

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені О.О.БОГОМОЛЬЦЯ

КАФЕДРА ГІГІЄНИ ТА ЕКОЛОГІЇ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: Моніторинг хімічних забруднювачів атмосферного повітря у викидах установок для спалювання відходів як складова профілактики неінфекційних захворювань у населення України

Здобувач вищої освіти

Групи 13401АГЗ, спеціальності

229 «Громадське здоров'я»

ОПП 229 «Громадське здоров'я » _____ Сноз Сергій Валентинович
підпис

Науковий керівник

д. медичних наук, професор _____ Пельо І.М.
підпис

Керівник освітньо-
професійної програми

д. медичних наук, професор _____ Грузєва Т.С.
підпис

Завідувач кафедри,

д. медичних наук, професор,

член-кореспондент НАМН України _____ Бардов В.Г.
підпис

Київ – 2025 рік

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	3
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 Основні хімічні забруднювачі атмосферного повітря у викидах установок для спалювання відходів та аналіз їх впливу на здоров'я людини.....	13
РОЗДІЛ 2 Аналіз та обговорення результатів по визначенню хімічних забруднювачів атмосферного повітря у викидах установок для спалювання відходів	31
РОЗДІЛ 3 Аналіз системи моніторингу хімічних забруднювачів атмосферного повітря у викидах установок для спалювання відходів, рекомендації щодо її вдосконалення	53
РОЗДІЛ 4 Рекомендації щодо біомоніторингу хімічних забруднювачів атмосферного повітря у тканинах та рідинах організму людини для удосконалення профілактики неінфекційних захворювань у населення України.....	61
ВИСНОВКИ	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87
ДОДАТОК А Анкета для опитування донорів грудного молока	100

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

1,2,3,4,7,8-ГкХДД	1,2,3,4,7,8-гексахлордибензо-п-діоксин
1,2,3,6,7,8-ГкХДД	1,2,3,6,7,8- гексахлордибензо-п-діоксин
1,2,3,7,8,9-ГкХДД	1,2,3,7,8,9- гексахлордибензо-п-діоксин
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ	1,2,3,4,7,8-гексахлордибензофуран
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ	1,2,3,6,7,8-гексахлордибензофуран
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД	1,2,3,4,6,7,8-гепахлордибензо-п-діоксин
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД	1,2,3,4,6,7,8,9-октахлордибензо-п-діоксин
1,2,3,7,8-ПеХДД	1,2,3,7,8-пентахлордибензо-п-діоксин
1,2,3,7,8-ПеХДФ	1,2,3,7,8-пентахлордибензофуран
2,3,4,7,8-ПеХДФ	2,3,4,7,8-пентахлордибензофуран
2,3,7,8-ТХДД	2,3,7,8-тетрахлордибензо-п-діоксин
2,3,7,8-ТХДФ	2,3,7,8-тетрахлордибензофуран
ADI/TDI	Допустиме добове споживання
C _{WHO-TEQ}	Концентрація з урахуванням еквівалентів токсичності, встановлених ВООЗ
DALY	Disability-Adjusted Life Year (роки здорового життя, втрачені у зв'язку з передчасною смертю, хворобою чи травмою, що призводить до втрати працездатності)
GMP	Глобальний план моніторингу
RfD	Референтна доза
MRL	Мінімальний рівень ризику
CIOMS	Рада міжнародних організацій з медичних наук
CDC	Центр контролю хвороб
IARC	Міжнародне агентство з вивчення раку
PBPK-модель	Фізіологічно обґрунтована фармакокінетична модель
PM _{2,5}	Тверді частинки розміром 2,5 мкм
PM ₁₀	Тверді частинки розміром 10 мкм

TSP	Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом
WHO-TEF	Коефіцієнт еквіваленту токсичності згідно з рекомендаціями ВООЗ
БМЛ	Біомоніторинг людини
ВООЗ	Всесвітня організація охорони здоров'я
ГДК	Гранично допустима концентрація
ГХ-ВРМС (GC-HRMS)	Газова хроматографія з мас-спектрометрією високої роздільної здатності
ГХ-МС/МС (GC-MS/MS)	Газова хроматографія з тандемним мас-спектрометричним детектуванням
ДНК	Дезоксирибонуклеїнова кислота
ДСНС	Державна служба України з надзвичайних ситуацій
ЕД	Ендокринні дизраптори
ЗН	Злоякісні новоутворення
ЄС	Європейський Союз
КМУ	Кабінет міністрів України
ЛОС	Леткі органічні сполуки
МОЗ	Міністерство охорони здоров'я
Міндовкілля	Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів
НІЗ	Неінфекційні захворювання
ПАВ	Поліароматичні вуглеводні
ПЛР	Полімеразна ланцюгова реакція
ПХБ	Поліхлоровані біфеніли
ПХДД	Поліхлоровані дибензо-п-діоксини
ПХДФ	Поліхлоровані дибензофурани
РНК	Рибонуклеїнова кислота
СОЗ	Стійкі органічні забруднювачі довкілля
ТПВ	Тверді побутові відходи
ХОЗЛ	Хронічне обструктивне захворювання легень

ВСТУП

28 липня 2022 року Генеральна Асамблея ООН прийняла історичну резолюцію, в якій визнає, що кожна людина має право на чисте, здорове та стає довкілля. Понад 160 держав уже закріпили це право у своїх конституціях, законодавстві або регіональних договорах. Право на чисте, здорове та стає довкілля включає в себе:

- чисте повітря;
- достатню кількість безпечної для споживання води;
- доступ до здорової та отриманої екологічним способом їжі;
- безпечні приміщення, де люди можуть безпечно жити, працювати, навчатися та грати;
- здорові екосистеми та біорізноманіття;
- безпечний клімат.

Ці основні елементи права на здорове довкілля підкріплюються процедурними правами на доступ до інформації, участь громадськості в прийнятті рішень, доступом до правосуддя з ефективним засобами правового захисту, свободою вираження поглядів і свободою створення асоціацій. Реалізація права на здорове довкілля ґрунтується на основних принципах, включаючи не дискримінацію, профілактику, запобіжні заходи та відсутність регресу. Доведено, що юридичне визнання права на здорове довкілля є каталізатором покращення екологічного законодавства та його виконання, і, що найважливіше, покращення екологічних показників таких як якість повітря та води. Стан здоров'я людини є результатом взаємопов'язаного впливу таких факторів як спадковість, соціально-економічне та психологічне благополуччя, доступність і якість медичного обслуговування, спосіб життя і наявність шкідливих звичок, умови життєдіяльності, стан забруднення довкілля та умови праці [1].

На рисунку 1 показані ймовірні зв'язки між екологічними факторами ризику та неінфекційними хворобами.

Disease or injury	Environmental risk factor													
	WASH	Indoor fuel combustion	Second-hand tobacco smoke	Ambient air pollution	Noise	Chemicals ^b	Housing	Recreational environment	Water resources management	Land use and built environment	Other community risks	Radiation	Occupation	Climate change ^c
Noncommunicable diseases														
Cancers		•	•	•		•					•	•	•	
Neuropsychiatric disorders					•	•	•						•	•
Cataracts		•										•	•	
Hearing loss					•	•							•	
Cardiovascular diseases		•	•	•	•	•				•			•	•
COPD		•	•	•									•	
Diabetes		•	•	•										
Asthma		•	•	•		•	•						•	○
Other respiratory diseases													•	○
Chronic kidney diseases						•							•	○
Skin diseases	•					•							•	
Musculoskeletal diseases	•												•	
Congenital anomalies			•	•		•						•	•	

Рис.1 Орієнтовні зв'язки між екологічними факторами ризику та неінфекційними хворобами згідно з Compendium of WHO and other UN guidance in health and environment, 2024 update [1].

Примітки:

- WASH - забезпечення безпечною водою, засобами санітарії та гігієни;
- COPD - хронічне обструктивне захворювання легень.
- Інтенсивність забарвлення точок представляє пропорційне зниження смертності або захворювань, яке могло б виникнути в разі коли фактори ризику були усунуті або зменшені до мінімального впливу, в порівнянні з наявним на сьогодні (< 5% та 5-25%);
- b – Вказані хімічні речовини обмежуються промисловими і сільськогосподарськими хімікатами та хімікатами, що викликають гострі отруєння;
- c - Глобальна зміна клімату все більше впливатиме на все життя на планеті, додано незабарвлені точки, щоб висвітлити ймовірний майбутній вплив зміни клімату на здоров'я, оскільки більшість майбутніх впливів на здоров'я ще не піддаються кількісній оцінці).

Одним із важливих чинників забруднення довкілля, та відповідно впливу на стан здоров'я людини є забруднення атмосферного повітря, яке залишається однією з найгостріших проблем в світі та в Україні.

Згідно із Щорічним звітом про стан здоров'я населення України та епідемічну ситуацію за 2023 рік [2] основними забруднювачами атмосферного повітря в Україні є автотранспорт, підприємства металургії, коксохімії та теплоенергетики, а також добувної та переробної промисловості.

Високий рівень забруднення атмосферного повітря формується головним чином за рахунок:

- ✓ викидів двигунів внутрішнього згоряння автотранспорту;
- ✓ шкідливих речовин підприємств коксохімічної, металургійної та хімічної промисловості;
- ✓ недотримання підприємствами технологічного режиму експлуатації пилогазоочисного устаткування;
- ✓ невідповідність міської інфраструктури вимогам сьогодення;
- ✓ активних військових бойових дії на окремих територіях країни, ракетних обстрілів населених пунктів України.

Забруднення атмосферного повітря у 2016 році, за даними Інституту оцінки та вимірювання показників здоров'я (Institute for Health Metrics and Evaluation), призвело в Україні до понад 58 тис. смертей.

За даними Європейського Бюро ВООЗ, забруднення атмосферного повітря є провокуючою причиною приблизно 10 % всіх випадків респіраторних захворювань серед дітей, 3–7 % нових випадків хронічних обструктивних захворювань органів дихання, 3–15 % нових випадків бронхіальної астми [3].

Від впливу забрудненого повітря найбільш потерпає населення, яке проживає в межах великих промислових агломерацій та міст мільйонників. Свій вклад в забруднення атмосферного повітря вносять і об'єкти поводження з відходами, в першу чергу установки по спалюванню відходів.

Проблемам впливу забрудненого атмосферного повітря на здоров'я була присвячена Друга глобальна конференція щодо забруднення повітря та

здоров'я (Second Global Conference on Air Pollution and Health), яка відбулась під егідою ВООЗ 25-27 березня 2025 року в Картахені, Колумбія. На конференції були обговоренні питання щодо прискорення дій для зменшення забруднення повітря, доступу до чистої енергії та пом'якшення зміни клімату, висвітлені скоординовані міжгалузеві рішення в містах, країнах і регіонах для запобігання інфекційним і неінфекційним захворюванням, захисту здоров'я дітей і обмеження зміни клімату в усьому світі.

Учасники конференції закликали всі зацікавлені сторони взяти на себе добровільні зобов'язання щоб до 2040 року в усіх країнах зменшити на 50 % вплив забруднення повітря на здоров'я [4].

В Національній доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» [5] поставлено завдання 11.5. «Зменшити негативний вплив забруднюючих речовин, у т. ч. на довкілля міст, шляхом використання інноваційних технологій» та встановлено наступні індикатори:

- індикатор 11.5.2. Сумарний обсяг викидів в атмосферне повітря забруднюючих речовин від стаціонарних джерел, умовно приведений до оксиду вуглецю з урахуванням відносної агресивності основних забруднювачів, % до рівня 2015 року – 85 % в 2030 р.

- індикатор 11.5.3. Сумарний обсяг викидів у атмосферне повітря забруднюючих речовин від пересувних джерел, умовно приведений до оксиду вуглецю з урахуванням відносної агресивності основних забруднювачів, % до рівня 2015 року - 70 % в 2030 р.

- індикатор 11.5.4. «Кількість міст, в яких середньодобові концентрації основних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі перевищують середньодобові гранично допустимі концентрації, одиниць - 15 в 2030 р.»

Постановою Кабінету Міністрів України від 17 січня 2025 р. № 34-р «Про схвалення Стратегії розвитку системи охорони здоров'я на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках» схвалено Стратегію розвитку системи охорони здоров'я на період до 2030 року. Стратегічна ціль 1 «Забезпечення універсального доступу населення до

якісних медичних послуг та інструментів реалізації права на здоров'я» та Оперативна ціль 3 «Формування та підтримка ціннісного ставлення населення до здоров'я» передбачають здійснення комплексних заходів, спрямованих на екологічні детермінанти здоров'я, включаючи забруднення навколишнього природного середовища, доступ до безпечної питної води і рекреаційних зон, санітарії і гігієни, чистого повітря, а також адаптації до змін клімату з метою створення безпечного, здорового середовища життєдіяльності людини.

Одним із індикаторів виконання операційного плану заходів є формування каталогу рекомендованих методик, необхідних для задоволення потреб епідеміологічного нагляду та моніторингу факторів навколишнього природного середовища [6].

Національний план заходів щодо неінфекційних захворювань для досягнення глобальних цілей сталого розвитку, який затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26 липня 2018 р. № 530-р, передбачає забезпечення надання необхідної інформації, організації та проведення інформаційних кампаній для населення щодо негативного впливу забруднення повітря та інших несприятливих факторів навколишнього природного середовища [7].

Моніторинг атмосферного повітря в Україні здійснюється згідно з постановою КМУ від 14.08.2019 р. №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [8].

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є аналіз ролі моніторингу хімічних забруднювачів довкілля, в першу чергу атмосферного повітря, як складової частини ефективної профілактики неінфекційних захворювань серед населення України.

Завдання дослідження:

- проаналізувати вміст небезпечних хімічних речовин у викидах установок по спалюванню відходів в Україні;

- визначити основні типи хімічних забруднювачів, характерних для викидів установок для спалювання відходів та оцінити їх вплив на поширення неінфекційних захворювань серед населення;
- дослідити міжнародний досвід моніторингу атмосферного повітря та біомоніторингу людини як складової частини профілактики неінфекційних захворювань;
- запропонувати заходи щодо вдосконалення системи моніторингу як інструменту управління екологічними ризиками для здоров'я.

Об'єкт дослідження - забруднення атмосферного повітря його вплив на стан здоров'я населення.

Предмет дослідження - система моніторингу хімічних забруднювачів атмосферного повітря як інструмент профілактики неінфекційних захворювань у населення України.

Практичне значення отриманих результатів. Проведено експериментальні дослідження по визначенню небезпечних хімічних сполук у викидах у атмосферне повітря при роботі експериментальних установок по термічному видаленню відсортованих твердих побутових відходів і відходів агропромислового комплексу та стаціонарної установки по спалюванню несортованих твердих побутових відходів. При роботі стаціонарної установки по спалюванню несортованих твердих побутових відходів виявлено перевищення встановлених нормативів для сумарного вмісту поліхлорованих дибензо-п-діоксинів і поліхлорованих дибензофуранів, масової концентрації твердих частинок, вмісту фтористого водню та хлористого водню, сумарного вмісту сурми, миш'яку, свинцю, хрому, кобальту, міді, марганцю, нікелю, ванадію та їх сполук. Враховуючи спектр хімічних сполук у викидах із досліджених установок по спалюванню відходів та дані літератури щодо впливу на здоров'я людини окремих сполук, які містяться у цих викидах, було зроблено припущення, що робота досліджених установок може підвищувати ризик виникнення неінфекційних захворювань як для працівників, які обслуговують ці установки, так і для населення, яке мешкає поблизу. Цей

ризик може бути обумовлений як канцерогенними, так і неканцерогенними ефектами.

Сформульовано рекомендації щодо удосконалення системи моніторингу небезпечних хімічних речовин в атмосферному повітрі і рекомендації для проведення біомоніторингу небезпечних хімічних речовин в тканинах та рідинах організму людини.

Запропоновано провести загальнонаціональне дослідження по біомоніторингу діоксинів і діоксин-подібних речовин в грудному молоці, представлено проєкт програми такого дослідження та анкету для жінок – донорів грудного молока.

Апробація результатів роботи і публікації. Результати роботи були апробовані на Міжвідомчій науково-практичній конференції «Впровадження інноваційних технологій та модернізація технічної складової сектору безпеки і оборони як вагомий чинник у боротьбі з агресором» (Київ, 27 березня 2024 р.), на Науково-практичній конференції з міжнародною участю «Екологічні та гігієнічні проблеми сфери життєдіяльності людини» (Київ, 19 березня 2025 р.) та на Студентській науково-практичній конференції «Інноваційні підходи у наукових дослідженнях у сфері громадського здоров'я та профілактичної медицини: досягнення та перспективи» (Київ, 2025).

Результати роботи були опубліковані:

1. Експериментальна оцінка вмісту небезпечних хімічних сполук у викидах у повітря при роботі установок по спалюванню відходів// Український журнал сучасних проблем токсикології, 2024, №2, С.7-29 (у співавторстві з М.Г. Проданчук, Л.М. Смердова, А.Г. Кудрявцева та ін.);

2. Актуальні питання хімічної безпеки, протирадіаційного захисту та оцінки ризиків хімічного, радіаційного впливу на здоров'я людини, середовище її життєдіяльності через призму сучасних хімічних, біологічних, радіаційних та ядерних загроз: монографія/Л.А.Устінова, А.П.Казмірчук, В.Л. Савицький Київ: «Видавництво Людмила», 2024. 360 с. (розділ 15 «Токсикологічні

аспекти війни в Україні», с. 261-276, у співавторстві з М.Г. Проданчук, А.В. Басанець).

3. Перспективи залучення технологій штучного інтелекту до сфери оцінки ризику хімічних факторів і моніторингу забруднення територій// Матеріали Міжвідомчої науково-практичної конференції «Впровадження інноваційних технологій та модернізація технічної складової сектору безпеки і оборони як вагомий чинник у боротьбі з агресором» (Київ, 27 березня 2024 р.), с.159-161 (у співавторстві з М.Г. Проданчук, А.В. Басанець, М.В. Величко, Н.В. Курділь).

4. Вплив хімічних забруднювачів виявлених у викидах установок для спалювання відходів на здоров'я населення// Збірка матеріалів Студентської науково-практичної конференції «Інноваційні підходи у наукових дослідженнях у сфері громадського здоров'я та профілактичної медицини: досягнення та перспективи» (Київ, 2025), с. 32-34 (науковий керівник І.М.Пельо).

5. Щодо класифікації відходів, які можуть містити ендокринні дизраптори//Збірка матеріалів Науково-практичної конференції з міжнародною участю «Екологічні та гігієнічні проблеми сфери життєдіяльності людини» (Київ, 19 березня 2025 р.), с.235-236. (у співавторстві з І.М. Пельо).

РОЗДІЛ 1

ОСНОВНІ ХІМІЧНІ ЗАБРУДНЮВАЧІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ВИКИДАХ УСТАНОВОК ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ВІДХОДІВ ТА АНАЛІЗ ЇХ ВПЛИВУ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

Забруднення атмосферного повітря є одним із важливих чинників, які впливають на стан здоров'я людини, охоплюють своїм впливом населення всіх вікових груп та є фактором ризику розвитку цілого ряду неінфекційних хвороб (захворювання органів дихання, злоякісні новоутворення різної локалізації, ендокринні порушення та ін.).

За даними ВООЗ встановлено, що 90 % населення світу вдихає повітря з високими рівнями забруднення, а дев'ять з десяти людей дихають брудним повітрям [2, 3]. В першу чергу спостерігається негативний вплив на здоров'я жінок, дітей, літніх людей та малозабезпечених людей.

Тверді частки пилу ($PM_{2,5}$ та PM_{10}) є одним з компонентів забруднення атмосферного повітря за рахунок їх поширення у викидах промислових підприємств і транспорту та завдають значної шкоди для здоров'я. $PM_{2,5}$ та PM_{10} посідають шосте місце за величиною фактору ризику передчасних смертей в усьому світі, призводячи до 4,1 млн смертей від неінфекційних захворювань: 26% – від ішемічної хвороби серця, 25% – від інсульту, 53% – від хронічної обструктивної хвороби легень та 40% – від раку легень [9–11]. Тривалий вплив $PM_{2,5}$ може збільшити ризик смертності від раку легень. Хоча роль $PM_{2,5}$ в етіології раку легень не зовсім з'ясована, але існують докази збільшення смертності від раку легень, пов'язаної з впливом $PM_{2,5}$ [12].

В таблиці 1.1 наведенні дані щодо залежності ступеню проникнення твердих часток пилу в дихальну систему людини від їх розміру.

Таблиця 1.1

Залежність ступеню проникнення твердих часток пилю в дихальну систему людини від їх розміру [13].

Розмір частинок	Ступінь проникнення в дихальну систему людини
>11 мкм	Проникнення в ніздрі та верхні дихальні шляхи
7–11 мкм	Проникнення в носову порожнину
4,7–7 мкм	Проникнення в гортань
3,3 – 4,7 мкм	Проникнення в трахео-бронхіальну область
2,1 – 3,3 мкм	Проникнення у вторинні бронхіальні ділянки
1,1 – 2,1 мкм	Проникнення до кінцевої бронхіальної зони
0,65 – 1,1 мкм	Проникнення до бронхіол
0,43 – 0,65 мкм	Альвеолярна проникність

Поєднання забруднення повітря з несприятливими метеорологічними факторами (спека, температурні інверсії тощо), приводить до збільшення кількості випадків смертей від серцево-судинних та респіраторних захворювань. ВООЗ передбачає, що вже до 2030 року астма стане третьою з основних причин передчасної смерті у світі. Доведено існування кореляційного зв'язку між різким підвищенням концентрації оксидів азоту в атмосфері та ймовірністю виникнення інфарктів і загостренням інших серцево-судинних хвороб. Забруднене оксидами азоту повітря також впливає на коливання артеріального тиску протягом дня.

Незважаючи на те, що озон в стратосфері відіграє захисну роль проти ультрафіолетового випромінювання, озон є шкідливим при високій концентрації на рівні землі, також впливає на дихальну та серцево-судинну систему. Оксиди азоту, діоксид сірки, леткі органічні сполуки (ЛОС), діоксини та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) відносять до забруднювачів повітря, які є шкідливими для людини.

Важкі метали, такі як свинець, потрапляючи в організм людини, можуть призвести як до прямого отруєння, так і до хронічної інтоксикації.

Захворювання, що викликані вищезазначеними речовинами включають головним чином респіраторні проблеми, такі як хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ), астма, бронхіт, а також рак легенів, серцево-судинні порушення, дисфункції центральної нервової системи та шкірні захворювання.

ХОЗЛ - це гетерогенне захворювання легень, що характеризується хронічними симптомами з боку дихальної системи (задишка, кашель, мокротиння), спричинені аномаліями дихальних шляхів (бронхітом і бронхіолітом) та/або альвеол (емфізема), що призводить до хронічного, часто прогресуючого обмеження циркуляції повітря по дихальних шляхах. Ушкодження легень є результатом хронічного запалення дихальних шляхів, легеневої паренхіми та легеневих судин, протеолізу (внаслідок дисбалансу між активністю протеаз та антипротеаз) і оксидативного стресу.

Хронічне обструктивне захворювання легень є одним із найбільш поширених захворювань, якому зазвичай можна запобігти. За даними ВООЗ, сьогодні ця хвороба є четвертою основною причиною смерті у світі і, за прогнозами фахівців, в найближчий час посіде третє місце. За оцінками МОЗ України, в Україні щонайменше 4 % населення мають хронічне обструктивне захворювання легень, а близько 2 % смертей українців зумовлено цією хворобою. Хронічне обструктивне захворювання легень (ХОЗЛ) є загальною назвою групи хвороб. Для таких хвороб характерні стійкі респіраторні симптоми та обмеження прохідності дихальних шляхів через патологічні зміни у них та/чи ураження альвеол, що зазвичай спричинені значним негативним впливом шкідливих частинок або газів. Захворювання істотно обмежує нормальне життя пацієнта через кашель, постійну задишку, що прогресує, та виділення мокротиння.

Головна причина розвитку ХОЗЛ - тютюновий дим (у результаті паління або вдихання вторинного тютюнового диму). Найбільш уразливими для цієї хвороби у всьому світі є завязаті курці. У таких пацієнтів хвороба прогресує удев'ятеро швидше, ніж у тих, хто не палить.

До інших найпоширеніших факторів ризику належать забруднення атмосферного повітря, забруднення повітря в житлових приміщеннях (наприклад, унаслідок використання твердого палива для приготування їжі та обігріву) та наявність пилу, диму і випарів хімічних речовин на робочих місцях.

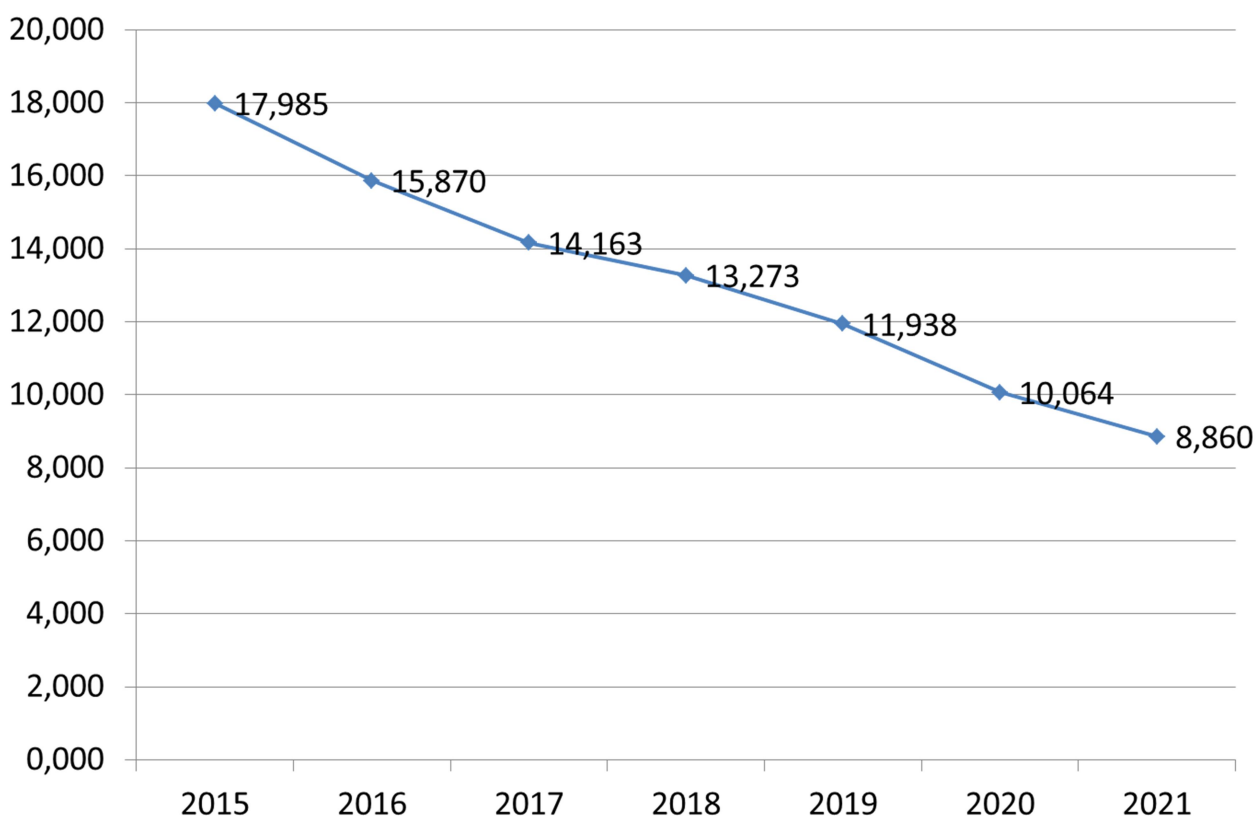
У деяких випадках ХОЗЛ пов'язано із генетичними чинниками, гіперчутливістю дихальних шляхів, невідповідним розвитком легень у дитячому віці, тривалим захворюванням на астму [14].

На рисунку 1.1 представлені дані щодо смертності в Україні від хронічних хвороб нижніх дихальних шляхів згідно з даними Центру громадського здоров'я МОЗ України [15]. На рисунку 1.2 наведені дані щодо смертності від ХОЗЛ в країнах, з якими Україна межує, та в Сполучених Штатах Америки за даними ВООЗ [16].

Дані щодо смертності виключно від ХОЗЛ на сайті Центру громадського здоров'я МОЗ України відсутні, останні данні щодо смертності від ХОЗЛ в Україні наявні лише за 2019 рік.

Наведені дані щодо смертності від хронічних хвороб нижніх дихальних шляхів, які включають ХОЗЛ, свідчать, що смертність на 100 тисяч населення в Україні знизилась з 2015 по 2021 рік більш ніж у два рази.

Однак, повномасштабне вторгнення російської федерації та масові обстріли енергетичної, житлової та іншої інфраструктури, призвели до масових руйнувань та пожеж, які супроводжуються викидами в атмосферу значної кількості продуктів горіння та пилу. Наслідки цього забруднення атмосфери в подальшому спричинятимуть, в першу чергу, зростання кількості захворювань органів дихання як серед населення України, так і серед населення сусідніх країн.



— Смертність в Україні від хронічних хвороб нижніх дихальних шляхів на 100 тис. населення

Рис 1.1 Смертність в Україні від хронічних хвороб нижніх дихальних шляхів за 2015-2021 рр. [15].

Порівнюючи дані представлені на рисунках 1.1 та 1.2 можна сказати, що рівні смертності від хвороб нижніх дихальних шляхів в Україні, Польщі, Молдові, Словаччині знаходяться приблизно на одному рівні (10-20 випадків на 100 тисяч населення). В Румунії цей показник дещо вищий (біля 30), і значно вищий в Угорщині (50-65). В Сполучених Штатах Америки цей показник знаходиться в інтервалі 40-50 випадків на 100 тисяч населення.

Зміна клімату внаслідок забруднення довкілля впливає на географічне поширення багатьох інфекційних хвороб та на частоту виникнення стихійних лих. Єдиний спосіб вирішення цієї проблеми полягає в обізнаності громадськості у поєднанні з мультидисциплінарним підходом наукових експертів.

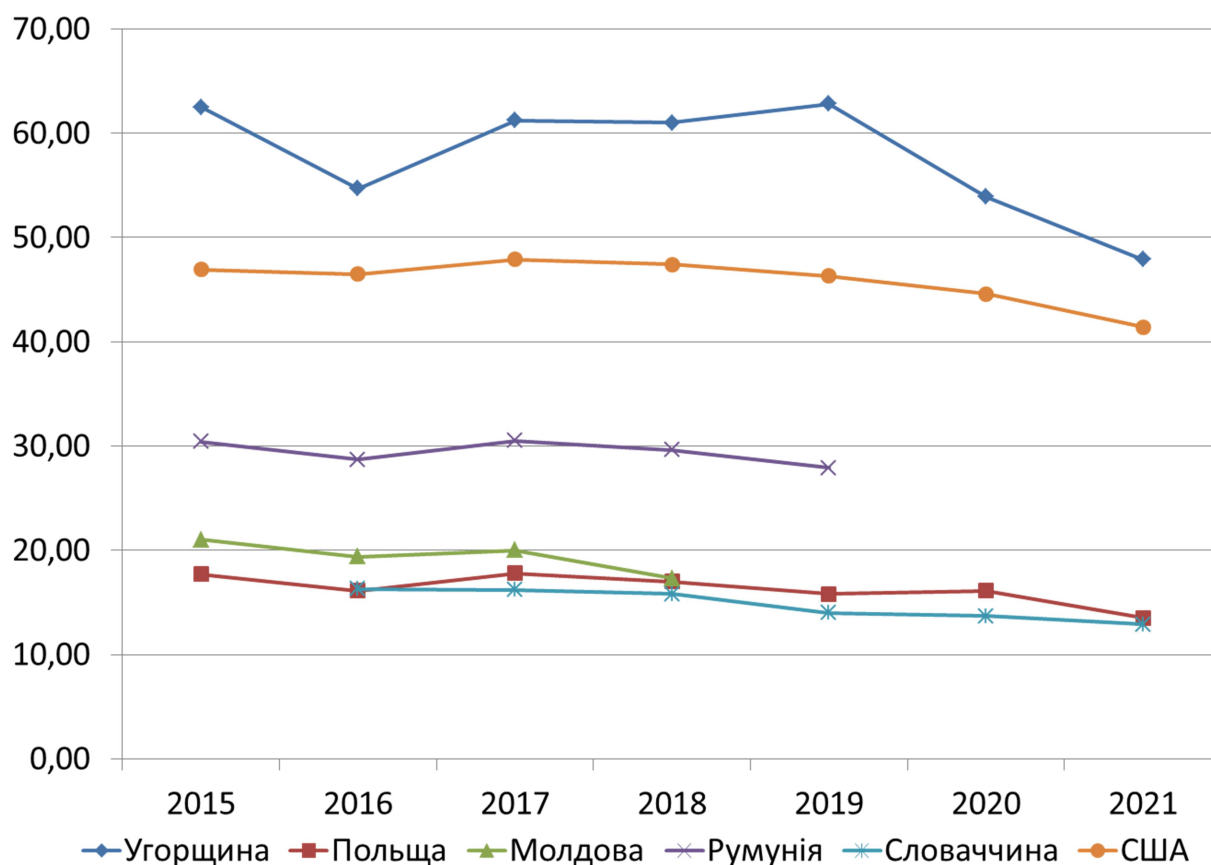


Рис 1.2 Смертність в Угорщині, Польщі, Молдові, Румунії, Словаччині та США від ХОЗЛ за 2015-2021 рр. на 100 тис. населення [16].

Як уже зазначалося, респіраторні розлади тісно пов'язані з вдиханням забрудненого повітря. Хімічні забруднювачі надходять через дихальні шляхи і накопичуються в різних типах клітин. Вплив на здоров'я людини також залежить від країни, регіону, сезону та часу.

В Європі забруднення повітря є основною причиною втрачених років життя (DALY). Неврологічні ефекти у дорослих і дітей, психологічні ускладнення, аутизм, ретинопатія, низька вага при народженні, ймовірно, пов'язані з довгостроковим забрудненням повітря [13]. Етіологічний чинник нейродегенеративних захворювань (хвороби Альцгеймера та Паркінсона) поки що невідомий, але фахівці вважають, що тривалий вплив забрудненого повітря також може бути одним із факторів ризику. Механізм розвитку нейродегенеративних захворювань включає окислювальний стрес, агрегацію

білків, запалення та порушення функціонування мітохондрій в нейронах [17] (рис. 1.3).

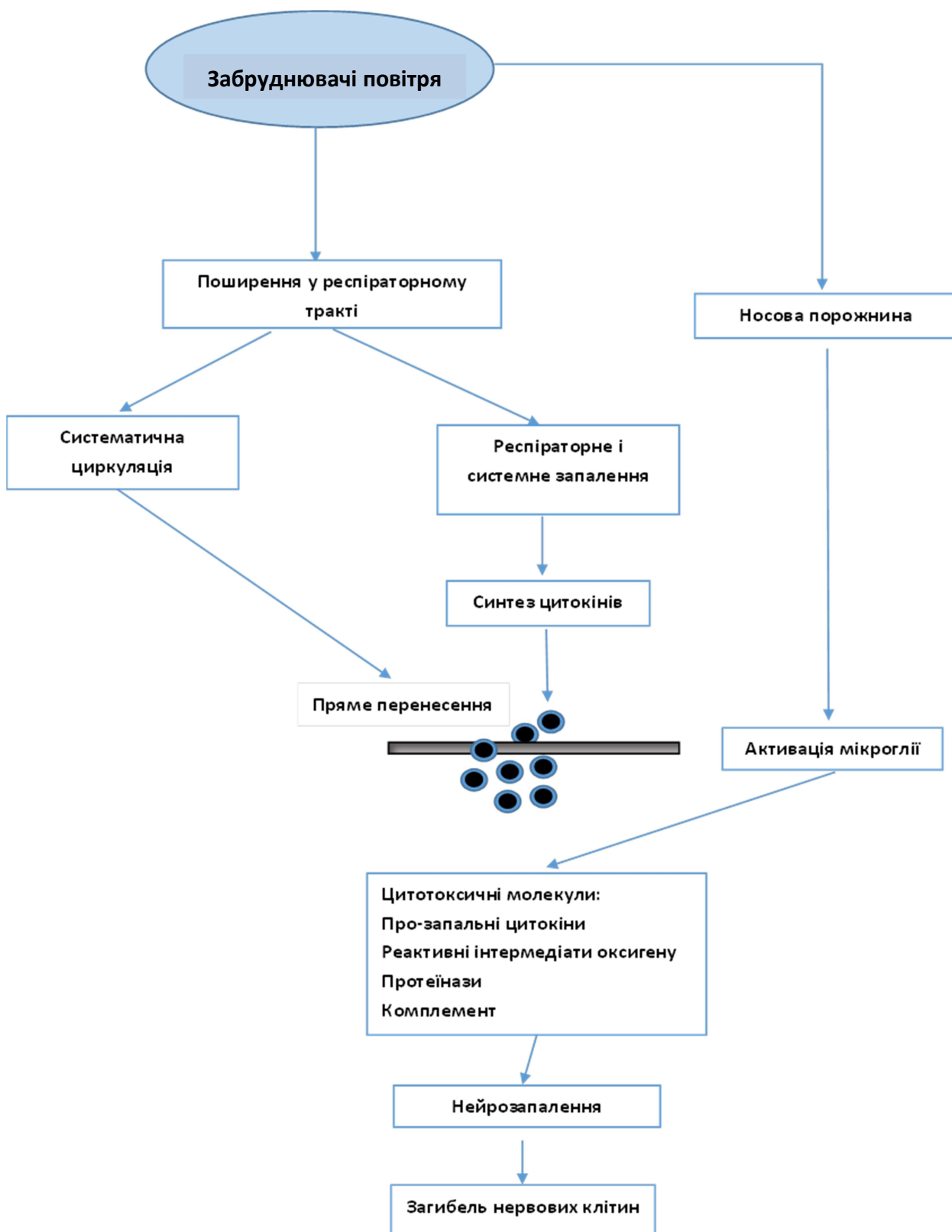


Рис. 1.3 Ймовірний механізм розвитку нейродегенеративних захворювань, викликаних забрудненням повітря [17]

Атеросклероз і окислювальний стрес є частиною механізмів розвитку неврологічних розладів, викликаних довгостроковими впливом забрудненого повітря [17].

Однак дієта, починаючи з грудного вигодовування є іншим визначальним фактором. Дієта є основним джерелом антиоксидантів, які відіграють ключову роль у нашому захисті від забруднювачів повітря. Антиоксиданти зв'язують вільні радикали та, відповідно, обмежують їх вплив у мозку [18]. Так само генотип може призвести до диференціальної сприйнятливості до окисного стресу [19].

Важливо відзначити, що забруднювачі атмосферного повітря також впливають на імунну систему, викликаючи її дисфункцію та нейрозапалення [17].

Як відомо, шкіра є нашим щитом від ультрафіолетового випромінювання та інших забруднювачів, оскільки це найбільш зовнішній шар нашого тіла. Забруднювачі, пов'язані з транспортом, такі як ПАВ, ЛОС, оксиди та РМ можуть викликати пігментні плями на нашій шкірі [20].

З одного боку, коли забруднюючі речовини проникають через шкіру або при вдиханні спостерігається пошкодження органів, оскільки деякі з цих забруднюючих речовин мають мутагенні та канцерогенні властивості, і, зокрема, вони впливають на печінку та легені. Забруднювачі повітря, що поглинаються шкірою людини, можуть сприяти старінню шкіри, розвитку псоріазу, вугрів, кропив'янки, екземи та атопічного дерматиту [20]. Вплив РМ і куріння діє як агент старіння шкіри, викликаючи утворення пігментних плям, дисхромію, і зморшки. Нарешті, забруднюючі речовини пов'язують зі злоякісними новоутвореннями шкіри [20].

Іншим зовнішнім органом, який може постраждати, є око. Забруднення зазвичай походить від часточок пилу і може призвести як до безсимптомних наслідків для очей, подразнення, так і до ретинопатії та синдрому сухого ока [21-22]. Довгостроковий вплив діоксинів може спричинити проблеми з розвитком дітей, порушенням роботи імунної, ендокринної та нервової систем,

викликати репродуктивне безпліддя та спричинити розвиток злоякісних новоутворень різної локалізації [23].

2013 року Всесвітня асамблея охорони здоров'я ухвалила Глобальний план дій ВООЗ з профілактики та боротьби з неінфекційними захворюваннями у 2013–2020 роках. Метою Глобального плану дій є скорочення передчасної смертності від НІЗ на 25 % до 2025 року [24].

В Україні НІЗ за статистичними оцінками стали причиною понад 91 % усіх смертей переважно за рахунок серцево-судинної, респіраторної та онкологічної патології [3]. З метою зменшення тягаря захворюваності, втрати працездатності та смертності від НІЗ Україна бере участь у виконанні Плану дій з профілактики та боротьби з неінфекційними захворюваннями в Європейському регіоні ВООЗ на 2016–2025 роки. [3]

Основні забруднювачі повітря, які необхідно контролювати, визначені в Додатку 2 «Перелік забруднюючих речовин, щодо яких здійснюється оцінювання, пороги оцінювання, граничні величини та інші рівні забруднюючих речовин, за якими проводиться оцінка якості атмосферного повітря» до «Порядку здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827 [8].

Цей Порядок включає перелік хімічних речовин, які утворюються в процесі виробничої та іншої діяльності людини. Список А цього Переліку включає: діоксид сірки, діоксид азоту та оксиди азоту (NO_x), бензол, оксид вуглецю, свинець, тверді частки ($\text{TCH}_{2,5}$), тверді частки (TCH_{10}), арсен, кадмій, ртуть, нікель, бенз(а)пірен, озон, речовини у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом (TSP).

З цього переліку необхідно виділити оксиди сірки та азоту, оксид вуглецю і тверді частинки (PM_{10} і $\text{PM}_{2,5}$), на які припадає приблизно 98 % від загального обсягу викидів небезпечних хімічних речовин в атмосферне повітря [2].

Ризик розвитку захворювань, пов'язаних із забрудненням повітря не викликає сумніву, разом з тим достовірні дані щодо кількісних ефектів впливу отримані тільки для забруднень, що виникли внаслідок промислових аварій або значущих залпових викидів, аномальних атмосферних явищ (смог).

Оцінка ризиків, пов'язаних із постійним впливом небезпечних хімічних сполук, наявних в атмосферному повітрі, залишається проблемною в зв'язку з тим, що:

- концентрація хімічних речовин надзвичайно нестабільна і залежить від метеоумов;
- до хвороб, у виникненні і перебігу яких вплив забрудненого повітря відіграє значну роль, відносять, в першу чергу, хвороби дихальної системи. Але ці хвороби неспецифічні і можуть бути викликані іншими факторами, наприклад, палінням або професійним впливом.

Фактором ризику, безумовно, можна вважати довготривале забруднення атмосферного повітря. Відомо, що довготривале забруднення атмосферного повітря SO_2 , CO , CO_2 , NO_2 та пилом викликає підвищення загального рівня захворюваності населення, обумовлених ураженням окремих органів і систем, а саме: дихальної системи (пневмонії, бронхіти, бронхіальна задуха), серцево-судинної системи (гіпертонічна хвороба, інфаркт міокарда).

Результати розрахунку неканцерогенного ризику (HQ), пов'язаного із забрудненням атмосферного повітря (розрахункові коефіцієнти небезпеки впливу хімічних речовин у атмосферному повітрі) міських поселень за даними Міністерства охорони здоров'я України 2023 року [2] свідчать, що для населення України він складає 6,56 (для пилу), 0,2 (для діоксиду сірки), 0,4 (для оксиду вуглецю), 0,61 (для оксидів азоту). Якщо розрахований коефіцієнт небезпеки речовини менший за одиницю, то можливість розвитку у людини шкідливих ефектів за щоденного надходження речовини протягом життя несуттєва і такий вплив характеризується як допустимий. У випадку перевищення коефіцієнта небезпеки одиниці вірогідність виникнення шкідливих ефектів зростає пропорційно збільшенню HQ [2].

Загальний рівень забруднення атмосферного повітря в Україні за індексом забруднення атмосферного повітря (ІЗА) становив у 2023 р. 6,6 і оцінювався, як підвищений. Порівняно з 2022 р. (6,5) він майже не змінився [2].

Провідними регіонами по забрудненню атмосферного повітря залишаються промислові регіони України (Дніпропетровщина, Донеччина та західний вугільний басейн (Львівська та Волинська області)) як за ІЗА, так і за ризиками неканцерогенного впливу основних шкідливих хімічних речовин (SO_2 , CO , CO_2 , NO_2 та пил). Окрім того, до потенційно небезпечних регіонів щодо запиленості атмосферного повітря ввійшли такі регіони, як Житомирська та Сумська області, однак Житомирська область за ІЗА відноситься до безпечних територій [2].

За даними Національного канцер-реєстру України [25] на рисунках 1.4-1.7 наведені дані щодо питомої ваги основних 10 нозологічних форм злоякісних новоутворень (ЗН) в структурі захворюваності на ЗН та смертності від ЗН населення України в 2022 році. Ці дані свідчать, що злоякісні новоутворення трахеї, бронхів та легень є основною нозологічною формою ЗН, яка обумовлює захворюваність на ЗН (14,2 %) та смертність від ЗН (21,1 %) серед чоловіків. Серед жінок основною нозологічною формою ЗН, яка обумовлює захворюваність на ЗН (22,4 %) та смертність від ЗН (20,4 %) є ЗН молочної залози. Злоякісні новоутворення трахеї, бронхів та легень серед жінок займають 9 місце (3,4 %) серед захворювань на ЗН, та 8 місце (5,9 %) в структурі смертності. За даними Національного канцер-реєстру України у 2022 році злоякісні новоутворення трахеї, бронхів та легень входять до числа основних 7 нозологічних форм ЗН у статеві-віковій структурі смертності населення України від ЗН у чоловіків (18-75+ років), та посідають перше місце у групах 30-44 років, 45-64 років, та 65-75 років. В той же час у жінок злоякісні новоутворення трахеї, бронхів та легень входять до числа основних 7 нозологічних форм ЗН у статеві-віковій структурі смертності у групах 30-44 та 45-64 роки (сьоме місце), та у групі 75+ років (шосте місце) [25].

Аналіз питомої ваги захворюваності та смертності від злоякісних новоутворень трахеї, бронхів та легень серед усіх ЗН свідчить, що крім забруднення повітря значну роль можуть відігравати фактори виробничого середовища та паління. Частка чоловіків, які працюють у важких умовах праці (металурги, шахтарі, тощо) як правило більша, а серед дорослих чоловіків курців приблизно у чотири рази більше, ніж серед жінок.



Рис. 1.4 Питома вага основних 10 нозологічних форм злоякісних новоутворень (ЗН) в структурі захворюваності на ЗН населення України, % серед чоловіків в 2022 році (Бюлетень Національного канцер-реєстру України №25, 2024).



Рис. 1.5 Питома вага основних 10 нозологічних форм ЗН в структурі захворюваності на ЗН населення України, % серед жінок в 2022 році (Бюлетень Національного канцер-реєстру України №25, 2024).



Рис. 1.6 Питома вага основних 10 нозологічних форм ЗН в структурі смертності від ЗН населення України, % серед чоловіків в 2022 році (Бюлетень Національного канцер-реєстру України №25, 2024).



Рис. 1.7 Питома вага основних 10 нозологічних форм ЗН в структурі смертності від ЗН населення України, % серед жінок в 2022 році (Бюлетень Національного канцер-реєстру України №25, 2024).

Оскільки, основним напрямком розвитку світової індустрії управління твердими побутовими відходами (ТПВ) крім їх використання для отримання вторинної сировини, є також виробництво теплової та електричної енергії шляхом спалювання, що може бути причиною забруднення атмосферного повітря та чинником, який впливає на стан здоров'я людини.

Так у Швейцарії у 2014 р. із загальної кількості відходів (близько 6 млн т) більша частина (3,216 млн т) була перероблена та використана повторно, а відходи в кількості 2,791 млн т спалені [26]. У цілому комунальні відходи в Швейцарії за оцінками становлять близько 729 кг на людину на рік, з яких близько 390 кг утилізується і 339 кг спалюється в установках для спалювання [26]. Поточне регулювання управління відходами в цій країні (діє з 2004 року) вимагає спалювання всіх горючих відходів перед захороненням. Це також стосується осадів стічних вод, для яких з 2006 р. не допускається використання в якості добрив у сільському господарстві для уникнення забруднення ґрунтів важкими металами [26].

У Франції понад третина ТПВ видаляються на установках по спалюванню відходів (у 2008 р. їх було 128). У 2006 р. за рахунок спалювання

відходів Франція виробила близько 3700 ГВт-год електричної енергії та 7 400 ГВт-год теплової енергії [27].

У Китаї рівень спалювання ТПВ досяг 72,5 %, а кількість сміттєспалювальних заводів становить 583 [28].

До повномасштабного вторгнення російської федерації в Україні щорічне утворення ТПВ перевищувало 50 млн м³. При середній теплотворній здатності несорттованих відходів 6 МДж/кг їхній енергетичний потенціал можна оцінити у 2,3 млн т умовного палива, що становило близько 1 % споживаних у країні паливних ресурсів [26]. Але ці ресурси, на жаль, сьогодні втрачаються, адже в Україні немає індустрії переробки відходів, а установок/заводів по їх спалюванню – одиниці. В умовах російської агресії та втрати близько 9 МВт потужностей теплових та гідроелектростанцій отримання електричної та теплової енергії з відходів може частково вирішити проблеми електропостачання та одночасно зменшити кількість відходів [26].

В Європейському Союзі полігони для твердих побутових та промислових відходів все ще широко використовуються для розміщення відходів, але основним напрямком розвитку індустрії управління відходами є їх рециклінг (отримання вторинної сировини), і використання для отримання теплової та електричної енергії.

Так, при використанні термічного методу видалення відходів позитивним є досягнення зменшення маси відходів до 5-20 % від первинної їхньої кількості, а висока температура спалювання гарантує їх знезараження [26]. Але, установки по спалюванню відходів здатні виділяти токсичні хімічні сполуки в атмосферу – частинки пилу, а також утворювати тверді залишки, які можуть містити небезпечні компоненти. Процеси спалювання відходів можуть бути джерелом забруднення атмосфери [29]. Негативні наслідки для здоров'я, пов'язані зі спалюванням відходів, можуть виникати як для загальної популяції, так і працівників цих підприємств [26]. Відомо, що багато з хімічних речовин, які надходять у навколишнє середовище при спалюванні відходів, є стійкими в довкіллі, мають біоаккумулятивні та канцерогенні властивості або відносяться

до ендокринних «дизрапторів» (ЕД). Вони мають структуру подібну до ендогенних гормонів, що призводить до зв'язування з рецепторами гормонів і блокування їхніх сигналів. Крім того, ЕД можуть викликати порушення в різних органах, зокрема репродуктивні аномалії, метаболічні захворювання, ендокринні дисфункції та онкологічні захворювання [30].

Більшість досліджень, які виконувались на заводах по спалюванню ТПВ, були зосереджені на викидах специфічних хімічних сполук, що зазвичай присутні в димових газах установок по спалюванню відходів, таких як ртуть та інші важкі метали [31, 32], наночастинки [33], діоксини [34], леткі органічні сполуки (ЛОС) [35]. Вони можуть забруднювати ґрунти та рослинність органічними та неорганічними сполуками. У деяких європейських країнах було виявлено підвищений рівень діоксинів у коров'ячому молоці з ферм, що розташовані поблизу установок по спалюванню відходів, інколи вище встановлених нормативів [36, 37].

Населення, яке мешкає поблизу цих установок, так само як і населення, що проживає поблизу полігонів по розміщенню відходів, зазнають впливу хімічних речовин при вдиханні забрудненого повітря, споживаючи забруднені продукти, воду або через контакт шкіри з ґрунтом [38-40]. Робітники, які зайняті в обслуговуванні установок по спалюванню відходів, також можуть зазнавати впливу хімічних речовин у процесі своєї виробничої діяльності.

На думку дослідників контакт людини з викидами установок по спалюванню відходів підвищує ризик розвитку ряду онкологічних захворювань (рак легень і гортані, лейкемія, лімфома, саркома м'яких тканин), респіраторні захворювання, а також вроджені вади розвитку, аномальне співвідношення статі новонароджених і зміни в концентрації гормонів щитовидної залози в крові [38,39]. В інсинераторах, як правило, спалюються змішані відходи, які можуть містити небезпечні речовини, зокрема важкі метали та хлоровані органічні сполуки. Асортимент металів, що викидаються з установок, включає кадмій, талій, свинець, миш'як, сурму, хром, кобальт, мідь, марганець, нікель і ртуть. Вплив цих металів негативний, пов'язаний з низкою фатальних наслідків

для здоров'я людини, порушуючи майже всі системи організму. Зокрема, вплив металів може бути пов'язаний із хворобами нирок, респіраторними та серцево-судинними захворюваннями, нейротоксичністю, впливом на систему кровотворення [38]. Ряд металів класифіковані як канцерогени або як можливі канцерогени для людини. Деякі метали пов'язують з іншими (неканцерогенними) ефектами: свинець діє як модифікатор пізнавальної діяльності дітей; довготривалий вплив кадмію, ймовірно, відповідає за порушення в метаболізмі кальцію та остеопорозі [38, 39]. Тверді частинки, діоксид азоту, діоксид сірки та монооксид вуглецю належать до числа забруднювачів, які присутні у викидах із таких установок. Тверді частинки, в цілому, розглядаються як найвагоміша складова міського забруднення повітря. Епідеміологічні дослідження показали, що довготривалий вплив твердих частинок у повітрі пов'язаний з підвищеним ризиком розвитку бронхіту та деяким зменшенням очікуваної тривалості життя [41]. Воєнна агресія росії в Україні вже у 2022 році призвела до складних і значних змін концентрації забруднювачів повітря в Європі. Зокрема, зафіксовано середнє збільшення на 9,78 % твердих частинок діаметром менше 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) у містах біля лінії фронту [42]. Оскільки війна триває, збільшення рівнів забруднюючих речовин може мати потенційно значні наслідки для навколишнього середовища та здоров'я людини [26].

Оксиди азоту та діоксид сірки пов'язані з дихальними короткочасними ефектами, особливо у осіб з підвищеною вразливістю органів дихання. Викиди оксидів азоту та сірки сприяють утворенню озону і кислотних аерозолів відповідно. Монооксид вуглецю збільшує ймовірність розвитку захворювань серцево-судинної системи. Поліароматичні вуглеводні (ПАВ), що виділяються під час неповного згорання або піролізу органічних речовин, можуть проявляти естрогенні властивості, також повідомляється про їхній зв'язок з ішемічними хворобами серця та раком легень і сечового міхура [41, 43]. Встановлено, що ПАВ проявляють мутагенність, яка обернено пропорційна ступеню повноти згорання відходів [41, 43]. Погано контрольовані процеси горіння можуть

спричиняти виділення діоксинів, які справляють різноманітний токсичний вплив на здоров'я людини [26].

Вищевикладені негативні наслідки процесу термічного видалення ТПВ потребують розробки та впровадження цілого ряду профілактичних заходів. Основні вимоги до установок по спалюванню відходів викладені в Директиві 2000/76/ЄС «On the incineration of waste» та в Додатку VI «Technical provision relating to waste incineration plants and waste co-incineration plants» до Директиви 2010/75/ЄС «On industrial emissions (integrated pollution prevention and control)» [44, 45]. У Додатку VI до Директиви 2010/75/ЄС перераховано хімічні речовини, які необхідно контролювати при роботі установок для спалювання відходів: контролю підлягають поліхлоровані дибензо-п-діоксини та дибензофурани (сумарна концентрація 17 конгенерів ПХДД/ПХДФ), оксиди азоту ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3$), діоксид сірки, сумарний пил (масова концентрація твердих частинок), фтористий водень, хлористий водень, газоподібні та леткі органічні сполуки, метали та їхні сполуки (кадмій, талій, ртуть, сурма, миш'як, свинець, хром, кобальт, мідь, марганець, нікель, ванадій), встановлені відповідні нормативи та вимоги до перерахунку. Слід зазначити, що на відміну від вітчизняних нормативних документів, у Директивах ЄС встановлено єдиний сумарний норматив для сурми, миш'яку, свинцю, хрому, кобальту, міді, марганцю, нікелю, ванадію – $0,5 \text{ мг/м}^3$, для кадмію, талію – $0,05 \text{ мг/м}^3$. Також ці величини приведені до 11 % кисню у вихідних газах [44, 45].

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТА ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ВИКИДАХ УСТАНОВОК ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ВІДХОДІВ

Нами було проаналізовано роботу чотирьох установок з термічного видалення відходів з врахуванням даних конструкторської документації виробників і результатами власних досліджень при експериментальному спалюванні та стабільній роботі установок. Було проведено дослідження викидів в атмосферу при роботі трьох експериментальних та однієї стаціонарної установок з термічного видалення відходів, проведено порівняння за рядом показників із даними літератури [26].

Згідно з наданою конструкторською документацією від розробників та виробників експериментальні установки по спалюванню відходів мали такі параметри:

- комплекс по видаленню твердих побутових відходів методом високотемпературного піролізу КВТПВ (установка А) працює за температури в камері згорання 800 – 850 °С (температура в камері доспалювання до 1200 °С), обладнаний мокрим скруббером для очищення вихідних газів, залежно від потужності комплекс призначений для видалення 15–50 т відходів за добу;

- піролізовихровий теплогенератор зі змішувачем 3,0 МВт для спалювання відходів агропромислового комплексу (установка Б) працює при температурі 800 °С в камері згорання та призначений для спалювання від 40 до 50 кг відходів за годину;

- котел ВКУ (установка В) забезпечує досягнення температури 800 – 1500°С в камері згорання;

Стаціонарна установка (Г) по спалюванню твердих побутових відходів для виробництва теплової енергії знаходиться в Дарницькому районі м. Києва. При роботі цієї установки температура в середній зоні топки котла складала

827–941 °С, температура вихідних димових газів 163–233 °С. Було здійснено три відбори проб викидів у різні дні роботи цієї установки.

Для оцінки ступеня забруднення газових викидів в атмосферне повітря при роботі установок по спалюванню відходів визначали такі небезпечні хімічні сполуки як оксиди азоту, діоксид сірки, хлористий водень, тверді частинки, фтористий водень, важкі метали, поліхлоровані дибензо-п-діоксини та дибензофурані (ПХДД/ПХДФ) [26].

Відбір проб газових викидів проводили за стандартними методиками, що забезпечували необхідні параметри вимірювання концентрацій небезпечних хімічних речовин. Відбір здійснювали при спалюванні наступних видів відходів [26]:

- відсортовані тверді побутові відходи (установка А),
- відходи агропромислового комплексу – куряче перо (установка Б),
- відходи агропромислового комплексу – відділені від зерна кукурудзяні качани (установка Б),
- спеціально відібрані відходи деревини, гуми, пластмас, текстилю, шкіри (установка В),
- невідсортовані тверді побутові відходи (установка Г).

Визначення хімічних сполук у пробах здійснювали наступними методами: оксидів азоту – методом фотометрії згідно з МВ №4751-88 [46], діоксиду сірки – методом фотометрії згідно з МВ №4588-88 [47], хлористого водню – методом фотометрії згідно з МВ №1645-77 [48], масову концентрацію твердих частинок – гравіметричним методом згідно з ISO 9096:2003 [49], фтористий водень – згідно з ISO 15713:2006 [50]. Відбір проб та визначення вмісту металів та їх сполук проводили згідно з методом US EPA-Method 29 та ISO 15202:2012 [51, 52]. Сумарну концентрацію 17 конгенерів ПХДД/ПХДФ визначали згідно з методом US EPA-Method 1613 [53].

Було досліджено сім проб димових газів, відібраних при роботі чотирьох установок різної потужності при проведенні процесу термічного видалення

відходів різного складу. Результати досліджень газових викидів у повітря з установок по спалюванню відходів представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Вміст твердих частинок, оксидів азоту та сірки, хлористого та фтористого водню в газових викидах

Назва сполуки	Вміст, мг/м ³				
	установка А	установка Б	установка В	установка Г	A. Setyan et al. [54]
Оксиди азоту (NO+NO ₂)	18,0	0,6/1,6	78,4	200,0/136,0/117,5 ¹⁾	500–600 ²⁾
Діоксид сірки	не виявлено	н.д. ³⁾	9,5	5,0/31,25/15,53 ¹⁾	200–400 ²⁾
Хлористий водень	6,7	н.д. ³⁾	н.д. ³⁾	38,4/11,5/1,57 ¹⁾	400–800 ²⁾
Фтористий водень	н.д. ³⁾	н.д. ³⁾	н.д. ³⁾	4,1/6,9/0,18 ¹⁾	50–100 ²⁾
Масова концентрація твердих частинок	н.д. ³⁾	н.д. ³⁾	90	822/280/675 ¹⁾	1,0 ²⁾

Примітки:

1. Вміст хімічних сполук у перерахунку на 11 % O₂ в три різні дні відбору.
2. Вміст хімічних сполук на ділянці між електрофільтром та мокрим скруббером у перерахунку на 11 % O₂ на сміттєспалювальному заводі Giubiasco (Швейцарія).
3. Сполука не вимірювалась при роботі цієї установки.

Отримані результати та їхній аналіз свідчать, що у відібраних пробах газових викидів є перевищення встановлених нормативів, у тому числі нормативу ЄС (30,0 mg/Nm³), та нормативу для гранично допустимих викидів (ГДВ), який становить 50,0/150,0 мг/м³, для масової концентрації твердих частинок у викидах установок В та Г [26]. Перевищення відносно нормативу ЄС становило від 3,0 до 27,4 разів у різні дні відбору [26]. Подібні результати (56,0 мг/м³) щодо вмісту твердих частинок у викидах установки по спалюванню

відходів були отримані в дослідженнях Безрук З.Д. та Порєва В.А. [55]. У той же час за даними А. Setyan et al. на сміттєспалювальних заводах Giubiasco та Hinwil (Швейцарія), які обладнані електрофільтром, мокрим скрубєром, системою денітрифікації та рукавними фільтрами, досягнуто практично повної відсутності твердих частинок у викидах, а концентрація на ділянці між електрофільтром та мокрим скрубєром на сміттєспалювальному заводі Giubiasco була $1,0 \text{ мг/м}^3$ [54].

Також нами виявлено перевищення вмісту фтористого водню в 1,03 рази у викидах першого дня відбору та в 1,73 рази у викидах другого дня відбору газових викидів установки Г [26]. Згідно з даними Безрук З.Д. та Порєва В.А. [55] вміст фтористого водню у викидах складає $3,7\text{--}5,0 \text{ мг/м}^3$, а за даними А. Setyan et al. [54] – $50\text{--}100 \text{ мг/м}^3$ на ділянці між електрофільтром та мокрим скрубєром на сміттєспалювальному заводі Giubiasco та $0,0023 \text{ мг/м}^3$ у димовій трубі на сміттєспалювальному заводі Giubiasco (Швейцарія). Отже, в умовах України наявне очисне обладнання установки Г не забезпечує ефективне очищення від фтористого водню та інших забруднювачів повітря [26].

Вміст хлористого водню, оксидів азоту та діоксиду сірки у викидах досліджених нами установок становить $1,57\text{--}38,4 \text{ мг/м}^3$ (HCl), $0,6\text{--}200 \text{ мг/м}^3$ (NO_x) та $5,0\text{--}31,25 \text{ мг/м}^3$ (SO₂), що відповідає вимогам європейського законодавства [26]. Однак, як показано в дослідженнях А. Setyan et al [54], використання сучасних систем очищення димових газів (електрофільтр, мокрий скрубєр із NaHCO₃, система денітрифікації та рукавні фільтри) дозволяє мінімізувати викиди хлористого водню, оксидів азоту та діоксиду сірки в атмосферне повітря, і відповідно зменшити вплив на довкілля та здоров'я людини при роботі установок по спалюванню відходів.

Також слід звернути увагу на систему денітрифікації на сміттєспалювальному заводі Giubiasco, яка передбачає відновлення оксидів азоту NO та NO₂ до молекулярного азоту з використанням аміаку. Викиди оксидів азоту після такої обробки становлять $0,0006\text{--}0,0023 \text{ мг/м}^3$, що на декілька порядків менше встановленого нормативу в 400 мг/м^3 [54].

Дослідження викидів металів та їхніх сполук були проведені нами тільки для установки Г з урахуванням вимог Директиви ЄС щодо спектру досліджуваних сполук та встановлених для них нормативів. Відбір проб проводили тричі з інтервалом 12–15 діб для врахування зміни складу відходів на вміст досліджуваних сполук [26]. Результати досліджень представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Вміст металів та миш'яку в газових викидах установки Г

Хімічний елемент	Вміст металів та миш'яку в перерахунку на 11 % O ₂ , мг/м ³	Вміст металів згідно з даними літератури в газових викидах заводів по спалюванню відходів, mg/Nm ³ [27, 56]	Вимоги Директиви ЄС, mg/Nm ³ [20]
Кадмій	0,031/0,021/0,00011	1,3 ¹⁾ /0,001-0,03 ²⁾ /0,001 ³⁾	0,05 (сумарно)
Талій	< 0,0025/< 0,0025/ < 0,0025	---	
Ртуть	0,00009/0,0012/0,012	1,3 ¹⁾ /0,001-0,03 ²⁾ /0,002 ³⁾	0,05
Сурма	0,056/0,429/0,035	---	0,5 (сумарно)
Миш'як	0,00014/0,00038/ < 0,0001	---	
Свинець	0,249/0,16/0,007	74,7 ⁴⁾ /0,06-0,4 ⁵⁾	
Хром	0,002/0,000125/0,000125	74,7 ⁴⁾ /0,06-0,4 ⁵⁾	
Кобальт	0,00017/0,00017/0,00017	---	
Мідь	0,064/0,023/0,0009	74,7 ⁴⁾ /0,06-0,4 ⁵⁾	
Марганець	0,0016/0,000016/0,0011	74,7 ⁴⁾ /0,06-0,4 ⁵⁾	
Нікель	0,00025/0,00025/0,0005	---	
Ванадій	0,00017/0,00011/0,00017	---	

Примітки:

1. Середня сумарна концентрація кадмію та ртуті (у перерахунку на 9 % O₂) у неочищених димових газах заводів по спалюванню відходів згідно з Pierre Le Cloirec [27].

2. Середня сумарна концентрація кадмію та ртуті (у перерахунку на 9 % O₂) в очищених димових газах заводів по спалюванню відходів згідно з Pierre Le Cloirec [27].

3. Середня концентрація у викидах 4-х заводів по спалюванню відходів згідно з *Jun Dong et al.* [57].

4. Середня сумарна концентрація свинцю, хрому, міді та марганцю (у перерахунку на 9 % O₂) у неочищених димових газах заводів по спалюванню відходів згідно з *Pierre Le Cloirec* [27].

5. Середня сумарна концентрація свинцю, хрому, міді та марганцю (у перерахунку на 9 % O₂) в очищених димових газах заводів по спалюванню відходів згідно з *Pierre Le Cloirec* [27].

Слід відзначити, що під час другого відбору проб у викидах було зафіксовано перевищення сумарного вмісту сурми, миш'яку, свинцю, хрому, кобальту, міді, марганцю, нікелю, ванадію та їхніх сполук в 1,22 раза (при нормативі ЄС – 0,5 мг/м³ виявлено 0,6124 мг/м³). Причому основним джерелом забруднення була сурма 0,429 мг/м³ [26]. Значна кількість сурми та її сполук у викидах може бути пов'язана зі спалюванням будівельних та інших полімерних матеріалів, в яких в якості антипірену було використано триоксид сурми. За даними D. van Velzen та H. Langekamp [57] матеріали з цим антипіреном є основним джерелом сурми у викидах установок по спалюванню відходів. Триоксид сурми є можливим канцерогеном для людини (група 2В) [58].

Порівнюючи отримані дані по сумарному вмісту свинцю, хрому, міді та марганцю (0,009 - 0,3166 мг/м³) з даними *Pierre Le Cloirec* [27] для очищених димових газів заводів по спалюванню відходів (0,06-0,4 мг/м³), можна зробити висновок, що вони знаходяться в одному діапазоні значень та значно менші за концентрації в неочищених димових газах (74,7 мг/м³) [26]. Вміст кадмію та ртуті у викидах як сумарно, так і окремо також знаходиться в одному діапазоні з даними *Pierre Le Cloirec* для очищених димових газів установок по спалюванню відходів і значно менший, ніж для неочищених димових газів (сумарно для кадмію та ртуті 1,3 мг/м³) [26].

Отже, наявна система очищення димових газів у цілому забезпечує очищення димових газів від металів та їх сполук. Але при наявності в суміші відходів суттєво забруднених окремими сполуками металів можливі аномальні викиди окремих металів та їх сполук [26].

Одними з найнебезпечніших забруднювачів довкілля, що утворюються в процесі спалювання відходів, є поліхлоровані дибензо-п-діоксини та дибензофурани. Ці поліхлоровані сполуки відносяться до групи стійких органічних забруднювачів довкілля. Дослідження вмісту поліхлорованих дибензо-п-діоксинів та дибензофуранів у викидах проводяться постійно в різних країнах і є необхідною складовою оцінки безпеки установок по спалюванню відходів.

Так, згідно з дослідженнями Qi Wang et al. сумарна концентрація 17 конгенерів ПХДД/ПХДФ у викидах 12 установок по спалюванню небезпечних відходів (медичні відходи та відходи хімічної промисловості), розташованих на території Китаю, становить від 0,031 до 0,902 нг TEQ/Nm³ (в перерахунку на 11 % O₂) залежно від типу установки та системи очищення димових газів [59] (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах 12 установок по спалюванню небезпечних відходів, розташованих на території Китаю [59]

Позна-чення	Тип установки	Потужність (т відходів/доба)	Система очищення димових газів	Концентрація ПХДД/ПХДФ (нг TEQ/Nm ³)
H01	Обертова піч	50	Напівсухий скруббер + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр	0,211
H02	Обертова піч	15	Напівсухий скруббер + рукавний фільтр	0,471
H03	Обертова піч	100	Напівсухий скруббер + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр	0,049
H04	Обертова піч	37	Напівсухий скруббер + рукавний фільтр	0,065

Позна-чення	Тип установки	Потужність (т відходів/доба)	Система очищення димових газів	Концентрація ПХДД/ПХДФ (нг TEQ/Nm ³)
Н05	Обертова піч	20	Напіvsухий скрубєр + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр	0,124
Н06	Киплячий шар	100	Напіvsухий скрубєр + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр	0,031
Н07	Обертова піч	10	Напіvsухий скрубєр + рукавний фільтр	0,35
Н08	Піролізна піч	5	Напіvsухий скрубєр + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр	0,243
Н09	Обертова піч	6	Фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр	0,465
Н10	Піролізна піч	36	Багатоканальний циклон + Напіvsухий скрубєр + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр	0,062
Н11	Обертова піч	24	Напіvsухий скрубєр + фільтр з активованим вугіллям + рукавний фільтр	0,301
Н12	Піролізна піч	5	Напіvsухий скрубєр + рукавний фільтр	0,902

Нами були проведені дослідження визначення вмісту ПХДД/ПХДФ (сумарної концентрації 17 конгенєрів) у газових викидах установки Г.

Відібрано 5 проб у три різні дні роботи установки з інтервалом 12–15 діб для врахування зміни складу відходів на вміст досліджуваних сполук. Крім того, на другий та третій день відбору проб було проведено відбір проб двічі в різні часові інтервали роботи установки. Результати наведено в табл. 2.4–2.8.

Таблиця 2.4

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах (1 день відбору, проба №1)

Конгенер	Концентрація, нг/м ³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF	Концентрація, C _{WHO-TEQ} , нг/м ³
2,3,7,8-ТХДД	< 0,001	1	0,001
1,2,3,7,8-ПеХДД	< 0,001	1	0,001
1,2,3,4,7,8-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД	< 0,009	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД	< 0,098	0,0003	0,00003
2,3,7,8-ТХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8-ПеХДФ	< 0,005	0,03	0,00001
2,3,4,7,8-ПеХДФ	< 0,002	0,3	0,0006
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДФ	< 0,001	0,0003	0,00003

Примітка: концентрація, C_{WHO-TEQ} ПХДД/ПХДФ, яка включає 100 % межу кількісного визначення 0,007 нг/м³ (у перерахунку на 11 % O₂ - 0,01 нг/м³).

Таблиця 2.5

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах (2 день відбору, проба №2)

Конгенер	Концентрація, нг/м ³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF	Концентрація, C _{WHO-TEQ} , нг/м ³
2,3,7,8-ТХДД	< 0,001	1	0,001
1,2,3,7,8-ПеХДД	< 0,001	1	0,001
1,2,3,4,7,8-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД	< 0,009	0,01	0,0001

Конгенер	Концентрація, нг/м ³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF	Концентрація, C _{WHO-TEQ} , нг/м ³
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД	< 0,098	0,0003	0,00003
2,3,7,8-ТХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8-ПеХДФ	< 0,005	0,03	0,00001
2,3,4,7,8-ПеХДФ	< 0,002	0,3	0,0006
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДФ	< 0,001	0,0003	0,00003

Примітка: Концентрація $C_{\text{WHO-TEQ}}$ ПХДД/ПХДФ, яка включає 100 % межу кількісного визначення 0,007 нг/м³ (у перерахунку на 11 % O₂ – 0,01 нг/м³).

Таблиця 2.6

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах (2 день відбору, проба №3)

Конгенер	Концентрація, нг/м ³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF	Концентрація, C _{WHO-TEQ} , нг/м ³
2,3,7,8-ТХДД	< 0,001	1	0,001
1,2,3,7,8-ПеХДД	< 0,001	1	0,001
1,2,3,4,7,8-ГкХДД	< 0,005	1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДД	2,14	0,1	0,214
1,2,3,7,8,9-ГкХДД	1,09	0,1	0,109
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД	5,99	0,01	0,059
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД	< 0,098	0,0003	0,00003
2,3,7,8-ТХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8-ПеХДФ	< 0,005	0,03	0,00001
2,3,4,7,8-ПеХДФ	< 0,002	0,3	0,0006
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ	1,62	0,1	0,162
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ	1,47	0,1	0,147
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ	2,81	0,1	0,281

Конгенер	Концентрація, нг/м ³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF	Концентрація, C _{WHO-TEQ} , нг/м ³
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ	3,53	0,01	0,035
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДФ	< 0,001	0,0003	0,00003

Примітка: Концентрація C_{WHO-TEQ} ПХДД/ПХДФ, яка включає 100 % межу кількісного визначення - 1,01 нг/м³ (у перерахунку на 11% O₂ - 1,41 нг/м³).

Таблиця 2.7

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах (3 день відбору, проба №4)

Конгенер	Концентрація, нг/м ³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF	Концентрація, C _{WHO-TEQ} , нг/м ³
2,3,7,8-ТХДД	< 0,001	1	0,001
1,2,3,7,8-ПеХДД	< 0,001	1	0,001
1,2,3,4,7,8-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД	< 0,009	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД	< 0,098	0,0003	0,00003
2,3,7,8-ТХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8-ПеХДФ	< 0,005	0,03	0,00001
2,3,4,7,8-ПеХДФ	0,002	0,3	0,0006
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ	0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ	0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ	0,005	0,1	0,0005
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ	0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ	0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ	0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДФ	0,001	0,0003	0,00003

Примітка: Концентрація, C_{WHO-TEQ} ПХДД/ПХДФ, яка включає 100 % межу кількісного визначення 0,007 нг/м³ (у перерахунку на 11% O₂ - 0,01 нг/м³).

Таблиця 2.8

Вміст ПХДД/ПХДФ у газових викидах (3 день відбору, проба №5)

Конгенер	Концентрація, нг/м ³	Коефіцієнт еквіваленту токсичності WHO-TEF	Концентрація, C _{WHO-TEQ} , нг/м ³
2,3,7,8-ТХДД	< 0,001	1	0,001
1,2,3,7,8-ПеХДД	< 0,001	1	0,001
1,2,3,4,7,8-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДД	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДД	1,5	0,01	0,015
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДД	< 0,098	0,0003	0,00003
2,3,7,8-ТХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8-ПеХДФ	< 0,005	0,03	0,00001
2,3,4,7,8-ПеХДФ	< 0,002	0,3	0,0006
1,2,3,4,7,8-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,6,7,8-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,7,8,9-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
2,3,4,6,7,8-ГкХДФ	< 0,005	0,1	0,0005
1,2,3,4,6,7,8-ГпХДФ	2,0	0,01	0,02
1,2,3,4,7,8,9-ГпХДФ	< 0,01	0,01	0,0001
1,2,3,4,6,7,8,9-ОХДФ	3,3	0,0003	0,001

Примітка: Концентрація, C_{WHO-TEQ} ПХДД/ПХДФ, яка включає 100 % межу кількісного визначення 0,043 нг/м³ (у перерахунку на 11 % O₂ – 0,058 нг/м³).

Отже, одержані результати свідчать, що із п'яти відібраних та проаналізованих на вміст ПХДД/ПХДФ проб перевищення встановленого нормативу (0,1 нг/Нм³) приблизно в 14 разів було виявлено лише в пробі №3. Ймовірно, таке перевищення обумовлено наявністю хлорорганічних сполук

(полівінілхлорид та інші) в спалюваних у цей час твердих побутових відходах [26].

Слід відзначити, що вміст ПХДД/ПХДФ у димових газах установки Г у трьох зразках був значно меншим, ніж за даними досліджень Qi Wang et al. [59] ($0,01 \text{ нг/м}^3$ та $0,03061\text{-}0,90171 \text{ нг/м}^3$ відповідно), в одному зразку вміст ПХДД/ПХДФ ($0,058 \text{ нг/м}^3$) знаходився в одному діапазоні з даними Qi Wang et al [26]. При цьому слід взяти до уваги, що дослідження Qi Wang et al. проведені на установках по спалюванню небезпечних відходів (медичні відходи та відходи хімічної промисловості), компонентом яких є хлорвмісні сполуки (полівінілхлорид, хлорвмісні деззасоби та ін.). В той же час установка Г призначена тільки для спалювання твердих побутових відходів, і у разі коли ці відходи забрудненні хлорорганічними сполуками, вміст ПХДД/ПХДФ у димових газах одразу ж зростає більш, ніж на порядок. Саме це і було виявлено в пробі №3. Тобто наявна система очищення димових газів не забезпечує їх очищення від поліхлорованих дибензо-п-діоксинів та поліхлорованих дибензофуранів, а кількість цих сполук у викидах прямо залежить від вмісту хлорвмісних сполук у спалюваних відходах [26].

Оцінюючи можливий вплив на здоров'я людини хімічних сполук, перевищення концентрацій яких відносно встановлених нормативів було виявлено в процесі досліджень, можна відмітити, що для поліхлорованих дибензо-п-діоксинів та поліхлорованих дибензофуранів це може бути канцерогенний ефект, специфічні хвороби шкіри («хлоракне»), репродуктивна токсичність для чоловіків та вади розвитку дітей.

Згідно класифікації IARC, найтоксичніший із поліхлорованих дибензо-п-діоксинів та поліхлорованих дибензофуранів 2,3,7,8-ТХДД відноситься до Групи 1. Тобто, є достатні докази канцерогенності для людини. Крім того, ця категорія може застосовуватися, якщо є як переконливі докази в людей, які зазнали впливу, що агент проявляє ключові характеристики канцерогенів, так і достатні докази канцерогенності у експериментальних тварин. Крім того,

2,3,4,7,8-пентахлордибензофуран і 3,3',4,4',5-пентахлор-біфеніл також були класифіковані як канцерогени для людини групи 1 [60].

На сьогодні результати епідеміологічних досліджень, в яких вивчався вплив ПХДД/ПХДФ на ризик розвитку раку молочної залози досить неоднозначні.

Зокрема, дослідження, проведені Danjou AM et al [61], не показали зв'язку між надходженням діоксинів із їжею та ризику розвитку раку молочної залози. Середнє добове надходження оцінювалося як $1,3 \pm 0,4$ пг/кг маси тіла/добу. Збільшення надходження діоксинів на 0,4 пг/кг маси тіла/добу не було пов'язане із загальним ризиком розвитку раку молочної залози (Коефіцієнт ризику = 1,00; 95 % довірчий інтервал: 0,96, 1,05). В той же час в дослідженнях Dai D., Oyana T.J. [62] показано, що кількість випадків раку молочної залози зросла з 1985 по 2002 рік серед жінок у віці від 45 до 64 років, і вони мали найвищий ризик розвитку раку, проживання на забруднених територіях або поблизу них просторово пов'язане зі збільшенням випадків раку молочної залози. В дослідженнях VoPham T et al [63] встановлено, що жінки, які проживали в радіусі 10 км від муніципальних сміттєспалювальних заводів мали підвищений ризик розвитку раку молочної залози (Коефіцієнт ризику = 1,15, 95 % довірчі інтервали (ДІ): 1,03, 1,28), із більшим ризиком для жінок, які жили в межах 5 км (Коефіцієнт ризику = 1,25, 95% ДІ: 1,04, 1,52). Позитивний зв'язок також спостерігався для довшої тривалості проживання та вищих викидах ПХДД/ПХДФ в межах 3, 5 та 10 км. Всього було проаналізовано інформацію щодо 112 397 жінок [63]. Автори дослідження зробили висновок що спалювання ТПВ є потужним джерелом утворення діоксинів, адже щороку спалюється приблизно 36 мільйонів тон ТПВ. Крім того, збільшення впливу на розвиток раку молочної залози було пов'язане зі збільшенням обсягів пилу та концентрації у ньому конгенерів ПХДД/Ф. Зокрема, спостерігався позитивний зв'язок при дослідженні впливу діоксинів відповідно близькості житлової забудови до санітарно-захисної зони, тривалості проживання та обсягу викидів [63].

Слід відмітити, що злоякісні новоутворення молочної залози серед жінок займають перше місце як за захворюваністю серед усіх ЗН (в 2022 році – 22,4 %), так і в структурі смертності від ЗН (20,6 % в цьому ж році). За даними Національного канцер-реєстру України [25] в таблиці 2.9 приведені дані щодо загальної кількості випадків захворювань в Україні на всі нозології ЗН, ЗН молочної залози та ЗН трахеї, бронхів, легені та дані щодо загальної кількості померлих від злоякісних новоутворень за 2019-2023 рр.

Таблиця 2.9

Дані щодо загальної кількості випадків захворювань в Україні на всі нозології ЗН, ЗН молочної залози та ЗН трахеї, бронхів, легені та дані щодо загальної кількості померлих від злоякісних новоутворень за 2019-2023 рр.

Локалізація злоякісних новоутворень (ЗН)	МКХ- 10	Загальна кількість випадків захворювання/ Загальна кількість померлих				
		2019	2020	2021	2022	2023 ¹⁾
Усі ЗН	C00-	138 509/	113 368/	120 055/	106 151/	110 022/
	C96	61 289	55 941	53 009	42 660	42 043
ЗН молочної залози	C50	14 855/	12 824/	14 150/	12 335/	12 683/
		5 472	4 998	4 769	3 881	3 553
ЗН трахеї, бронхів, легені	C33-	12 720/	10 351/	10 432/	9 164/	9 042/
	C34	9360	8339	7 637	6 172	6 217

Примітка 1. - Оперативні дані.

На жаль, оскільки після початку повномасштабного вторгнення російської федерації чисельність та статеві-вікова структура населення України залишається невідомою, Національний канцер-реєстр не публікує стандартизовані дані. Аналізуючи приведені в таблиці 2.9 можна зробити висновок, що ЗН молочної залози та ЗН трахеї, бронхів, легені є провідними онкологічними патологіями серед населення України. І ці злоякісні новоутворення прямо, чи опосередковано пов'язані із забрудненням повітря як твердими частинками (пилом), так і ПХДД/ПХДФ.

Специфічні хвороби шкіри. Хлоракне, специфічний тип акнеподібного дерматозу, вважається одним із найбільш чутливих і специфічних біомаркерів

інтоксикації 2,3,7,8-ТХДД. Хлоракне - добре відоме клінічне захворювання, що характеризується висипанням чорних і білих вугрів, епідермальних кіст, пустул і папул, схожих на вугри. Ураження від хлоракне виявляються на обличчі, шиї, мочках вух, плечах, животі, ногах і геніталіях. Найбільш часто уражаються ділянки півмісяця скулової кістки та острівного трикутника. Хоча клінічні ознаки хлоракне чітко описані, раціональному підходу до терапії заважає недостатнє розуміння його патогенезу та молекулярних шляхів [64]. Також характерним проявом ураження ПХДД/Ф є хвороба Юшо. Якщо раніше вважалось, що ця хвороба більше провокується ПХБ, то подальші поглиблені дослідження показали, що провідну роль у виникненні цієї хвороби відіграє саме ПХДФ [65].

Репродуктивна токсичність у чоловіків: зниження кількості сперматозоїдів; атрофія сім'яників; аномальний розвиток чоловічих статевих залоз; збільшення рівня пролактину; зниження рівня тестостерону, зниження лібідо (статевого потягу), фемінізація [66].

Вади розвитку в немовлят та маленьких дітей внаслідок пренатального впливу та годуванням дітей контамінованим материнським молоком. Дослідження у В'єтнамі показали, що постійна експозиція діоксинів впливає на фізичний та розумовий розвиток немовлят [67, 68]. Перинатальний вплив діоксинів, в першу чергу 2,3,7,8-ТХДД, може зменшити активність дзеркальних нейронів, що відіграє важливу роль у соціально-емоційній поведінці, особливо у дівчаток [69].

Інші системні ефекти, які можуть бути викликані опосередковано: хвороби печінки, порушення роботи органів дихання, прискорене старіння організму, порушення функціонування нервової системи тощо.

Основним носієм діоксинів в біосфері є пил, в якому їх вміст досягає 6,5 мкг/кг. Слід відмітити, що головне джерело надходження діоксинів в організм людини – продукти харчування – на них припадає до 95-96 % всієї дози, що надходить. Інша кількість діоксинів розподіляється наступним чином: з повітрям надходить 3,5 %, з ґрунтом – 1,3 % і з питною водою – 0,001 %.

Вважають, що діоксини надходять в організм людини з харчовими продуктами, перш за все з м'ясом і молоком, проте можливість такої оцінки для України фактично неможлива через відсутність системи моніторингу стійких органічних забруднювачів довкілля.

В 2024 році Міністерством аграрної політики та продовольства України затверджено методи відбору зразків та лабораторних досліджень (випробувань) для визначення рівнів діоксинів, діоксиноподібних поліхлорованих біфенілів і недіоксиноподібних поліхлорованих біфенілів у деяких харчових продуктах для цілей державного контролю (Наказ № 1692 від 31.05.2024) [70].

Результати вказаних в цьому наказі підтверджуючих методів дозволено використовувати для таких цілей, як:

- ✓ визначення низьких фонових рівнів у рамках моніторингу деяких харчових продуктів;
- ✓ відстеження часових тенденцій;
- ✓ оцінка експозиції населення;
- ✓ створення бази даних для потенційної переоцінки рівнів дії та визначення максимально допустимих рівнів ПХДД/Ф та діоксиноподібних ПХБ;
- ✓ встановлення типів конгенерів для ідентифікації джерела потенційного забруднення [70].

До підтверджуючих методів віднесено метод газової хроматографії з мас-спектрометрією високої роздільної здатності - ГХ-ВРМС (GC-HRMS) та метод газової хроматографії з тандемним мас-спектрометричним детектуванням ГХ-МС/МС (GC-MS/MS).

Згідно з ДСанПіН «Максимально допустимі рівні окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах» (затв. наказом МОЗ України 13.05.2013 №368 (у редакції наказу МОЗ України від 22 травня 2020 року №1238) [71] встановлено нормативи для діоксинів і ПХБ (PCBs) для м'яса, м'ясопродуктів, печінки та жиру великої рогатої худоби, овець, домашньої птиці та свиней, філе (м'язового м'яса) риби і рибопродуктів, а також

продуктів, вироблених з них, печінки риби, олії отриманої з морських тварин, молока сирого і молочних продуктів включаючи молочний жир, яєць курячих і яйцепродуктів з них, змішаних тваринних жирів, рослинних олій та жирів, дитячого харчування.

Результати моніторингу діоксинів, діоксиноподібних поліхлорованих біфенілів і недіоксиноподібних поліхлорованих біфенілів в цих харчових продуктах матиме важливе значення для оцінки експозиції для загальної популяції, і в першу чергу, дитячого населення.

Також значна кількість ПХДД/ПХДФ надходить до організму людини через органи дихання. При цьому саме хронічне споживання з контамінованою їжею вважається найвагомішим джерелом токсикологічних ефектів для здоров'я людини для діоксинів.

При дослідженні викидів установок по спалюванню відходів було зафіксовано перевищення концентрації твердих частинок відносно нормативу ЄС, яке становило від 3,0 до 27,4 разів [26]. Тверді частинки $PM_{2,5}$, як компонент забруднення атмосферного повітря, були визначені Всесвітньою організацією охорони здоров'я як один із забруднювачів, що становить найбільшу загрозу для здоров'я населення. Дані літератури свідчать про зв'язок між забрудненням повітря, особливо $PM_{2,5}$, і ризиком підвищення артеріального тиску, гострого коронарного синдрому, інфаркту міокарда, серцевої аритмії та серцевої недостатності. Основні механізми, що лежать в основі негативних наслідків забруднення повітря, включають окислювальний стрес, системне запалення, ендотеліальну дисфункцію, вегетативний дисбаланс і тромбогенність [72-76].

Забруднення повітря має здебільшого антропогенний характер і є поширеним наслідком індустріалізації та урбанізації. Забруднювачі повітря класифікуються відповідно до аеродинамічних еквівалентних діаметрів [крупнодисперсні тверді частки (PM) від 2,5 до 10 мкм (PM_{10}), дрібні $PM \leq 2,5$ мкм ($PM_{2,5}$) і наддрібні $PM \leq 0,1$ мкм ($PM_{0,1}$) і газоподібні забруднювачі в нанометровому діапазоні [72]. Серед усіх забруднювачів повітря вплив дрібних

твердих частинок і газоподібних забруднювачів повітря вважається найбільш шкідливим для здоров'я людини. Варіації розміру частинок і складу твердих частинок призводять до різного ступеня токсичності [73]. Залежно від розміру фракції, РМ можуть діяти на впливати на різні системи та органи організму людини, що, в свою чергу, пояснює широкий спектр його негативного впливу на здоров'я.

Крім того, дані свідчать про те, що PM_{10} і $PM_{2,5}$ мають особливо сильний негативний вплив на серцево-судинну систему та загальний стан здоров'я населення. $PM_{2,5}$ зараз вважається однією з головних причин смерті та інвалідності. Рівні впливу РМ зазвичай використовуються як сурогатний маркер, коли визначається загальний вплив забруднення навколишнього повітря на здоров'я [74]. Також показано існування залежного від часу та дози зв'язку між рівнем впливу та наслідками для здоров'я. Для $PM_{2,5}$ існує 95 % ймовірність того, що ризик збільшення загальної смертності на кожні 10 мкг/м^3 збільшення концентрації становить від 4 % до 8,3 %. [75].

Дослідження Richard B Hayes et al. [76] показали, що довготривалий вплив забруднення повітря дрібними твердими частинками пов'язаний із ішемічною хворобою серця та смертністю від інсульту, причому підвищені ризики виникають у діапазоні та нижче поточного стандарту США для довілля $PM_{2,5}$ (12 мкг/м^3). За даними цього дослідження кожне збільшення на 10 мкг/м^3 $PM_{2,5}$ (загальний діапазон $2,9\text{--}28,0 \text{ мкг/м}^3$) асоціювалося, у повністю скоригованих моделях, із збільшенням смертності від ішемічної хвороби серця на 16 % (коефіцієнт ризику (HR) 1,16; 95% ДІ 1,09-1,22) і збільшенням смертності від інсульту на 14% (HR 1,14; ДІ 1,02-1,27). Порівняно з експозицією $PM_{2,5} < 8 \text{ мкг/м}^3$ (референтна величина), ризики серцево-судинних захворювань були підвищені відносно експозиції $PM_{2,5}$ у діапазоні $8\text{--}12 \text{ мкг/м}^3$ (HR 1,04; 95% ДІ 1,00-1,08), у діапазоні $12\text{--}20 \text{ мкг/м}^3$ (HR 1,08; 95% ДІ 1,03-1,13) і в діапазоні $20+ \text{ мкг/м}^3$ (HR 1,19; 95% ДІ 1,10-1,28).

З метою захисту здоров'я людини протягом останніх десятиліть були встановлені нові нормативи щодо якості повітря. Поточні рекомендації ВООЗ

щодо якості повітря рекомендують середньорічний рівень концентрації $PM_{2,5}$ $5,0 \text{ мкг/м}^3$ і 24-годинний середній рівень концентрації $PM_{2,5}$ $15,0 \text{ мкг/м}^3$ [77], тоді як стандарт якості повітря Європейського Союзу (ЄС) $PM_{2,5}$ менш суворі та встановлені на рівні річних концентрацій $20,0 \text{ мкг/м}^3$ [78]. В Україні встановлено цільовий показник для $PM_{2,5}$ для атмосферного повітря на рівні 25 мкг/м^3 (постанова Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. № 827 [8]).

На Рис. 2.2 наведені дані ВООЗ щодо рівня забруднення атмосферного повітря $PM_{2,5}$ в різних країнах в 2019 році. Для України цей показник в середньому становив $13,51 \text{ мкг/м}^3$ ($10,05 - 18,45 \text{ мкг/м}^3$) [79].

Згідно з даними 2024 World Air Quality Report Україна повідомила про незначне підвищення середньорічної національної концентрації $PM_{2,5}$, яка зросла з $8,6 \text{ мкг/м}^3$ 2023 року до $9,2 \text{ мкг/м}^3$ 2024 року [80]. Загальна тенденція така, що великі міста, у тому числі Львів, Одеса, Чернівці та Вінниця, відчули зниження рівнів забруднення, тоді як у невеликих містах загалом спостерігалось зростання. Серед 23 міст, які повідомили дані, в 12 зафіксували зниження як в 2024, так в 2023 роках, тоді як 11, включаючи столицю м. Київ, звітували про збільшення концентрації $PM_{2,5}$.

Урядова мережа моніторингу розширилася, додавши дані від 15 нових точок моніторингу у нових містах тільки за 2024 рік. Ці зусилля продовжують доповнюватися неурядовими джерелами. Як і в попередні роки, рівень забруднення повітря залишається вищим протягом зимових місяців. На рисунку 2.2 наведенні дані щодо середньомісячних рівнів забруднення атмосферного повітря $PM_{2,5}$ в 5 містах в 2024 році.

Concentrations of fine particulate matter (PM_{2.5})

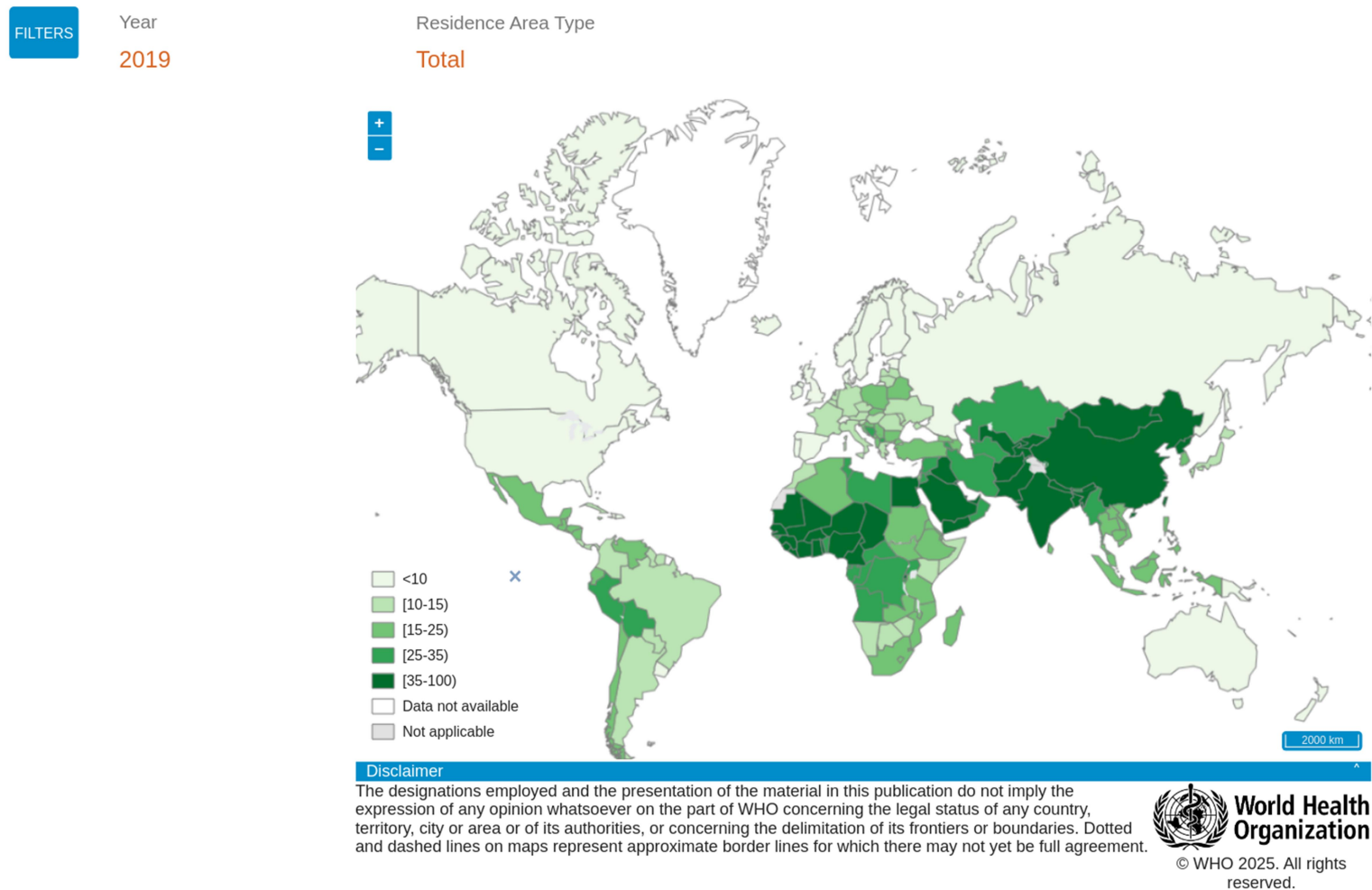


Рис. 2.1 Рівні забруднення атмосферного повітря PM_{2.5} в світі в 2019 році за даними ВООЗ [79]

Україна продовжує стикатися з проблемами якості повітря через триваючу агресію з боку Росії. Крім заподіяння шкоди життю людей, застосування ракет, бомб та безпілотних літальних апаратів для руйнування цивільної інфраструктури призводить до значних викидів твердих частинок. Цілеспрямоване руйнування енергетичної інфраструктури в зимові місяці призвело до дефіциту електроенергії, що потребувало збільшення використання твердого палива для опалення і приготування їжі. Крім того, лісові пожежі та горіння торфовища є додатковими природними джерелами забруднення повітря поряд з антропогенними викидами внаслідок конфлікту. Руйнування будинків та інфраструктурних об'єктів одразу ж впливає на забруднення повітря $PM_{2,5}$ в зоні ураження [80].

City	2024	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	2023
Kyiv	9.4	13.0	10.1	14.0	8.4	8.1	8.9	7.2	8.1	11.4	9.5	11.9	11.1	8.9
Lviv	8.1	11.8	9.7	12.6	8.3	4.2	8.5	7.8	7.4	7.6	7.6	9.5	8.2	9.3
Odessa	5.5	8.2	6.3	8.2	4.0	3.2	4.3	6.3	4.7	4.2	4.1	6.3	6.3	7.1
Chernivtsi	13.8	24.8	18.1	19.1	7.9	6.2	7.5	9.2	9.9	10.4	16.9	20.0	15.6	15.1
Vinnitsia	9.7	14.0	12.3	18.0	7.0	8.8	6.7	7.6	7.8	8.3	9.5	11.0	8.2	10.2

Рис. 2.2 Середньомісячні рівні забруднення атмосферного повітря $PM_{2,5}$ в Києві, Львові, Одесі, Вінниці та Чернівцях в 2024 році [80].

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ВИКИДАХ УСТАНОВОК ДЛЯ СПАЛЮВАННЯ ВІДХОДІВ, РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЇЇ ВДОСКОНАЛЕННЯ

Згідно з Порядком функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем, затвердженим Постановою Кабінету Міністрів України від 13 червня 2024 р. № 684 «Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем» [81]: «державна система моніторингу довкілля (далі - система моніторингу) – це система спостережень, збирання, оброблення, аналізу, зберігання інформації та обміну інформацією про стан довкілля, вплив на нього, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття ефективних управлінських рішень в Україні з метою забезпечення досягнення Цілей сталого розвитку».

Система моніторингу включає такі підсистеми:

- моніторинг атмосферного повітря;
- моніторинг вод;
- моніторинг земель і ґрунтів;
- моніторинг лісів;
- моніторинг біологічного та ландшафтного різноманіття;
- моніторинг у сфері управління відходами;
- моніторинг геологічного середовища;
- моніторинг впливу фізичних факторів (температура, шум, вібрація, іонізуюче та неіонізуюче випромінювання) [81].

Моніторинг за підсистемами проводиться згідно з відповідними порядками, затвердженими Кабінетом Міністрів України.

Цілями системи моніторингу є:

- інформування населення про стан довкілля;

- забезпечення органів державної влади, органів місцевого самоврядування даними та інформацією, одержаними в результаті проведення моніторингу довкілля, що необхідні для прийняття ними управлінських рішень в галузі охорони природного навколишнього середовища;
- оперативне та безперервне інформування органів державної влади, органів місцевого самоврядування і населення про стан довкілля в разі загрози виникнення або виникнення надзвичайної екологічної ситуації;
- збирання інформації про кількісні та якісні характеристики стану довкілля і природних ресурсів, відстежування та прогнозування тенденцій щодо їх змін;
- підвищення рівня оперативності, достовірності, об'єктивності та якості інформаційного обслуговування користувачів на всіх рівнях;
- обґрунтування здійснення природоохоронних заходів та відстеження ефективності їх здійснення;
- сприяння розвитку міжнародного співробітництва в галузі охорони природного навколишнього середовища;
- захист екологічних інтересів людини і суспільства, збереження та відтворення природних екосистем, ощадливе використання природних ресурсів, запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям [81].

До основних завдань суб'єктів системи моніторингу належить:

- забезпечення проведення безперервних, довгострокових, систематичних спостережень за станом довкілля відповідно до програм моніторингу підсистем системи моніторингу;
- забезпечення єдності вимірювань у підсистемах системи моніторингу;
- збирання, зберігання і оброблення даних спостережень, забезпечення їх достовірності та об'єктивності;
- збирання, оброблення, проведення аналізу, зберігання інформації та обмін екологічною інформацією, одержаною в результаті проведення моніторингу довкілля, вплив на стан довкілля і прогнозування його змін;

- оприлюднення екологічної інформації, одержаної в результаті проведення моніторингу довкілля та його складових, забезпечення доступу до неї;
- розроблення науково обґрунтованих рекомендацій в галузі охорони природного навколишнього середовища;
- інформаційне обслуговування органів державної влади, зокрема забезпечення здійснення звітності за міжнародними договорами України в галузі охорони навколишнього природного середовища, органів місцевого самоврядування, а також забезпечення населення інформацією про стан довкілля;
- періодичне визначення та подання пропозицій щодо внесення змін до переліку інформаційних потреб управління в галузі охорони навколишнього природного середовища [81].

Згідно з Порядком функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем МОЗ і установи, що належать до сфери його управління, надають всім зацікавленим суб'єктам системи моніторингу результати проведення оцінки впливу забруднення довкілля на стан здоров'я населення в рамках здійснення епідеміологічного нагляду.

Згідно з постановою КМУ від 14.08.2019 р. №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» «... моніторинг атмосферного повітря здійснюється з метою забезпечення збирання, оброблення, збереження і проведення аналізу інформації про якість атмосферного повітря, оцінювання та прогнозування її змін і ступеня небезпечності, розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень у галузі охорони атмосферного повітря, у сфері охорони навколишнього природного середовища, а також інформування населення про якість атмосферного повітря, вплив його забруднення на здоров'я та життєдіяльність населення» [8].

На основі даних моніторингу атмосферного повітря, визначається як рівень забруднення атмосферного повітря на певній території, так і

проводиться оцінка впливу виявленого забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення.

Показники рутинного моніторингу за станом атмосферного повітря встановлені постановою КМУ від 14.08.2019 р. №827 [8] та Наказом Міністерства внутрішніх справ України від 21.04.2021 №300 «Про затвердження Порядку розміщення пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря в зонах та агломераціях» [82].

Суб'єктами моніторингу атмосферного повітря згідно з постановою КМУ від 14.08.2019 р. №827 є Міндовкілля, МОЗ, ДСНС, орган виконавчої влади Автономної Республіки Крим з питань охорони природного навколишнього середовища, обласні, Київська та Севастопольська міські держадміністрації, виконавчі органи міських рад.

Порядок проведення моніторингу об'єктів оброблення відходів, в тому числі установок для спалювання відходів, регулюється Постановою КМУ від 7 листопада 2023 року №1166 «Про затвердження Порядку здійснення моніторингу об'єктів оброблення відходів» (вводиться в дію через шість місяців з дня припинення або скасування дії правового режиму воєнного стану в Україні) [83].

Згідно з цією Постановою КМУ від 7 листопада 2023 року №1166 «об'єкт моніторингу - навколишнє природне середовище та територія об'єкта оброблення відходів або територія, прилегла до такого об'єкта, що можуть зазнавати потенційного негативного впливу» [83].

Моніторинг об'єкта оброблення відходів проводиться суб'єктом господарювання у сфері управління відходами шляхом спостереження за станом природного навколишнього середовища та території об'єкта оброблення відходів або території, прилеглої до такого об'єкта, за змінами хімічної або фізичної характеристики викидів, скидання, споживання, еквівалентних параметрів або технічних заходів на території, на якій розташований об'єкт [83].

Суб'єкт моніторингу розробляє та затверджує план заходів із проведення моніторингу відповідно до Правил технічної експлуатації установок

спалювання відходів і установок сумісного спалювання відходів, затверджених Міндовкілля. Суб'єкт моніторингу передає дані до Єдиної екологічної платформи «ЕкоСистема».

Також в 2026 році набувають чинності Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля» і Постанова КМУ від 25 жовтня 2024 р. № 1213 «Порядок формування та перегляду переліку інформаційних потреб управління в галузі охорони навколишнього природного середовища» [84, 85].

В Україні сучасним підходом для встановлення зв'язку між станом забруднення атмосферного повітря та здоров'ям населення в населеному пункті, є методологія використання міжнародних стандартів оцінки ризику згідно з вимогами Методичних рекомендацій «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря», затвердженими наказом МОЗ України від 18.10.2023 р. №1811 [86].

Також при проведенні оцінки результатів моніторингу необхідно враховувати нормативи рекомендовані ВООЗ, які наведені в таблиці 3.1 [87].

Таблиця 3.1

Рекомендовані нормативні значення для забруднювача атмосферного повітря

Забруднювач	Орієнтовне значення	Час усереднення
PM _{2,5}	5 мкг/м ³	Річний
	15 мкг/м ³	Середньодобовий
PM ₁₀	15 мкг/м ³	Річний
	45 мкг/м ³	Середньодобовий
Чадний газ	4 мг/м ³	24 години
Діоксид азоту	10 мкг/м ³	Річний
	25 мкг/м ³	Середньодобовий

Продовження таблиці 3.1

Забруднювач	Орієнтовне значення	Час усереднення
Діоксид сірки	40 мг/м ³	24 години
Формальдегід	0,1 мг/м ³	30 хвилин
Поліциклічні ароматичні вуглеводні	$8,7 \times 10^{-5}$ нг/м ³	
Радон	100 Бк/м ³	
Свинець	0,5 мкг/м ³	Річний

Незважаючи на те, що вимоги до проведення моніторингу за якістю атмосферного повітря затвердженні Кабінетом Міністрів України ще в 2019 році, практично усіма суб'єктами моніторингу він проводиться не в повному обсязі, а певна його частина не виконується зовсім.

Також враховуючи повномасштабну війну, яка триває на території нашої країни, статистична інформація не може бути достатньою щоб проводити повноцінний моніторинг ПХДД/ПХДФ за допомогою загальноприйнятих розрахункових методів. А для установок спалювання відходів склад яких може змінюватись залежно від партії відходів використання розрахункових методів має ще більше обмежень. Тому рекомендується проводити моніторинг викидів ПХДД/ПХДФ використовуючи інструментальні методи.

Також для оцінки викидів в атмосферне повітря при роботі установок по спалюванню відходів рекомендується використовувати обладнання, яке може фіксувати концентрацію хімічних речовин (оксиди азоту, сірки та вуглецю) та твердих частинок в реальному часі. Інформація з цього обладнання може передаватись до Єдиної екологічної платформи «ЕкоСистема», і може бути використана для встановлення взаємозв'язку між рівнем викидів та захворюваністю населення на прилеглих територіях.

Ще одним напрямком щодо моніторингу концентрації ПХДД/ПХДФ та інших стійких органічних забруднювачів довкілля, поліароматичних вуглеводнів може бути пасивний моніторинг повітря, який проводиться за

допомогою пасивних пробовідбірників повітря, які оснащені дисками з пінополіуретану. Кожен пробовідбірник повинен бути експонованим протягом трьох місяців і має бути проаналізований для відповідної групи забруднювачів.

Для проведення моніторингу ПХДД/ПХДФ прийнято глобальний план моніторингу (GMP) згідно з Стокгольмською Конвенцією про СОЗ [88]. GMP - це інструмент, який збирає інформацію щодо СОЗ у навколишньому середовищі та в організмі людини і є ключовим компонентом оцінки ефективності конвенції та забезпечує інформацію для визначення змін концентрацій СОЗ з часом, і також інформацію про їх перенесення на регіональному та глобальному рівні. Активна участь в GMP могла б значно розширити методологічні та інструментальні можливості для проведення моніторингу СОЗ в Україні.

Таким чином, внаслідок широкого застосування нових хімічних речовин на організм людини та відповідно на стан її здоров'я впливає все більша кількість нових забруднювачів повітря. На даний час неможливо точно оцінити вплив на здоров'я та ризик для здоров'я окремих забруднюючих речовин у змішаному впливі забруднюючих речовин.

З прогресом науки та появою нових забруднювачів повітря майбутні дослідження повинні зосередитися на кількох основних питаннях:

- необхідно детально вивчити вплив на стан здоров'я та механізми дії нових забруднювачів повітря і ключових компонентів твердих частинок, щоб отримати більше доказів впливу забруднювачів повітря на здоров'я;
- необхідно охарактеризувати вплив і впровадити точні інструментальні методи кількісної оцінки для нових забруднювачів повітря та сумішей забруднювачів повітря;
- необхідно створити методологію кількісної оцінки ризику для здоров'я людини, щоб удосконалити заходи з охорони здоров'я шляхом оцінки комбінованого впливу різних забруднювачів повітря та комплексного впливу географічних, метеорологічних, демографічних і економічних факторів;

- вплив довготривалих змін якості повітря на здоров'я населення вимагає подальших досліджень для підтримки сталого розвитку шляхом встановлення балансу між економічним розвитком та екологічною рівновагою.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО БІОМОНІТОРИНГУ ХІМІЧНИХ ЗАБРУДНЮВАЧІВ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ У ТКАНИНАХ ТА РІДИНАХ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОФІЛАКТИКИ НЕІНФЕКЦІЙНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ У НАСЕЛЕННЯ УКРАЇНИ

Хімічні забруднювачі довкілля надходять до організму людини різними шляхами, таким як вдихання забрудненого повітря, вживання їжі та води, та шляхом трансдермальної абсорбції. Кількість хімічного забруднювача, який потрапив до організму тим чи іншим шляхом, або всіма шляхами, зазвичай називають «поглинутою дозою». Рівень «поглинутої дози» конкретної небезпечної хімічної речовини з однієї сторони визначається як концентрацією цієї речовини в об'єктах довкілля та харчових продуктах, фізико-хімічними властивостями хімічної сполуки та часом експозиції, так і індивідуальними особливостями людського організму, які обумовлюють швидкість поглинання, метаболізму та виведення цієї речовини. Основна мета біомоніторингу людини (БМЛ) врахувати всі фактори, які обумовлюють «поглинуту дозу», шляхом дослідження концентрації небезпечних хімічних речовин та/або їх метаболітів в біологічному матеріалі, отриманому від людини. БЛМ дозволяє провести комплексну оцінку експозиції хімічними забруднювачами довкілля, які надходять до організму різними шляхами, і також врахувати індивідуальні особливості способу життя, які впливають на експозицію цих речовин, наприклад, паління чи нераціональне харчування.

Одне із визначень біомоніторингу, запропоноване Центром контролю хвороб (CDC) США, звучить так: «метод оцінки експозиції людини до хімічних речовин або їх впливу на здоров'я шляхом вимірювання вмісту цих речовин, їх метаболітів або продуктів реакції в зразках біологічного матеріалу людини» [89]. Під біомоніторингом розуміють вимірювання біомаркерів як в біологічних рідинах (кров, сеча, слина, грудне молоко, піт), так і в інших біологічних матеріалах (кал, волосся, зуби та нігті) [90]. Перевагою

біомоніторингу є те, що його результати прямо відображають, як загальний вміст небезпечних хімічних речовин в організмі або їх біологічний вплив при надходженні до організму, так і індивідуальні відмінності в рівнях експозиції, швидкості метаболізму та виведення. Найбільш актуальними данні біомоніторингу є для оцінки впливу на людину стійких органічних забруднювачів довкілля (СОЗ), які завдяки своїй високій здатності до біоаккумуляції та повільному метаболізму, накопичуються в організмі протягом всього життя, а також свинцю та кадмію, які теж мають здатність до накопичення в організмі людини. Для хімічних речовин, які виводяться досить швидко, данні біомоніторингових досліджень відображають лише рівні недавнього надходження до організму. Для виявлення довготермінового впливу експозиції на індивідуальному рівні необхідно проводити багаторазовий відбір зразків через визначенні часові проміжки.

БМЛ дозволяє виявити для конкретної хімічної сполуки географічні та часові залежності, супутні фактори способу життя та окреслити групи ризику. Слід відмітити, що з точки зору громадського здоров'я, БМЛ є надважливим інструментом для обґрунтування політичних заходів у сфері охорони здоров'я та охорони довкілля, оскільки БМЛ є джерелом достовірної кількісної інформації щодо актуальної експозиції населення хімічними забруднювачами довкілля, інформації щодо експозиції новими хімічними забруднювачами, і даних щодо впливу цих хімічних речовин на здоров'я та дозволяє виявляти найбільш уразливі до цієї сполуки групи населення. Надзвичайно важливо, що БМЛ дозволяє проводити пряму та найбільш точну оцінку ризику для населення, оскільки враховує індивідуальну експозицію, яка може бути досить варіабельною, швидкість надходження, метаболізму і виведення хімічних речовин.

Одним із важливих напрямків використання біомоніторингу є епідеміологічні дослідження, в яких він необхідний для встановлення взаємозв'язку між вмістом небезпечних хімічних речовин в організмі та їх впливом на стан здоров'я та ризик розвитку тих чи інших неінфекційних захворювань, і також для перевірки наукових гіпотез. Як правило, нові методи

біомоніторингу перед їх впровадженням для оцінки експозиції та впливу на стан здоров'я розробляються, тестуються і проходять валідацію в ході наукових досліджень. Довготермінові міжнародні та національні програми біомоніторингу зазвичай використовують загальноприйняті, апробовані та валідовані методи біомоніторингу (наприклад, біомаркери, які відображають експозицію, стандартизовані методи відбору зразків та верифіковані методи визначення) для отримання інформації щодо експозиції населення до небезпечних хімічних факторів довкілля, які є найбільш важливими для громадського здоров'я. Однак, за допомогою біомоніторингу зазвичай неможливо виявити джерела та шляхи експозиції. Тому саме поєднання біомоніторингу людини, моніторингу стану довкілля є критично важливими для розробки політик та прийняття управлінських рішень в сфері громадського здоров'я. Правильно інтерпретовані показники на основі науково обґрунтованих програм моніторингу та/або біомоніторингу з використанням стандартизованої методології, можуть надати необхідну інформацію уповноваженим особам органів влади, які приймають управлінські рішення, так і громадськості. Результати оцінки показників, отриманих в процесі досліджень, можуть бути використанні для розробки заходів профілактики негативних наслідків для здоров'я в загальній популяції. Прикладом такого використання результатів як моніторингу, так і біомоніторингу хлорорганічних пестицидів, була заборона використання цих пестицидів в окремих країнах та регіонах, а потім і прийняття Стокгольмської конвенції щодо стійких органічних забруднювачів довкілля [90].

Основні цілі аналізу показників, отриманих в процесі БМЛ [90]:

- оцінка часових трендів експозиції;
- оцінка ефективності політичних заходів,
- опис географічного розподілу експозиції;
- порівняння різних підгруп населення та виявлення вразливих підгруп;
- чітке та зрозуміле представлення та інтерпретація даних для надання інформації різним групам населення.

Стан здоров'я немовлят та дітей є особливо чутливим до негативного впливу хімічних забруднювачів довкілля, таких як свинець, метилртуть, миш'як, толуол і ПХБ, внаслідок підвищених рівнів експозиції та швидкості поглинання цих речовин, а також зниження здатності до детоксикації великої кількості екзогенних сполук [91].

Згідно з Пармською Декларацією (Європейське регіональне бюро ВООЗ, 2010) захист здоров'я дітей є пріоритетним регіональним завданням на Європейському континенті, тому при проведенні БМЛ в першу чергу слід звертати увагу на експозицію дітей та жінок репродуктивного віку. В Декларації Сьомої міністерської конференції по навколишньому середовищу і охороні здоров'я (Будапешт, Угорщина, 5–7 липня 2003 р.) вказано, що базуючись на обґрунтуванні термінових заходів щодо забруднення довкілля «... для прискорення прогресу ми розглянемо можливість виконання наступних дій: 30 використання партнерства European Environment and Health Process (EHP) по біомоніторингу людини в якості інноваційного механізму для удосконалення контролю за впливом хімічних речовин та їх сумішей, який буде поширювати дані і брати участь в оцінках ризиків, пов'язаних з хімічними речовинами...» [92].

Біомоніторинг людини проводиться або у вигляді поперечного дослідження (дослідження поперечного перерізу), яке дозволяє оцінити вміст хімічних забруднень в організмі у групи людей в конкретний момент часу або у вигляді лонгітюдного дослідження. При використанні випадкової вибірки із загального населення країни репрезентативної статеві-віковими показниками, поперечне дослідження дозволяє визначити межі експозиції для всього населення країни. В лонгітюдних дослідженнях за учасниками спостерігають протягом визначеного проміжку часу та у кожного учасника відбирають декілька зразків біологічних матеріалів. Варіантом лонгітюдного дослідження є дослідження вікової когорти, за учасниками якої спостерігають із самого народження. Таке дослідження дозволяє оцінити експозицію в перинатальному періоді (наприклад, біомаркерів, які визначають в крові або сечі вагітних, в

пуповинній крові, грудному молоці) і в подальшому спостерігати за дітьми для оцінки віддалених наслідків цієї експозиції хімічних речовин для здоров'я.

Біомаркери до яких відносять вихідні хімічні сполуки або їх метаболіти дозволяють оцінити профіль змін концентрації речовини в організмі людини, який відображає особливості зміни експозиції в часі та швидкості виведення. Ці показники значно відрізняються для стійких і біоакумулюючих сполук в порівнянні з нестійкими сполуками. Індивідуальну експозицію стійких і біоакумулюючих сполук можна описати за допомогою взяття одиничного зразка в поперечних дослідженнях. Така можливість обумовлена їх розподілом і накопиченням у окремих тканинах організму (наприклад, в жировій тканині) та повільним виведенням іноді навіть протягом років. В цьому випадку спостерігається низька варіабельність концентрацій біомаркера протягом короткого часового проміжку. В той же час, варіація значень біомаркера для сполук, що швидко виводяться або метаболізуються, може бути досить значною і залежить від рівня нещодавньої експозиції. В цьому випадку необхідний багаторазовий відбір зразків для встановлення індивідуальних рівнів експозиції.

Використання деталізованих РВРК-моделей (фізіологічно обґрунтованих фармакокінетичних моделей) для інтерпретації результатів біомоніторингу також дозволяє моделювати різні джерела індивідуальної варіабельності: масу тіла, генетичний поліморфізм, пов'язаний з метаболізмом ксенобіотиків, зрілість шляхів детоксикації в залежності від віку, а також швидкість екскреції та елімінації. Отже використання РВРК-моделей дозволяє аналізувати параметри, які раніше вважалися факторами невизначеності, а тепер можуть бути використані для визначення відмінностей в індивідуальній чутливості різних груп населення [90].

В більшості нормативних документів безпечний рівень експозиції приводиться одиницях надходження, таких як допустиме добове споживання (ADI або TDI), референтна доза (RfD), мінімальний рівень ризику (MRL) або гранично допустима концентрація (ГДК). РВРК-моделі можуть бути використані для оцінки рівня біомоніторингового еквівалента (БЕ), який

виражається як концентрація хімічної речовини або його метаболіту в зразках біологічних матеріалів, відповідно до встановлених референтних значень [93].

Після надходження хімічної речовини до організму вона може виводиться в початковому стані, метаболізуватися перед виведенням або накопичуватися в різних тканинах, включаючи кісткову тканину. Є значна кількість біологічних матеріалів, які можна було б використати для біомоніторингу, але деякі хімічні властивості речовин обмежують їх використання для БМЛ. З часом розробка нових високочутливих аналітичних методів приводить до значного розширення аналітичних можливостей, що надає можливість використовувати для БМЛ неінвазійні біоматеріали з відносно низьким вмістом ксенобіотиків. Так, концентрація таких ліпофільних сполук як діоксини в 1980-1990 роках визначалась в жирових тканинах (65 % - 95 % жиру), а сьогодні вимірюється в сироватці крові, де вміст ліпідів складає 0,5 % – 0,6 %.

Кров найбільш часто використовується як біологічний матеріал для біомоніторингу. Кров – найкращий біоматеріал для більшості хімічних речовин, оскільки вона постійно контактує із всіма тканинами організму; процедури взяття крові стандартизовані, і більшість людей до них звикли. Одним із недоліків використання крові для БМЛ все ж є інвазійний метод відбору зразків, що може спонукати потенційних учасників досліджень відмовитись від участі. Кров – найкращий біоматеріалом для визначення біомаркерів експозиції важкими металами. Так, найбільший об'єм знань щодо експозиції свинцю був отриманий при дослідженні рівнів свинцю саме в крові. Свинець в сечі, в основному, відображає кількість свинцю, який потрапив до організму недавно, але не може бути надійним біомаркером довготривалої експозиції [94]. Кореляції між рівнями свинцю в материнській і пуповинній крові, а також між рівнями свинцю в крові матері та немовляти підтверджують проникнення свинцю із організму матері до організм плоду [95]. Рівень ртуті в крові відображає недавню експозицію органічною та неорганічною ртуттю, але зовсім не інформативний в плані історії експозиції [96]. Рівень кадмію в крові, в основному, відображає експозицію протягом

останніх 2-3 місяців і частково, довготерміновий вплив на організм. А рівень кадмію в сечі відображає загальний вміст кадмію в організмі як результат довготривалої експозиції [97].

Кров, пуповина кров, плацента та грудне молоко є основними об'єктами для біомоніторингу стійких біоакумулюючих сполук, таких як перфторовані сполуки, хлорорганічні пестициди, поліхлоровані біфеніли (ПХБ), діоксини, бром-вмісні інгібітори горіння, оловоорганічні сполуки та метали. Для таких ліпофільних сполук, як діоксини, для нівелювання варіабельності вмісту ліпідів в сироватці крові результати перераховують грам ліпідів сироватки. Плацента та/або пуповинна кров є надзвичайно інформативними щодо експозиції матері, та пренатальної експозиції немовлят [98].

Сеча – біологічний матеріал який легко зібрати у значні кількості. Проби можуть відбиратись безпосередньо донорами, що значно спрощує процес збирання проб. Сеча в першу чергу використовується для аналізу речовин, які швидко метаболізуються та виводяться нирками. Однак існують проблеми, які пов'язані із значними відмінностями в швидкості сечовиділення у різних людей і складу сечі навіть у однієї людини [98]. Вирішенням цих проблем може бути перерахунок результатів на грам креатиніну та корекція отриманих величин за питомою густиною. Біомаркери в сечі використовують для визначення нестійких пестицидів, бісфенолу А та інших фенолів, парабенів, фталатів, летких органічних сполук, ПАВ, миш'яку та неорганічної ртуті.

Для досліджень в рамках БМЛ рівнів хімічних забруднювачів можуть бути використанні інші біологічні матеріали: волосся, нігті, слина та молочні зуби. Структура та гістогенез волосся та нігтів обумовлюють їх використання біомоніторингу вмісту слідових елементів. Зразки волосся використовуються для ідентифікації довготермінового впливу металів. Також була доведена можливість використання волосся для визначення різних пестицидів (хлорорганічних, фосфорорганічних, піретроїдів та інших), полібромованих сполук, ПАВ, ПХБ та діоксинів [100]. Мінімальна необхідна маса матеріалу для аналізу може бути лімітуючим фактором для немовлят та лисих людей. Крім того, зовнішнє відкладення хімічних речовин на волоссі може впливати

результати аналізу. Використання нігтів людини для біомоніторингу обумовлене можливістю оцінки значного періоду експозиції за одним зразком, неінвазійним відбиранням зразків і простою доставкою та умовами зберігання зразків. Недоліками використання нігтів для біомоніторингу є низька чутливість методу для деяких сполук, можливе забруднення при використанні косметичних засобів та ліків, зовнішнє відкладення хімічних речовин, а також невелика маса зразків.

Молочні зуби використовуються в якості маркерів експозиції дітей до металів (свинець, стронцій, цинк та магній). Ці дослідження дозволили вивчити епігенетичні ефекти важких металів, пов'язаних з порушенням функції ендокринної системи.

Дослідження біомаркерів в слині, незважаючи на обмеження за речовинами, які можливо виявити в ній, метод який може в подальшому широко використаний для біомоніторингу низькомолекулярних хімічних речовин (органічні розчинники, деякі пестициди тощо). Повітря, що видихається – це неінвазійний біологічний матеріал, який дозволяє оцінити пряму залежність між концентрацією речовин, що мають токсикологічне значення, у повітрі, що вдихається і видихається. Так як відповідний біомаркер надходить безпосередньо з дихальної системи, можна оцінити реальну внутрішню дозу в органах дихання. Однак інформація, в основному, обмежена тканинами дихальної системи, а метод може бути використаний лише для певних класів речовин (наприклад, летких сполук) та для короткочасної експозиції. В таблиці 4.1 наведені переваги та обмеження біологічних матеріалів, які часто використовуються в біомоніторингових дослідженнях для оцінки експозиції людини до забруднювачів навколишнього середовища.

Таблиця 4.1.

Біологічні матеріали, які використовуються для біомоніторингу [90]

Біологічний матеріал	Популяція	Переваги	Обмеження	Хімічні речовини, що визначаються біологічному матеріалі
Кров, сироватка, плазма	Загальна	Контактує із всіма органами та тканинами. Загальноприйнятні стандартні операційні процедури для відбору зразків.	Інвазійний відбір зразків; є необхідним підготовлений персонал та спеціальні матеріали. Є обмеження за об'ємом. Спеціальні умови зберігання та транспортування.	СО ₂ , метали/слідові елементи, органічні сполуки, компоненти тютюнового диму. Наприклад: алкілфеноли, ртуть, свинець, бромвмісні інгібітори горіння, продукти розкладу засобів дезінфекції води, фторовані сполуки, хлорорганічні та фосфорорганічні пестициди, фталати, ПХБ, діоксини.
Сеча	Загальна	Неінвазійний простий відбір зразків, немає обмежень за об'ємом. Є можливість аналізувати метаболіти.	Склад сечі змінюється з часом.	Метали/слідові елементи, органічні сполуки, компоненти тютюнового диму. Метаболіти забруднювачів довкілля. Наприклад: ртуть, кадмій, миш'як, хлорорганічні сполуки, бісфенол А, фосфорорганічні пестициди, парабени, фталати, ПАВ, бензол.

Біологічний матеріал	Популяція	Переваги	Обмеження	Хімічні речовини, що визначаються біологічному матеріалі
Волосся	Загальна, декілька виключень (немовлята)	Неінвазійний відбір зразків; необхідне мінімальне навчання. Непотрібні спеціальні умови зберігання та транспортування. Інформація про кумулятивну експозицію протягом попередніх місяців. Можливий сегментний аналіз.	Можливе зовнішнє забруднення волосся внаслідок впливу довкілля. Потенційні відмінності, що залежать кольору, засобів по догляду за волоссям та раси.	Метали/слідові елементи, СОЗ Наприклад: загальний рівень ртуті, метилртуть, миш'як, кадмій, парабени, хлорорганічні сполуки.
Пуповинна кров	Специфічна	Неінвазійний відбір зразків; надає інформацію як про матір, так і про дитину. Загальноприйнятні стандартні операційні процедури для периферійної крові можуть використовуватися для аналізу пуповинної крові.	Доступний тільки під час пологів в пологових будинках. Етичні обмеження. Спеціальні умови зберігання та транспортування.	СОЗ та інші органічні сполуки, метали/слідові елементи, компоненти тютюнового диму. Наприклад: алкілфеноли, ртуть, свинець, бромвмісні інгібітори горіння, діоксини, продукти розкладу засобів дезінфекції води, фторовані сполуки, хлорорганічні сполуки

Біологічний матеріал	Популяція	Переваги	Обмеження	Хімічні речовини, що визначаються біологічному матеріалі
Грудне молоко	Специфічна	Надає інформацію як про матір, так і про дитину Містить багато ліпофільних сполук.	До деякої міри інвазійний відбір проб. Обмежений період доступності. Необхідно враховувати можливість виведення хімічних речовин в період лактації.	СОЗ та інші органічні сполуки, метали/слідові елементи, компоненти тютюнового диму. Наприклад: алкілфеноли, бісфенол А, діоксини, бромвмісні інгібітори горіння, фторовані сполуки, ПХБ, хлорорганічні пестициди, свинець, кадмій, ртуть, фталати.
Амніотична рідина	Специфічна	Інвазійний відбір зразків	Обмежено жінками, яким роблять амніоцентез або Кесарів розтин.	СОЗ та інші органічні сполуки, метали/слідові елементи Наприклад: фталати, ртуть, хлорорганічні пестициди.
Плацента	Специфічна	Неінвазійний відбір зразків	Обмежено відповідним періодом життя; необхідна гомогенізація.	СОЗ та інші органічні сполуки, метали/слідові елементи. Наприклад: ртуть, кадмій, свинець, хлорорганічні пестициди, бісфенол А, бромвмісні інгібітори горіння, діоксини, ПХБ, ПАВ, фталати.
Меконій	Специфічна	Неінвазійний простий відбір зразків. Відображає	Доступний тільки під часів пологів	Метали/слідові елементи, СОЗ та інші органічні сполуки, компоненти

Біологічний матеріал	Популяція	Переваги	Обмеження	Хімічні речовини, що визначаються біологічному матеріалі
		експозицію в пренатальному періоді.		тютюнового диму. Наприклад: ртуть, кадмій, хлорорганічні пестициди, ПХБ, фталати.
Сперма	Специфічна	В основному, використовується для вимірювання біомаркерів впливу на здоров'я.	Інвазійний відбір зразків. Доступна тільки для чоловіків. Існує небагато даних про використання для БМЛ.	Метали/слідові елементи, СОЗ, органічні сполуки. Наприклад: ртуть, фталати, діоксини, ПХБ, хлорорганічні пестициди.
Повітря, що видихається	Загальна	Неінвазійний відбір зразків. Пряма оцінка експозиції до речовин в повітрі.	Аналіз обмежений леткими сполуками. Складна процедура відбору зразків, транспортування та зберігання.	Метали, продукти розкладу засобів дезінфекції. Наприклад: свинець, кадмій, тригалометани.
Слина	Загальна	Неінвазійний простий відбір зразків.	Більш низькі концентрації хімічних сполук, в порівнянні з кров'ю; потребує використання спеціальних аналітичних методів. Варіабельність швидкості секреції та складу.	Метали/слідові елементи, органічні сполуки, СОЗ, компоненти тютюнового диму. Наприклад: кадмій, фталати, бісфенол А, ПХБ, діоксини.

Біологічний матеріал	Популяція	Переваги	Обмеження	Хімічні речовини, що визначаються біологічному матеріалі
			Використання стимуляторів або всмоктуючих пробовідбірників може вплинути на процес аналізу. Існує небагато даних про використання для БМЛ.	
Нігті	Загальна	Неінвазійний простий відбір зразків. Непотрібні спеціальні умови зберігання та транспортування. Надає інформацію про короткотермінову та довготермінову експозиції.	Можливе зовнішнє забруднення внаслідок впливу довкілля. (нігті на ногах менш піддаються зовнішнім впливам). Існує небагато даних про використання для БМЛ.	Метали/слідові елементи, компоненти тютюнового диму. Наприклад: миш'як, ртуть, кадмій, свинець.
Молочні зуби	Специфічна	Неінвазійний відбір зразків. Непотрібні спеціальні умови зберігання та транспортування.	Низька доступність; обмежено відповідним періодом життя. Існує небагато даних про використання для БМЛ.	Метали/слідові елементи, органічні сполуки, компоненти тютюнового диму. Наприклад: свинець, кадмій.
Піт	Загальна	Неінвазійний відбір зразків.	Складна процедура відбору зразків. Існує небагато даних про використання для БМЛ.	Метали/слідові елементи, органічні сполуки. Наприклад: свинець, кадмій.

За типами біомаркери розділяють на біомаркери експозиції, біомаркери ефекту, біомаркери чутливості, та біомаркери «оміки» для наукових досліджень [90].

Біомаркери експозиції використовують для виявлення та вимірювання концентрацій хімічних речовин в тканинах і біологічних рідинах, метаболітів ксенобіотиків та фізіологічних наслідків експозиції. Слід враховувати, що різні біоматеріали відображають експозицію протягом різних періодів часу. Найкращим відомим прикладом цього феномену є свинець, для якого період напіввиведення становить від одного місяця для крові до майже року для м'яких тканин і до двадцяти років для кісток. Зазвичай в якості біомаркерів експозиції до речовин, які залишаються стабільними в організмі людини, таких як діоксини, діоксиноподібні ПХБ та метали, використовують вимірювання концентрації вихідної сполуки в крові, сироватці крові або сечі. В той же час, наприклад для фосфорорганічних пестицидів і фталатів, які досить швидко метаболізуються в організмі, як біомаркери експозиції використовують один або кілька метаболітів вихідної сполуки та проводять вимірювання в сечі.

На відміну від біомаркерів експозиції, біомаркери ефекту показують кількісні зміни параметрів самого організму, біохімічних, фізіологічних або інших, які відбуваються внаслідок впливу тієї чи іншої небезпечної хімічної сполуки. Ідеальний біомаркер ефекту повинен показувати ранні зворотні зміни, що відбуваються в організмі. В залежності від впливу на стан здоров'я, який необхідно визначити, були запропоновані серії біомаркерів ефекту – від аналізу біомолекул в тканинах або біологічних рідинах, до вимірювання фізіологічних показників, таких як дослідження функції легень та візуалізації артерій. Найбільш вивченні біомаркери канцерогенності, які відображають генотоксичну дію. Цитогенетичні параметри, такі як індукція мікроядер, хромосомні аберації і сестринський хроматидний обмін, вважаються біомаркерами ранньої канцерогенної (генотоксичної) дії та предикторами ризику розвитку злоякісних новоутворень в людини [90]. Адукти ДНК та адукти білків, особливо гемоглобіну, є більш точними предикторами ризику

розвитку злоякісних новоутворень в порівнянні з біомаркерами експозиції [101].

Біомаркери чутливості відображають природні характеристики організму, які роблять його більш чутливим до негативного впливу експозиції до конкретної хімічної речовини. Поліморфізми відповідних ферментів, що беруть участь у метаболізмі ксенобіотиків, використовуються як біомаркери чутливості. Так фермент цитохром Р450, відповідальний за метаболізм ксенобіотиків, характеризуються високим поліморфізмом і його активність залежить як від генотипу, так і від експозиції відповідних хімічних речовин. Наприклад, індукція цитохрому Р450 (CYP 1A1) пов'язана з розвитком раку легень, алельні варіанти цитохрому Р450 (CYP2E1) модулюють ризик алкогольного пошкодження печінки та онкологічних захворювань. Поліморфізм ферментів N-оксидації асоційований з підвищеним ризиком раку товстої кишки, а поліморфізм глутатіон-S-трансферази підвищує ризик раку легень [90]. У сфері неврологічних захворювань біомаркери генетичної чутливості швидко стають все більш доступними. В аналітичному огляді Мауеух R. було показано, що виявлення алельного варіанта гена, наприклад, аполіпопротеїну E, відіграє важливу роль в оцінці ризику, а також дає додаткову інформацію про патогенез хвороби Альцгеймера [102].

Протягом останніх десятиліть з'явилося багато нових методів під загальною назвою «-оміка». Мультиомічне дослідження стало центральним методом дешифрування складних біологічних систем. Постійні інновації в технологіях, методах і програми дозволяють подальше розширення та інтеграцію мультиоміки в біомедичні дослідження, в тому числі в дослідження з біомоніторингу. Ці методи надають нові можливості для більш точного розуміння експозиції та її впливу на організм людини з метою оцінки ризику для здоров'я. Оміка – це високопродуктивні методики, які дозволяють спостерігати та вимірювати відповідь за різними біологічними шкалами (наприклад, [епі] геном, транскриптом, протеом, метаболом) у людини. Техніки оміки варіюють від методів секвенування у поєднанні з кількісною

полімеразною ланцюговою реакцією (ПЛР) в реальному часі до рідинної хроматографії-мас-спектрометрії і газової хроматографії-мас-спектрометрії. Дані біомаркери можуть бути засновані на даних секвенування ДНК, генної експресії та профілю білків і метаболітів, а також на отриманій раніше інформації з баз даних про взаємодію білків (інтерактоміка). Прикладом маркерів ефекту на основі експресії генів є підвищення експресії генів хеомокінів після експозиції до вуглецевих нанотрубок – маркер фіброзу легень. Гостра експозиція до поширених у навколишньому середовищі летких органічних сполук (ЛОС), таких як бензол, толуол, етилбензол і ксилол, в першу чергу посилює трансдукцію сигналу, метаболізм білків і механізми транскрипції мРНК. Хронічна експозиція до ЛОС також впливає на біосинтез і модифікацію білків, проліферацію та диференціацію клітин і, меншою мірою, на передачу сигналу під впливом цитокінів та хеомокінів [90, 103].

Проведення біомоніторингу людини можуть ставити перед собою цілу низку завдань, включаючи оцінку розподілу експозиції, виявлення нових загроз, моніторинг результатів політичних заходів, спрямованих на зниження або профілактику впливу шкідливих речовин, встановлення пріоритетів для оцінки ризику, моніторинг просторових закономірностей і трендів у часі, виявлення та моніторинг забруднених місць, підтримку епідеміологічних досліджень і розробки концепції «експосома». Експосома людини - це новітня концепція, заснована на сучасних можливостях отримання інформації, здатності аналізувати «великі дані» та співставляти ці дані зі змінами на молекулярному рівні в організмі людини [104].

Програми біологічного моніторингу надають інформацію, важливу для встановлення пріоритетів щодо хімічних речовин, які потрібно оцінювати у зв'язку з їх потенційним ризиком для здоров'я конкретних популяційних груп та населення певних територій. Зокрема, лонгітюдні обстеження БМЛ, які проводяться для всього населення, включаючи вразливі підпопуляції (наприклад, групи з низьким соціально-економічним статусом, надають

унікальну можливість моніторингу просторових взаємозв'язків і тимчасових трендів експозиції населення до хімічних речовин, що цікавлять.

Локальні обстеження БМЛ можуть допомогти визначити реальну експозицію населення, яке мешкає поблизу забруднених місць. Прикладом такого підходу є дослідження на основі БМЛ, що проводиться поблизу місць скидання токсичних відходів у Кампанії, Італія [104]. Обстеження з використанням біомаркерів ефекту, а також біомаркерів експозиції можуть кількісно оцінити ранні сигнали, що є предикторами розвитку або посилення негативного впливу на здоров'я. Аналіз даних біомоніторингу людини у поєднанні з даними моніторингу стану довкілля, а також актуальними даними щодо способу життя і харчування може виявити основні джерела експозиції, описати шляхи експозиції та визначити фактори ризику, що необхідно для розробки втручань.

Усі аспекти дизайну обстеження, такі як обсяг вибірки, вибір біомаркерів, зміст анкет, а також аналіз та інтерпретація даних залежать від поставлених завдань.

Вибір біомаркерів залежить від мети обстеження. Він повинен визначатися, в основному, науковими критеріями, наприклад, очікуваними наслідками для здоров'я (на підставі інформації від міжнародних організацій, таких як Міжнародне агентство з вивчення раку (IARC), перелік ендокринних дизрапторів ЄС, Стокгольмська конвенція тощо), наявними рекомендаціями (біомоніторингові еквіваленти, «межі безпеки» для біомоніторингу), очікуваними діапазонами рівнів експозиції на підставі опублікованих національних і міжнародних обстежень БМЛ, а також доступністю валідних аналітичних технік з досить низькими межами виявлення для вимірювання очікуваних рівнів параметрів, що вивчаються у населення. Більше того, у процесі вибору біомаркерів важливе значення можуть мати практичні питання, наприклад, обсяг польової роботи та фінансові витрати.

Чітко підготовлені дослідження БМЛ, які використовують необхідні методи відбору проб, лабораторного аналізу, управління та обробки даних, є

потужними інструментами, які дозволять вирішити велику кількість завдань у сфері охорони довкілля і здоров'я населення та розробки політики. Інтегровані підходи з використанням біологічного моніторингу населення надають корисну інформацію для оцінки розподілу експозиції в різних соціальних групах і виявлення нових загроз для громадського здоров'я.

Обсяг вибірки (кількість учасників) залежить від завдання обстеження чи гіпотези у дослідному проекті. У поперечних обстеженнях у кожную групу рекомендується включати не менше 120 осіб для забезпечення достатньої точності оцінки специфічних для групи референтних значень і порівнянь між популяційними групами [90].

В обстеженнях БМЛ для збору інформації, необхідної для інтерпретації біомаркерів, наприклад, особистих даних, інформації щодо способу життя, навколишнього середовища всередині та поза приміщеннями, використовуються анкети.

Такі анкети повинні максимально включати стандартні питання з попередніх обстежень, а нові анкети необхідно протестувати на цільовій популяції. Інтерв'ю, які проводяться співробітниками, які виконують обстеження, зазвичай надають дані вищої якості порівняно з анкетами, що заповнюються самими учасниками. Персональні інтерв'ю за допомогою комп'ютера знижують навантаження на персонал і дозволяють забезпечити вбудований контроль якості. При можливості необхідно також отримати стандартну інформацію про здоров'я. Прикладами такої інформації є дані диспансеризації у школах і записів у медичній карті новонародженого (ріст, вага, тощо). Збір такої інформації потребує поінформованої згоди учасників і підписання угод з необхідними установами (наприклад, школами, лікарнями).

Етичні та наукові стандарти виконання біомедичних наукових досліджень за участю людей були розроблені і прийняті у міжнародних рекомендаціях, включаючи Гельсінську декларацію, Міжнародне етичне керівництво з проведення біомедичних досліджень за участю людини, прийняте Радою міжнародних організацій з медичних наук (CIOMS), а також Керівництво ВООЗ

та Міжнародної конференції з гармонізації (ICH) з якісної клінічної практики. В Україні наразі діє Настанова. Лікарські засоби. Належна клінічна практика СТ-Н МОЗУ 42-7.0:2008 затверджена наказом МОЗ України «Про затвердження документів з питань забезпечення якості лікарських засобів» від 16.02.2009 №95 [106, 107].

У Європі Конвенція Ов'єдо з досліджень на біологічному матеріалі людини та Регламент ЄС із захисту даних регулюють захист учасників біомедичних досліджень. Відповідність цим вимогам дозволяє забезпечити захист гідності, прав, безпеки та благополуччя учасників досліджень, а також достовірність одержаних результатів. Регламент ЄС із захисту даних регулює процес обробки персональних даних на території Європейського Союзу. Зразки і дані, отримані під час обстеження БМЛ, вважаються конфіденційними особистими даними [108]. Це накладає зобов'язання підписання поінформованої згоди, включаючи право дізнаватися про результати власного обстеження, і вимагає повідомлення національного органу, відповідального за захист особистих даних. Письмова згода – це поінформована, дана добровільно, чітка, конкретна та задокументована згода, яку необхідно отримати від кожного учасника до включення його до дослідження. Форма згоди повинна включати: особу контролера даних і його контактну адресу та місце роботи, причину збору даних, а також одержувачів або категорії одержувачів даних. Необхідно також надати таку інформацію: мета дослідження; загальний план; можливі ризики та переваги; думка етичного комітету; право не давати згоду або відкликати її у будь-який час без пояснення причин чи ризику зазнати будь-якої форми дискримінації; право отримати доступ до даних; право вносити зміни до даних; а також право не дізнаватися власні результати.

В Міжнародному етичному керівництві з проведення біомедичних досліджень за участю людини підкреслюється, що «хоча наукове і соціальне значення є основним обґрунтуванням проведення дослідження, дослідники, спонсори, комісії з питань етики і органи охорони здоров'я мають моральне зобов'язання гарантувати, що всі дослідження проводяться з дотриманням прав

людини, та поважати, захищати і бути чесними з учасниками дослідження і спільнотами, в яких проводиться дослідження. Наукове і соціальне значення не можуть виправдовувати неналежне або несправедливе ставлення до учасників дослідження або спільнот» [106].

Слід зазначити, що на сьогодні бракує знань про те, як проводити біомоніторинг ефектів впливу сумішей. Для змішаного впливу було запропоновано ряд біомаркерів, у яких кожен біомаркер повинен відповідати певним характеристикам.

Для визначення, розробки та підтвердження ідеального біомаркера запропоновано сім критеріїв для оцінки корисності біомаркера в оцінці сукупного ризику [109]. Ідеальні біомаркери:

- повинні мати тривалий період напіввиведення;
- їх легко зібрати за допомогою неінвазійних процедур, які викликають лише незначні процедурні труднощі під час збору, транспортування, зберігання та аналізу;
- повинні бути чітко пов'язаним із захворюванням;
- мати велику вибірку (щоб дослідити розподіл біомаркера в популяції та встановити зв'язок між біомаркером і ефектом, важливо, щоб біомаркер був знайдений у значній частині популяції);
- мати широкий просторовий розподіл і часову появу — повне просторове та часове розуміння розподілу впливу/наслідків для здоров'я людини;
- бути достатньо чутливим, щоб надати інформацію про відмінності в популяціях з різних регіонів і в часових масштабах, що представляють інтерес, наприклад, сезонні або довгострокові, вікові тенденції;
- також необхідно віддавати перевагу вимірюванню вихідних сполук над метаболітами, оскільки вимірювання вихідної сполуки дає прямий і однозначний показник впливу забруднювача, що нас цікавить.

Після закінчення гарячої фази війни, спричиненої повномасштабними вторгненням російської федерації на територію України, ми пропонуємо

провести загальнонаціональне дослідження по біомоніторингу діоксинів і діоксин-подібних речовин в грудному молоці. Таке дослідження може надати надважливу інформацію, щодо наслідків впливу хімічних речовин на здоров'я найбільш вразливих груп населення - матерів і немовлят. Отримана інформація може бути використана як для корегування впливу факторів ризику (через дієту, тощо), так як і в якості доказів для пред'явлення звинувачень російській федерації в міжнародних судових інстанціях.

Проект програми представлений нижче, анкета для донорів молока підготовлена з урахуванням рекомендацій ВООЗ наведена в Додатку А [110].

Програма біомоніторингу діоксинів у грудному молоці в Україні

Мета: Оцінити рівень забруднення організму жінок репродуктивного віку поліхлорованими дибензо-п-діоксинами, поліхлорованими дибензофуранами та поліхлорованими біфенілами шляхом аналізу грудного молока, відповідно до рекомендацій ВООЗ.

Обсяг вибірки. Загальна кількість донорів: 200 жінок

Розподіл: по 20 донорів у 10 регіонах України, що представляють різні географічні та екологічні умови і в різній мірі постраждали від наслідків воєнних дій.

Методологія. Відбір донорів: жінки, які народили першу дитину, віком 20–35 років, які проживають у регіоні не менше 5 років.

Збір зразків: кожен донор надає 50 мл грудного молока на 3–8 тижні після пологів. Індивідуальні зразки об'єднуються в групові по 500 мл.

Аналіз: групові зразки (20) аналізуються за допомогою високороздільної газової хроматографії з мас-спектрометрією (HRGC/HRMS) для визначення рівнів поліхлорованих дибензо-п-діоксинів, поліхлорованих дибензофуранів і поліхлорованих біфенілів у перерахунку на токсичні еквіваленти ВООЗ (WHO-TEQ).

Рекомендовані регіони для включення до програми.

1. Дніпропетровська область

Місто Кривий Ріг і сільський район.

Обґрунтування: Ці міста є великими промисловими центрами з високим рівнем забруднення довкілля важкими металами і стійкими органічними забруднювачами, включаючи діоксини, місто та область постраждали від наслідків воєнних дій.

2. Запорізька область

Місто Запоріжжя і сільський район.

Обґрунтування: Індустріальний регіон з потужними металургійними підприємствами, що сприяють викидам діоксинів у довкілля, місто та область постраждали від наслідків воєнних дій.

3. Харківська область

Місто Харків і сільський район.

Обґрунтування: Високий рівень забруднення довкілля, місто та область постраждали від наслідків воєнних дій.

4. Одеська область

Місто: Одеса і сільський район.

Обґрунтування: Портове місто з розвиненою промисловістю та транспортною інфраструктурою, що може впливати на рівень забруднення, місто та область постраждали від наслідків воєнних дій.

5. Львівська область

Місто Львів і сільський район.

Обґрунтування: Представляє західний регіон України з відносно низьким рівнем промислового забруднення, що дозволить порівняти дані з іншими регіонами.

6. Київська область

Місто Київ, сільський район на півночі Київщини

Обґрунтування: Столиця з високою щільністю населення і транспортним навантаженням, що може впливати на рівень забруднення повітря та навколишнього середовища, місто і область постраждали від наслідків воєнних дій.

7. Херсонська область

Місто Херсон і сільський район.

Обґрунтування: Регіон, що зазнав значного екологічного впливу внаслідок військових дій та руйнування інфраструктури, зокрема Каховської ГЕС.

8. Миколаївська область

Місто Миколаїв і сільський район.

Обґрунтування: Промисловий центр з суднобудівною галуззю, що може бути джерелом забруднення навколишнього середовища, місто та область постраждали від наслідків воєнних дій.

9. Чернігівська область

Місто Чернігів і сільський район.

Обґрунтування: Регіон з переважно сільськогосподарським характером, що дозволить оцінити вплив діоксинів у менш індустріалізованих умовах.

10. Івано-Франківська область

Місто Івано-Франківськ і сільський район

Обґрунтування: Гірський регіон з низьким рівнем промислового забруднення, що слугуватиме контрольним зразком для порівняння.

Включення зазначених регіонів до програми біомоніторингу дозволить отримати комплексну інформацію щодо впливу діоксинів на здоров'я населення України.

Останнє подібне дослідження в Україні було проведено в рамках Третього раунду дослідження експозиції діоксинів за координації ВООЗ в 2000 році [111].

Дослідження мало наступні цілі:

- отримання надійних і порівнянних даних про рівні ПХБ, ПХДД і ПХДФ у жіночому молоці для подальшого вдосконалення оцінки ризику для здоров'я немовлят;

- визначити часові тенденції рівнів експозиції в країнах і регіонах, які вже вивчалися в першому та другому раунді дослідження в період 1987-88 та 1992-1993 років відповідно:

- забезпечити кращий огляд рівнів експозиції в різних країнах і географічних районах;

- визначити групи місцевого населення, які піддаються високому впливу, щодо їх щоденного споживання для отримання вказівок щодо заходів з управління ризиками, включаючи подальші епідеміологічні дослідження;

- сприяти, при необхідності, додатковим національним дослідженням, які будуть тісно пов'язані з поточним дослідженням за допомогою того самого протоколу.

В Україні було зібрано три загальні зразки (2 зразки в місті Києві та один в Київській області). Було виявлено такі концентрації: ПХДД/ПХДФ - 10,04 (інтервал 8,38 - 10,16) WHO-TEQ пкг/г жиру, ПХБ – 19,95 (інтервал 14,10 – 22,00) WHO-TEQ пкг/г жиру та сума індикаторних ПХБ 136 (103 – 148) нг/г жиру. Слід відмітити, що середня концентрація ПХБ була найбільшою серед усіх 100 досліджених зразків, відібраних в 26 країнах світу.

ВИСНОВКИ

1. Ставши членом Європейського Енергетичного Співтовариства та підписавши Угоду про асоціацію з ЄС [112], Україна повинна дотримуватися вимог природоохоронних документів ЄС і розробити заходи по реформуванню енергетичного сектору, які також пов'язані з впровадженням сучасних екологічно безпечних технологій управління відходами. Використання відходів як альтернативного джерела теплової та електричної енергії сприятиме зменшенню маси відходів, висока температура спалювання та відповідне очисне обладнання зменшить забруднення довкілля.

2. Результати досліджень щодо визначення небезпечних хімічних сполук у викидах в повітря при роботі експериментальних установок по термічному видаленню відсортованих твердих побутових відходів і відходів агропромислового комплексу свідчать, що вміст цих забруднюючих речовин не перевищує встановлених гігієнічних нормативів для викидів із установок по спалюванню відходів.

3. В дослідження проведених при функціонуванні стаціонарної установки по спалюванню несортованих твердих побутових відходів виявлено перевищення встановлених нормативів для сумарного вмісту поліхлорованих дибензо-п-діоксинів і поліхлорованих дибензофуранів, масової концентрації твердих частинок, вмісту фтористого водню і хлористого водню, сумарного вмісту сурми, миш'яку, свинцю, хрому, кобальту, міді, марганцю, нікелю, ванадію та їхніх сполук. Можливою причиною перевищення гігієнічних нормативів у викидах у повітря при роботі стаціонарної установки в порівнянні з експериментальними установками може бути різний склад твердих побутових відходів, які спалюються, відсутність попереднього сортування цих відходів і недостатня ефективність системи очищення димових газів.

4. Враховуючи спектр хімічних сполук у викидах із досліджених установок по спалюванню відходів і дані літератури щодо впливу на здоров'я людини окремих сполук, які містяться у цих викидах, можна зробити припущення, що робота досліджених нами установок також може підвищувати

ризик виникнення неінфекційних захворювань як для працівників цих установок, так і для населення, яке мешкає поблизу. Цей ризик може бути обумовлений як канцерогенними, так і неканцерогенними ефектами.

5. Бажана роль системи закладів громадського здоров'я (Центрів контролю та профілактики хвороб) в системі моніторингу хімічних забруднювачів атмосферного повітря полягає в проведенні оцінки ризиків. Зокрема, в оцінці канцерогенного і неканцерогенного ризику впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення за щорічними результатами моніторингових спостережень в фіксованих пунктах за референтними методами визначення рівнів забруднюючих речовин, що здійснюють ДСНС та інші суб'єктами моніторингу атмосфери відповідно до завдань, встановлених постановою КМУ від 14.08.2019 р. №827 [8].

6. Необхідна розробка і прийняття методичних рекомендацій щодо інтегральної оцінки ризику для здоров'я людини, викликаного хімічним забрудненням довкілля. Також, необхідно звернути увагу на проведення біомоніторингу цільових хімічних сполук і їх метаболітів (стійких органічних забруднювачів, ендокринних дизрапторів, важких металів і т.п.) в крові та в інших рідинах організму людини, що разом із визначенням хімічних речовин в довкіллі може бути основою для оцінки відповідних ризиків для здоров'я і для визначення стратегій контролю та підходів для обмеження таких ризиків.

7. Необхідно забезпечити Центри контролю та профілактики хвороб сучасним обладнанням для визначення забруднюючих речовин в об'єктах довкілля і для визначення біомаркерів небезпечного впливу в процесі проведення біомоніторингу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Compendium of WHO and other UN guidance in health and environment, 2024 update, 236 p. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240095380>.
2. Щорічний звіт про стан здоров'я населення України та епідемічну ситуацію за 2023 рік, Київ-2024, 78 с. URL: <https://moz.gov.ua/storage/uploads/386da5b2-66ed-4e85-932c-d9828ba76a7a/Щорічний-звіт-за-2023-рік.pdf>.
3. Дослідження STEPS: поширеність факторів ризику неінфекційних захворювань в Україні у 2019 році. Копенгаген : Європейське регіональне бюро ВООЗ, 2020. 88 с.
4. Second Global Conference on Air Pollution and Health. URL: <https://web.cvent.com/event/61ed4b57-38c5-4b6a-8560-7f0e56ce1d27/summary?RefId=Summary>.
5. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна», 176 с. URL: <https://me.gov.ua/view/22e86f94-a9dd-421e-adcb-e38748a4b7cb>.
6. Стратегія розвитку системи охорони здоров'я на період до 2030 року. (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17 січня 2025 р. № 34-р). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/34-2025-%D1%80#Text> (дата звернення 12.04.2025)
7. Національний план заходів щодо неінфекційних захворювань для досягнення глобальних цілей сталого розвитку (затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26 липня 2018 р. № 530-р). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/530-2018-%D1%80#Text> (дата звернення 12.04.2025)
8. Постанова Кабінету міністрів України від 14.08.2019 р. №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення 12.04.2025)
9. Indoor air pollution in India: implications on health and its control/ Kankaria A, Nongkynrih B, Gupta S. Indian J Comm Med. 39:203–7 doi: 10.4103/0970-0218.143019

10. Indoor air quality and ventilation assessment of rural mountainous households of Nepal/ Parajuli I, Lee H, Shrestha KR *Int J Sust Built Env.* (2016) 5:301–11. doi: 10.1016/j.ijsbe.2016.08.003
11. Emission estimates of organic and elemental carbon from household biomass fuel used over the Indo-Gangetic Plain (IGP), India/ Saud T, Gautam R, Mandal TK, Gadi R, Singh DP, Sharma SK. *Atmos Environ.* (2012) 61:212–20. doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.07.030.
12. Environmental air pollutants and the risk of cancer/ Nakano T, Otsuki T. *Gan To Kagaku Ryoho.* 2013 Nov;40(11):1441-5. Japanese. PMID: 24231697.
13. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review/ Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. *Front Public Health.* 2020 Feb 20;8:14. doi: 10.3389/fpubh.2020.00014. PMID: 32154200; PMCID: PMC7044178.
14. Чому виникає хронічне обструктивне захворювання легень і як його уникнути? URL: <https://moz.gov.ua/uk/chomu-vikikae-hronichne-obstruktivne-zahvorjuvannja-legen-i-jak-jogo-uniknuti>.
15. Центр громадського здоров'я МОЗ України. URL: <https://npsi.phc.org.ua/MortalityDashboard?indicator=196&year=2021> (дата звернення 12.04.2025)
16. World Health Organization. Data Platform. URL: <https://platform.who.int/mortality/themes/theme-details/topics/indicator-groups/indicator-group-details/MDB/chronic-obstructive-pulmonary-disease>
17. The adverse effects of air pollution on the nervous system/Genc S, Zadeoglulari Z, Fuss SH, Genc K. *J Toxicol.* (2012) 2012:782462. doi: 10.1155/2012/782462
18. Dietary antioxidants and environmental stress/Kelly FJ. *Proc Nutr Soc.* (2004) 63:579–85. doi: 10.1079/PNS2004388
19. Defining an educational framework for indoor air sciences education/ Boschi N (Ed.). In: *Education and Training in Indoor Air Sciences*. Luxembourg: Springer Science & Business Media (2012). 245 p.

20. Air pollution and the skin/ Drakaki E, Dessinioti C, Antoniou C. *Front Environ Sci Eng China*. (2014) 15:2–8. doi: 10.3389/fenvs.2014.00011
21. Impacts of air pollution on dry eye disease among residents in Hangzhou, China: a case-crossover study/ Mo Z, Fu Q, Lyu D, Zhang L, Qin Z, Tang Q, et al. *Environ Pollut*. (2019) 246:183–9. doi: 10.1016/j.envpol.2018.11.109
22. Effects of environmental air pollution on the eye/Klopper J. *J Am Optom Assoc*. (1989) 60:773–8.
23. Exposure to dioxins and dioxin-like substances: A major public health concern. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health>.
24. Global Action Plan for the Prevention and Control of Noncommunicable Diseases 2013-2020. Geneva: World Health Organization, 2013. URL: <https://www.who.int/nmh/publications/ncd-action-plan/en>.
25. Рак у дітей та дорослих - дані Національного канцер-реєстру/Cancer burden in Ukraine: statistics of the National Cancer Registry URL: <http://www.ncru.inf.ua/publications/index.htm>.
26. Експериментальна оцінка вмісту небезпечних хімічних сполук у викидах у повітря при роботі установок по спалюванню відходів/М.Г. Проданчук, С.В. Сноз, Л.М. Смердова та ін., Український журнал сучасних проблем токсикології, 2024, №2, С.7-29, DOI: 10.33273/2663-4570-2024-97-2-7-29
27. Treatments of polluted emissions from incinerator gases: a succinct review/ Pierre Le Cloirec, *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2012;11:381-92. DOI:10.1007/s11157-012-9265-z.
28. Influence of different loads on PCDD/F removal by SCR during municipal solid waste incineration/ Wu J, Ying Y, Ma Y, Zheng S, Lin X, Li X, et al. *Chemosphere*. 2023;338:139516.DOI:10.1016/j.chemosphere.2023.139516. Epub 2023 Jul 14. PMID: 37454983
29. Emission of ultrafine particles from the incineration of municipal solid waste: A review/Jones AM, Harrison RM. *Atmospheric Environment*. 2016;140:519-28.

30. Endocrine-Disrupting Chemicals and Disease Endpoints/ Ahn C, Jeung EB. *Int J Mol Sci.* 2023;24(6):5342. DOI:10.3390/ijms24065342. PMID: 36982431; PMCID: PMC10049097.
31. Possibilities of mercury removal in the dry flue gas cleaning lines of solid waste incineration units/ Svoboda K, Hartman M, Syc M, Pohofely M, Kamenikova R, Jeremias M, et al. *Journal of Environmental Management.* 2016;166:499-511.
32. Fate of heavy metals during municipal solid waste incineration in Shanghai/ Zhang H, He P-J, Shao L-M. *Journal of Hazardous Materials.* 2008;15:365-73.
33. Persistence of engineered nanoparticles in a municipal solid-waste incineration plant/ Walser T, Limbach LK, Brogioli R, Erismann E, Flamigni L, Hattendorf B, et al. *Nature Nanotechnology.* 2012;7:520-4.
34. A review of dioxin-related substances during municipal solid waste incineration/ Zhou H, Meng A, Long Y, Li Q, Zhang Y. *Waste Management.* 2015;36: 106-18.
35. Source Fingerprints of Volatile Organic Compounds Emitted from A Municipal Solid Waste Incineration Power Plant in Guangzhou, China/ Liu S, Wang B, He J, Tang X, Luo W, Wang C. *Procedia Environmental Sciences.* 2012;12:106-15.
36. Levels of PCDDs in farm cow's milk located near potential contaminant sources in Asturias (Spain). Comparison with levels found in control, rural farms and commercial pasteurized cow's milks/ Ramos L, Eljarrat E, Hernandez LM, Alonso L, Rivera J, Gonzales MJ. *Chemosphere.* 1997;35:2167-79.
37. Health impact of polychlorinated dibenzopdioxins: a critical review/ Mukerjee D. *J Air Waste Manag Assoc.* 1998;48:157-65.
38. Impact of hazardous waste on human health/ Johnson BL.. US: CRC Press; 1999.
39. Incineration and human health. State of knowledge of the impact of waste incinerators on human health. Executive summary/ Allsopp M, Costner P, Johnston P. *Environ Sci & Pollut Res.* 2001;8:141-5.

40. Health effects of residence near hazardous waste landfill sites: a review of epidemiologic literature/Vrijheid M. *Environ Health Perspect.* 2000;108 (Suppl 1): 101-12.
41. Health effects of exposure to waste incinerator emissions: a review of epidemiological studies/ Francchini M, Rial M, Buiatti E, Bianchi F. *Ann Ist Super Sanita.* 2004;40(1):101-15.
42. Abrupt exacerbation in air quality over Europe after the outbreak of Russia-Ukraine war/ Meng X, Lu B, Liu C, Zhang Z, Chen J, Herrmann H, et al *Environ Int.* 2023;178:108120. DOI: 10.1016/j.envint.2023.108120. Epub 2023 Jul 26. PMID: 37527587.
43. Waste incineration - how big is the health risk? A quantitative method to allow comparison with other health risks/ Richard J. Roberts, Mengfang Chen *Journal of Public Health* 2006;28(3):261-6. DOI: 10.1093/pubmed/fdl037. Epub 2006 Jul 25.
44. Директива 2000/76/ЄС «On the incineration of waste».
45. Директива 2010/75/ЄС «On industrial emissions (integrated pollution prevention and control)».
46. МВ №4751-88 від 12.12.1988 р. «Методические указания по фотометрическому измерению концентраций оксида и диоксида азота в воздухе рабочей зоны».
47. МВ №4588-88 від 30.03.1988 р. «Методические указания по фотометрическому измерению концентраций серной кислоты и диоксида серы в присутствии сульфатов в воздухе рабочей зоны».
48. МВ №1645-77 від 18.04.1977 р. «Методические указания на фотометрическое определение хлористого водорода в воздухе».
49. ISO 9096:2003 Stationary source emissions. Manual determination of mass concentration of particulate matter (IDT).
50. ISO 15713:2006 Stationary source emissions – Sampling and determination of gaseous fluoride content (IDT).
51. US EPA – Method 29 Determination of metals emissions from stationery sources.

52. ISO 15202:2012 Workplace air - Determination of metals and metalloids in airborne particulate matter by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.
53. US EPA – Method 1613 Tetra- through Octa-Chlorinated Dioxins and Furans by Isotope Dilution HRGC/HRMS.
54. Emissions of airborne pollutants from the municipal solid waste incineration plants of Giubiasco (TI) and Hinwil (ZEt) Final Report (12/2015-4/2016)/ Ari Setyan, Michael Patrick, Jing Wang Empa materials Science and Technology. 24 p.
55. Дослідження приземних концентрацій викидів сміттєспалювального заводу «Енергія»/ Безрук ЗД, Порєв В.А. Проблемы машиностроения. 2013;16(6)37–42.
56. Life cycle assessment of pyrolysis, gasification and incineration waste-to-energy technologies: theoretical-analysis and case study of commercial plants/ Dong J, Tang Y, Nzihou A, Chi Y, Weiss-Hortala E, et al. Science of the Total Environment. Elsevier. 2018;626:744–53.
57. EUR 16435 – Antimony (Sb) in urban and industrial waste and in waste incineration/ Van Velzen D, Langenkamp H. ECSC-EC-EAEC Brussels Luxembourg. 1996, 24 p.
58. IARC Monograph. Antimony and antimony compounds. 1989;47:291.
59. PCDD/F Emissions from Hazardous Waste Incinerators in China/ Wang Q, Jin Yu, Xiaodong L, Chen J, Lu S, et al. Aerosol and Air Quality Research. 2014;14:1152–9.
60. List of Classifications Agents classified by the IARC Monographs, Volumes 1–138 URL: <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>.
61. Estimated dietary dioxin exposure and breast cancer risk among women from the French E3N prospective cohort/ Danjou AM, Fervers B, Boutron-Ruault MC, Philip T, Clavel-Chapelon F, Dossus L. Breast Cancer Res. 2015 Mar 17;17:39. doi: 10.1186/s13058-015-0536-9. PMID: 25849111; PMCID: PMC4362830.
62. Spatial variations in the incidence of breast cancer and potential risks associated with soil dioxin contamination in Midland, Saginaw, and Bay Counties,

- Michigan, USA/ Dai D, Oyana TJ. Environ Health. 2008 Oct 21;7:49. doi: 10.1186/1476-069X-7-49. PMID: 18939976; PMCID: PMC2577707
63. Dioxin exposure and breast cancer risk in a prospective cohort study/VoPham T, Bertrand KA, Jones RR, Deziel NC, et al Environ Res. 2020 Jul;186:109516. doi: 10.1016/j.envres.2020.109516. Epub 2020 Apr 13. PMID: 32305677; PMCID: PMC7363533
64. Abnormal expression of MAPK, EGFR, CK17 and TGk in the skin lesions of chloracne patients exposed to dioxins/ Liu J, Zhang CM, Coenraads PJ, Ji ZY, et al Toxicol Lett. 2011 Mar 25;201(3):230-4. doi: 10.1016/j.toxlet.2011.01.004. Epub 2011 Jan 13. PMID: 21237254., https://core.ac.uk/reader/148235065?utm_source=linkout.
65. Dermatological manifestations in Yusho: correlation between skin symptoms and blood levels of dioxins, such as polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) and polychlorinated biphenyls (PCBs)/ Uenotsuchi, T. & Nakayama, J. & Asahi, M. & Kohro, O. et al (2005). Journal of Dermatological Science Supplement. 1. 10.1016/j.descs.2005.03.015.
66. Association of dioxin exposure and reproductive hormone levels in men living near the Bien Hoa airbase, Vietnam/ Van Luong H, Tai PT, Nishijo M, Trung DM, et al Sci Total Environ. 2018 Jul 1;628-629:484-489. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.094. Epub 2018 Feb 13. PMID: 29453177.
67. Effects of Perinatal Dioxin Exposure on Development of Children during the First 3 Years of Life/Tai, P.T., et al., J Pediatr, 2016. 175: p. 159-166.e2.,
68. Perinatal dioxin exposure and the neurodevelopment of Vietnamese toddlers at 1 year of age/ Pham, T.T., et al., Sci Total Environ, 2015. 536: p. 575-581.
69. Effects of perinatal dioxin exposure on mirror neuron activity in 9-year-old children living in a hot spot of dioxin contamination in Vietnam/ Hoa Thi Vu, Muneko Nishijo, Thao Ngoc Pham, Tai Pham-The, et al, Neuropsychologia, Volume 161, 2021,108001,ISSN 0028-3932, <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2021.108001>

70. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України №1692 від 31.05.2024 Про затвердження Методів відбору зразків та лабораторних досліджень (випробувань) для визначення рівнів діоксинів, діоксиноподібних поліхлорованих біфенілів і недіоксиноподібних поліхлорованих біфенілів у деяких харчових продуктах для цілей державного контролю (поточна редакція — прийняття від 31.05.2024) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0975-24#n7> (дата звернення 12.04.2025)
71. ДСанПіН «Максимально допустимі рівні окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах» (затв. наказом МОЗ України 13.05.2013 №368 (у редакції наказу МОЗ України від 22 травня 2020 року №1238) (поточна редакція від 09.02.2024) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0774-13#n16> (дата звернення 12.04.2025)
72. Cardiovascular effects of ambient particulate air pollution exposure/Sun Q, Hong X, Wold LE. Circulation. 2010 Jun 29;121(25):2755-65. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.893461.PMID: 20585020; PMCID: PMC 2924678.
73. The mechanisms of air pollution and particulate matter in cardiovascular diseases/ Fiordelisi A., Piscitelli P., Trimarco B., Coscioni E., et al Heart Fail Rev 22: 337–347, 2017. doi:10.1007/s10741-017-9606-7.
74. World Health Organization. Air quality, energy and health URL: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-energy-and-health/health-impacts>.
75. European Environment Agency. Assessing the risks to health from air pollution. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/assessing-the-risks-to-health>.
76. PM2.5 air pollution and cause-specific cardiovascular disease mortality/ Richard B Hayes, Chris Lim, Yilong Zhang, Kevin Cromar, et al, International Journal of Epidemiology, Volume 49, Issue 1, February 2020, Pages 25–35, <https://doi.org/10.1093/ije/dyz114>

77. World Health Organization Ambient (outdoor) air pollution. URL: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
78. EU air quality standards. URL: https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/eu-air-quality-standards_en.
79. World Health Organization. Air pollution data portal/Ambient air pollution data. URL: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution/ambient-air-pollution>
80. 2024 World Air Quality Report, 46 p. URL: https://www.igair.com/newsroom/wagr-2024-pr?srsId=AfmBOopFMtKtZesfALMpAePKFosPjt7jcYbqPp_ocgdQFsMJFo6fGLlI
81. Постанова Кабінету Міністрів України від 13 червня 2024 р. № 684 «Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем» (набирає чинності, поточна редакція — прийняття від 13.06.2024) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/684-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення 12.04.2025)
82. Наказ МВС України від 21.04.2021 №300 «Про затвердження Порядку розміщення пунктів спостережень за забрудненням атмосферного повітря в зонах та агломераціях» (поточна редакція — прийняття від 21.04.2021) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0635-21#Text> (дата звернення 12.04.2025).
83. Постанова Кабінету Міністрів України від 7 листопада 2023 року №1166 «Про затвердження Порядку здійснення моніторингу об'єктів оброблення відходів» (поточна редакція — прийняття від 07.11.2023) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1166-2023-%D0%BF#Text> (дата звернення 12.04.2025).
84. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля» (поточна редакція — прийняття від 20.03.2023) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2973-20#Text> (дата звернення 12.04.2025).

85. Постанова КМУ від 25 жовтня 2024 р. № 1213 «Порядок формування та перегляду переліку інформаційних потреб управління в галузі охорони навколишнього природного середовища» (поточна редакція — прийняття від 25.10.2024) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1213-2024-%D0%BF#Text> (дата звернення 12.04.2025).
86. Методичні рекомендації «Оцінка канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря», затверджені наказом МОЗ України від 18.10.2023 р. №1811 (поточна редакція - прийняття від 18.10.2023) <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v1811282-23#Text> (дата звернення 12.04.2025).
87. World Health Organization. Air quality, energy and health. URL: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/health-impacts/types-of-pollutants>
88. Dioxin-like POPs in national samples from global monitoring plan projects (2017-2019)/Fiedler H, Abalos M, Parera J, et al Chemosphere. 2023 Jun;325:138386. doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.138386. Epub 2023 Mar 11. PMID: 36914011.
89. Third National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention. URL: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/21808>
90. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2015). Human biomonitoring: facts and figures. 88 p. World Health Organization. Regional Office for Europe. URL: <https://iris.who.int/handle/10665/164588>.
91. Developmental neurotoxicity of industrial chemicals/ Grandjean P., Landrigan P.J., Lancet 368(9553):2167–78.
92. World Health Organization. Regional Office for Europe. (2023). Declaration of the Seventh Ministerial Conference on Environment and Health: Budapest, Hungary 5–7 July 2023. World Health Organization. Regional Office for Europe. <https://iris.who.int/handle/10665/371461>

93. Human biomonitoring as a pragmatic tool to support health risk management of chemicals-Examples under the EU REACH programme/ Boogaard P.J., Hays S.M., Aylward L.L., Regul Toxicol Pharmacol, 59(1):125–132.
94. Jakubowski M. Lead. In: Knudsen LE, Merlo D franco, editors. Biomarkers Hum Biomonitoring Vol1 Ongoing Programs Expo. Royal Society of Chemistry; 2012. p. 322-337.
95. Neurotoxic effects and biomarkers of lead exposure: a review/ Sanders T, Liu Y, Buchner V, Tchounwou, Rev Environ Health, 2009, 24:15–45.
96. The UNEP Global Mercury Assessment: Sources, Emissions and Transport/ G. Futsaeter, Simon J. Wilson April 2013 E3S Web of Conferences 1:36001 DOI:10.1051/e3sconf/20130136001
97. Cadmium blood and urine concentrations as measures of exposure: NHANES 1999–2010/ Adams S.V., Newcomb P.A., J Expo Sci Environ Epidemiol. 2014 Mar-Apr;24(2):163-70. doi: 10.1038/jes.2013.55. Epub 2013 Sep 4. PMID: 24002489; PMCID: PMC4079252..
98. Applicability of non-invasively collected matrices for human biomonitoring/ Smolders R., Schramm K.W., Nickmilder M, Schoeters G., Environ Health. 2009 Mar 9;8:8. doi: 10.1186/1476-069X-8-8. PMID: 19272133; PMCID: PMC2660315.
99. Sources of variability in biomarker concentrations/ Aylward LL, Hays SM, Smolders R, Koch HM, et al. Toxicol Environ Health B Crit Rev. 2014;17(1):45-61. doi: 10.1080/10937404.2013.864250. PMID: 24597909.
100. Hair analysis for biomonitoring of environmental and occupational exposure to organic pollutants: State of the art, critical review and future needs/Brice M.R. Appenzeller, Aristidis M. Tsatsakis, Toxicology Letters, Volume 210, Issue 2, 2012, Pages 119-140, ISSN 0378-4274, <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2011.10.021>).
101. Human biomonitoring: state of the art/Angerer J, Ewers U, Wilhelm M. Int J Hyg Environ Health. 2007 May;210(3-4):201-28. doi: 10.1016/j.ijheh.2007.01.024. Epub 2007 Mar 21. PMID: 17376741.

102. Biomarkers: potential uses and limitations/ Mayeux R. *NeuroRx*. 2004 Apr;1(2):182-8. doi: 10.1602/neurorx.1.2.182. PMID: 15717018; PMCID: PMC534923.
103. A Customizable Analysis Flow in Integrative Multi-Omics. *Biomolecules*/ Lancaster SM, Sanghi A, Wu S, Snyder MP. 2020 Nov 27;10(12):1606. doi: 10.3390/biom10121606. PMID: 33260881; PMCID: PMC7760368.
104. Exposome: priorities of Ukraine/ Yu.V. Voronenko, O.P. Hulchiy, N.M. Zakharova, K.V. Balashov, S.M. Turianytsia *УКР. МЕД. ЧАСОПИС*, 1 (141), Т. 2 – I/II 2021.
105. The «land of fires»: epidemiological research and public health policy during the waste crisis in Campania, Italy/Alberti P., *Heliyon*. 2022 Dec 15;8(12):e12331. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e12331. PMID: 36582724; PMCID: PMC9792804.
106. The Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS) 2016 International ethical guidelines for health-related research involving humans. URL: <https://cioms.ch/publications/product/international-ethical-guidelines-for-health-related-research-involving-humans/#description>
107. Наказ МОЗ України «Про затвердження документів з питань забезпечення якості лікарських засобів» від 16.02.2009 №95 (поточна редакція - Редакція від 12.09.2024), <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0095282-09#Text> (дата звернення 17.04.2025).
108. Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation) (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32016R0679>)).
109. Using biomarkers to inform cumulative risk assessment/ Ryan PB, Burke TA, Cohen Hubal EA, Cura JJ, McKone TE. *Environ Health Perspect*. 2007 May;115(5):833-40. doi: 10.1289/ehp.9334. Epub 2007 Jan 24. PMID: 17520075; PMCID: PMC1867975.

110. Fourth WHO-Coordinated survey of Human Milk for Persistent Organic Pollutants in Cooperation with UNEP - Guidelines for Developing a National Protocol, World Health Organization 2007, 40 p.
111. Results of the WHO-coordinated exposure study on the levels of PCBs, PCDDs and PCDFs in human milk/Rainer Malisch and FX Rolaf van Leeuwen, *Organohalogen Compounds* 64, 140-143 (2003).
112. Постанова Кабінету Міністрів України «Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони» від 25 жовтня 2017 р. №1106 (поточна редакція - Редакція від 18.09.2020), <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1106-2017-%D0%BF#Text> (дата звернення 18.04.2025).

ДОДАТОК А

АНКЕТА ДЛЯ ОПИТУВАННЯ ДОНОРІВ ГРУДНОГО МОЛОКА

Анкета	
ПІБ інтерв'юєра:	Дата опитування: (день/місяць/рік)
Місце опитування:	
1. Ви плануєте грудне вигодовування дитини? Так ☐ Ні ☐	
2. Це Ваша перша дитина? Так ☐ Ні ☐	
3. Ви чекаєте одну дитину (не двійнят)? Так ☐ Ні ☐	
4. Ваша вагітність протікає нормально? Так ☐ Ні ☐	
5. Ви живете в своєму районі 5 років? Так ☐ Ні ☐ Якщо ні, то скільки років проживаєте _____	
6. Вам менше 35 років? Так ☐ Ні ☐	
7. Ви живете поблизу сміттєспалювальних заводів, підприємств целюлозно-паперової промисловості, металургійної чи хімічної промисловості, або біля місць зберігання хімічних речовин? Так ☐ Ні ☐	

8. Чи потрапляли Ви під обстріли, вплив пожеж під час воєнних дій?

Так ☐

Ні ☐

Інформація щодо стану здоров'я

Дата народження (день/місяць/рік)

Вік (повних років)

Ріст (см)

Вага до вагітності (кг)

1. Яка очікувана дата пологів (день/місяць/рік)?

2. Де Ви проживали протягом останніх п'яти років?

Місто ☐

Сільська місцевість ☐

3. Як би ви описали свої харчові звички до вагітності?

Змішана дієта ☐ Вегетаріанська, але з молоком і яйцями ☐

Виключно вегетаріанська ☐ Інше ☐

4. Як часто в середньому ви споживали наступні продукти до вагітності?

	Риба та ри- бопродукти (наприклад, салат з тунцем)	М'ясо морських ссавців	Морепродукти, крім риби та м'яса морських ссавців (напри- клад креветки, мідії)	Молоко і молокопродукти (наприклад, сир, вершкове масло, вершки, йогурт)	М'ясо, птиця і м'ясопродукти (наприклад, ковбаса)	Яйця
Ніколи						
Менше ніж раз на тиждень						
Раз на тиждень						
Двічі на тиждень						
Більше ніж два рази на тиждень, але не щодня						
Щодня						

5. Які види риби ви споживаєте найчастіше?

Морська риба ☐ Прісноводна риба ☐ Обидва ☐

Будь ласка, вкажіть види риб, якщо Ви їх знаєте:

6. Вас годували грудьми?

Так ☐ Ні ☐ Не знаю ☐

Якщо так, то як довго _____

7. Чи Ви працювали до вагітності?

Так ☐ Ні ☐

Якщо так, будь ласка, вкажіть стаж роботи і опишіть вид роботи:

8. Чи палили Ви?

Ні, ніколи ☐ Так, раніше ☐ Так, палю зараз ☐

9. Чи вживаєте Ви алкоголь?

Ні, ніколи ☐ Так, до вагітності ☐ Так, вживаю зараз ☐

10. Який у Вас рівень освіти?

Немає ☐ Молодша школа ☐ Середня повна освіта ☐

Технічна освіта (молодший бакалавр) ☐ Ступінь бакалавра і вище ☐

11. Який у Вас рівень фізичної активності?

Не активна ☐ Скоріше неактивна ☐

Посередньо активна ☐ Активна ☐

12. Чи хворіла Ваша мати на рак грудей?

Так ☐ Ні ☐ Не маю інформації ☐

13. Індекс маси Вашого тіла, вага (кг) розділити на квадрат зросту в метрах Менше 18,5 ☐ В межах від 18,5 до 25 ☐ В межах від 25 до 30 ☐ Більше або рівно 30 ☐
14. Ваш вік у час першої менструації? Менше або рівно 12 ☐ 13-15 ☐ Більше 15 ☐
15. Чи використовували Ви оральні контрацептиви? Так ☐ Ні ☐
16. Чи використовували Ви медикаменти під час вагітності? Так ☐ Ні ☐ Якщо так, будь ласка, вкажіть їх назву:
17. Чи маєте Ви хронічні захворювання? Так ☐ Ні ☐ Якщо так, вкажіть які: _____
18. Інформована згода на участь на участь в програмі біомоніторингу діоксинів в грудному молоці. А. Чи погоджуєтесь Ви на використання вашого зразка грудного молока для дослідження вмісту діоксинів? Так ☐ Ні ☐ Б. Чи погоджуєтесь Ви на зберігання вашого зразка для майбутніх досліджень? Так ☐ Ні ☐