reiestru Ukrainy. [Collection of Annual Bulletins and Other Publications of the National Cancer Registry of Ukraine]. URL: <http://www.ncru.inf>. (in Ukrainian).
6. World Cancer Report (ed. by B.W. Stewart, C.P. Wild). Lyon : JARC Press; 2020 : 594 p.
7. JARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks to Humans. URL : <http://monographs.iarc.fr/>
8. Basic Documents: Forty-Ninth Edition (Including Amendments Adopted up to 31 May 2019). Geneva : WHO ; 2020. 244 p. URL: [https://apps.who.int/gb/bd/pdf\\_files/BD\\_49th-en.pdf](https://apps.who.int/gb/bd/pdf_files/BD_49th-en.pdf)
9. Pro zatverdzhennia hihiienichnoho normatyvu «Pereklik rehovyn, produktiv, vyrobnychykh protsesiv, pobutovykh ta pryrodnykh faktoriv, kantserohennykh dla liudyny». Derzhavnyi hihiienichniy normativ. Nakaz MOZ № 7 vid 13.01.2006. [About the Statement of the Hygienic Standard «The List of Substances, Products, Production Processes, Household and Natural Factors Carcinogenic to the Person». State Hygienic Standard. Order of the Ministry of Health № 7 of 13.01.2006]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0100-06#Text> (in Ukrainian).
10. Hihienichni rehlyamenty. Hranychno dopustymy kontsentratsii khimichnykh i biolohichnykh rehovyn v atmosfernomu povitri nase-lennykh mist. Nakaz MOZ № 52 vid 14.01.2020. [Hygienic regulations. Maximum permissible concentrations of chemical and biological

substances in the atmospheric air of populated areas. Order of the Ministry of Health № 52 of 01.14.2020]. URL: [http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=8198](http://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=8198) (in Ukrainian).

11. Pro zatverdzhennia hiihienichnykh rehlamenitiv dopustymoho vmistu khimichnykh i biolohichnykh rehovyn u povitri robochoi zony. Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy vid 14.07.2020. № 1596. [About the Statement of Hygienic Regulations of Admissible Maintenance of Chemical and Biological Substances in Air of a Working Zone. Order of the Ministry of Health of Ukraine of July 14, 2020 № 1596]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0741-20#Text> (in Ukrainian).

12. Otsinka ryzyku dlia zdorovia naselennia vid zabrudnennia atmosfernoho povitria. Metodichni rekomendatsii. MR 2.2.12-142-2007. [Assessment of Public Health Risk from Atmospheric Air Pollution. Guidelines 2.2.12-142 -2007]. Kyiv ; 2007 : 39 (in Ukrainian).

13. Valavonidis A. Environmental Carcinogenic Substances. Exposure and Risk Assessment for Carcinogenic Potential. Classifications and Regulations by International and National Institutions. 2017. URL: [https://www.researchgate.net/publication/317823912\\_Environmental\\_Carcinogenic\\_Substances\\_Exposure\\_and\\_Risk\\_Assessment\\_for\\_Carcinogenic\\_Potential\\_Classification\\_and\\_Regulations\\_by\\_International\\_and\\_National\\_Institutions](https://www.researchgate.net/publication/317823912_Environmental_Carcinogenic_Substances_Exposure_and_Risk_Assessment_for_Carcinogenic_Potential_Classification_and_Regulations_by_International_and_National_Institutions)

14. IRIS Databases for Risk Assessment. URL: [https://iris.epa.gov/Atoz/?list\\_type=erd](https://iris.epa.gov/Atoz/?list_type=erd)

Надійшло до редакції  
14.01.2022

УДК 614.71/72:351.777:616-053.2/5

<https://doi.org/10.32402/dokil2022.02.049>

## HUMAN HEALTH RISK ASSESSMENT AND SOCIAL COSTS FROM AIR POLLUTION BY INDUSTRIAL ENTERPRISES AND VEHICLES EMISSIONS

Turos O.I., Petrosian A.A., Maremukha T.P.,  
Morhulova V.V., Tsarenok T.V.

### ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ТА СОЦІАЛЬНІ ВТРАТИ НАСЕЛЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

ТУРОС О.І.,  
ПЕТРОСЯН А.А.,  
МАРЕМУХА Т.П.,  
МОРГУЛЬОВА В.В.,  
ЦАРЕНОК Т.В.

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ, Україна

3

а даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), забруднення атмосферного повітря є одним з провідних факторів ризику, з яким пов'язано 4,2 млн. смертей на рік, що становить близько 7,6% додаткових смертей у світі [1]. Останнім часом Україною було ратифіковано та імplementовано низку багатосторонніх міжнародних право-

#### ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ТА СОЦІАЛЬНІ ВТРАТИ НАСЕЛЕННЯ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ І АВТОТРАНСПОРТУ

Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П.,  
Моргульова В.В., Царенок Т.В.

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ, Україна

**Мета:** оцінка ризику для здоров'я і соціальних втрат населення від забруднення атмосферного повітря викидами промислових підприємств та автотранспорту.

**Матеріали та методи.** У дослідженні використано 7526 джерел викидів 37 різних за господарською діяльністю промислових підприємств та автотранспорту (46 ділянок автодоріг та 14 перехресть), розташованих у різних містах України. Для розрахунку усереднених концентрацій (добових та річних) було використано програмний комплекс ISC-AERMOD. Розрахунки критеріїв ризику здійснено згідно з затвердженою процедурою оцінки ризику для здоров'я населення, рекомендованою Агентством з охорони довкілля США та ВООЗ.

**Результати.** Розраховано рівні неканцерогенного ризику (HQ) при оцінках гострих (на рівні усередненої добової концентрації;  $HQ_{acute} = 1, 1 \div 7, 9$ ) та хронічних (на рівні усередненої річної концентрації;  $HQ_{chronic} = 1, 1 \div 8, 5$ ) інгалаційних впливів пріоритетних хімічних речовин від викидів промислових підприємств та автотранспорту на здоров'я експонованого населення досліджуваних міст. Встановлено, що розраховані рівні неканцерогенних ризиків ( $HQ = 3, 0 \div 6, 0$ ;  $HQ \leq 6$ ), відповідно рекомендаціям ВООЗ, належать до помірних та високих рівнів забруднення повітря та можуть спричиняти виникнення відповідно слабких та виражених ефектів у чутливих груп населення (літніх людей, вагітних жінок та дітей). Оцінено рівні сумарного канцерогенного ризику ( $ICR_{total}$ ) для експонованого населення та визначено, що можливі соціальні втрати населення у вигляді додаткових випадків розвитку новоутворень у людей від інгалаційного впливу досліджуваних груп промислових підприємств та автотранспорту можуть становити від 9 випадків на 10 тисяч населення до 5 випадків на 1000 осіб.

**Висновок.** Отримані результати досліджень ілюструють значний вплив забруднення атмосферного повітря на здоров'я на-

© Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П.,  
Моргульова В.В., Царенок Т.В. СТАТТЯ, 2022.