

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНА УСТАНОВА «ІНСТИТУТ ГРОМАДСЬКОГО  
ЗДОРОВ'Я ім. О.М. МАРЗЄЄВА НАМН УКРАЇНИ»**

**ПЕТРОСЯН АРІНА АГАСІЇВНА**

УДК 614.71/72:351.777:616-053.2/5

**НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ ГІГІЄНИЧНОЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ  
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

14.02.01 - Гігієна та професійна патологія

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора біологічних наук**

**Київ – 2021**

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державній установі «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної академії медичних наук України».

**Науковий консультант:** докторка медичних наук, професорка  
**Турос Олена Ігорівна,**  
Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», завідувачка лабораторії якості повітря.

**Офіційні опоненти:** докторка біологічних наук, професорка  
**Горова Алла Іванівна,**  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», професорка кафедри хімії;

академік НАМН України, доктор медичних наук,  
професор  
**Яворовський Олександр Петрович,**  
Національний медичний університет імені  
О.О. Богомольця МОЗ України, завідувач кафедри  
гігієни та екології №2;

докторка біологічних наук, професорка  
**Родінкова Вікторія Валеріївна,**  
Вінницький Національний медичний університет імені  
М.І. Пирогова, професорка кафедри фармації.

Захист відбудеться «23» квітня 2021 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.604.01 ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України» за адресою: 02094, м. Київ, вул. Попудренка, 50.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України» за адресою: 02094, м. Київ, вул. Попудренка, 50.

Автореферат розісланий «22» березня 2021 р.

**Вчений секретар**  
**спеціалізованої вченої ради,**  
**докторка біологічних наук**



**О.М. Литвиченко**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), забруднення атмосферного повітря є одним з провідних факторів ризику, з яким пов'язано 4,2 млн смертей на рік, що становить близько 7,6 % додаткових смертей у світі (ВООЗ, 2018). До забруднюючих речовин (ЗР), про негативний вплив яких на здоров'я населення отримано найпереконливіші докази, належать тверді частки пилу (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), озон, діоксиди азоту та сірки (ВООЗ, 2013, 2019). За даними звіту «State of global air» (HEI, 2018), від 87 до 93 % населення Європи знаходиться під експозицією високих рівнів концентрацій PM<sub>2.5</sub>, 61-83 % – PM<sub>10</sub>, 97-98 % – озону, 85-91 % – бенз(а)пірену, 36-37 % – сірки діоксиду, 8-12 % – азоту діоксиду. В Україні від забруднення атмосферного повітря потерпає близько 80 % всього населення в регіонах, де рівень забруднення повітря не відповідає гігієнічним нормативам (Турос О.І., 2008; Бардов В.Г., Яворовський О.П., 2007, 2018). Найбільшого впливу зазнає населення, яке проживає у техногенно-навантажених регіонах, де рівні ризику перевищують допустимі величини, зумовлені викидами стаціонарних та пересувних джерел (Сердюк А.М., 2019; Власик Л.І., 2017; Горова А.І., 2015; Турос О.І., 2008, 2011; Черниченко І.О., Литвиченко О.М, Бабій В.Ф., 2007, 2010, 2017; Федорченко Р.А., 2016; Ананьєва О.В., 2017; Давиденко Г.М., 2017).

Відповідно до угоди про Асоціацію між ЄС та Україною, було ратифіковано та імplementовано низку багатосторонніх міжнародно-правових угод і нормативних актів, серед яких основними є Конвенція про транскордонне забруднення повітря на великі відстані та 8 Протоколів до неї, Рамкова конвенція ООН про зміну клімату, Організаційна конвенція, Директиви ЄС 2008/50/ЄС, 2004/107/ЄС, 2010/75/ЄС. Основною метою цих документів є зменшення викидів ЗР в атмосферне повітря та запобігання його негативного впливу на здоров'я населення на підставі ризикових оцінок.

Відомо, що у світовій практиці на основі результатів оцінювання ризику (Héroux M.E., Cohen A., Krzyzanowski M., 2015; Hänninen O., Chalvatzaki E., Xiong K., 2018, 2019; Golub A., Kenessariyev U., Brody M., 2008, 2013; Авалиани С.Л., Рахманін Ю.А., Ракитський В.Н., 2014, 2015, 2019; Ревич Б.О., 2008, 2016; Фоменко Г.А., Бородкин А.Е., 2016, 2017) встановлюють гігієнічні нормативи, обґрунтовують розміри санітарно-захисних зон (СЗЗ) для промислових підприємств і приймають містобудівні рішення, створюють профілактичні і природоохоронні програми. В умовах керування територіальними громадами, прийняття управлінських рішень щодо зниження ризику для здоров'я населення до прийняттого рівня створює умови для удосконалення системи гігієнічної оцінки якості повітря на державному рівні (Турос О.І., 2012; Загородній В.В., 2011; Черненко Л.М., 2015).

Обов'язковість використання ймовірнісного підходу у вигляді методології оцінки ризику для здоров'я населення (МОРЗН) знайшла своє відображення й в останніх державних стратегічних і планових документах України, зокрема у ЗУ «Про санітарне та епідемічне благополуччя населення»; ЗУ «Основні засади

(стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року»; ЗУ «Про оцінку впливу на довкілля» та ЗУ «Про стратегічну екологічну оцінку». Але, на жаль, питання застосування МОРЗН не є облігатним та законодавчо не закріплено у загальній дозвільній системі, де питання оцінювання впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення розглядається лише для отримання промисловим підприємством дозволу на викид у частині обґрунтування розміру санітарно-захисної зони та під час розроблення проектів оцінки впливу на довкілля. Водночас, оцінювання токсичності викидів залишається поза увагою органів регулювання та контролю, що є причиною недооцінки біологічних ефектів, зумовлених особливостями забруднення атмосферного повітря різними видами та територіальним розташуванням промислових підприємств і автотранспорту. В першу чергу, це зумовлено застарілістю, неефективністю системи державного моніторингу (відсутністю типізації розташування та автоматичних систем пробовідбору на постах спостереження), що призводить до розрізненості даних спостережень Українського гідрометеорологічного центру Державної служби надзвичайних ситуацій (ДСНС) України, лабораторних центрів Міністерства охорони здоров'я (МОЗ) України та Державної екологічної інспекції України. Така ситуація погіршується ще й внаслідок законодавчо закріпленого використання критеріального підходу, відповідно до концепції «нульового» ризику, який не враховує хронічний інгаляційний вплив ЗР на здоров'я усіх груп експонованого населення протягом життя (Калюжний Д.Н., 1973; Буштуева К.А., 1979; Пинигин М.А., 1984; Присяжнюк В.Є., 1993). Незважаючи на прийняття Постанови КМУ від 14.08.2019 р. за №827 «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря», нерегульованим залишається питання визначення вмісту твердих часток пилу (з діаметром менше 10 мкм –  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ) та озону, оскільки їх державний моніторинг й досі не запроваджений в Україні за відсутності технічних можливостей перепрофілювання мережі моніторингу. Важливим в цьому сенсі є й контроль за біологічним забрудненням повітря, зокрема, пилом рослин, який здійснюється в Україні спорадично (Родінкова В.В., 2018).

Отже, основною проблемою ширшого впровадження державної системи моніторингу та МОРЗН є відсутність комплексного системного підходу до використання сучасних інструментів щодо оцінювання якості атмосферного повітря, які вимагають визначення рівнів експозицій населення за різні періоди усереднення (година, доба, місяць, рік) для подальших розрахунків ризику для здоров'я населення. Це, своєю чергою, потребує внесення змін та доповнень до основних нормативно-методичних документів чинного санітарного та екологічного законодавства, адаптації та створення математичних (розрахункових) програмних комплексів, регламентів, технічних умов та інструкцій.

Аналізуючи вищевикладене, у світлі виконання Україною взятих на себе міжнародних зобов'язань, можна констатувати, що система оцінки та управління якістю атмосферного повітря вимагає перегляду. Перш за все – шляхом методичних змін у використанні системного підходу, що базується на впровадженні єдиних оцінок впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення (від «джерела викиду» до «стану здоров'я») та ймовірнісного підходу з використанням

нових інформаційних технологій у науковому обґрунтуванні управлінських рішень на державному, регіональному та локальному рівнях. Подібні дії дадуть змогу об'єднати соціальний та екологічний складники системи регулювання якості повітря та створять основу для реалізації Глобальних цілей стійкого розвитку. Цим зумовлено вибір теми, мети та завдань наукового дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Роботу виконано в рамках таких науково-дослідних робіт Державної установи «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва Національної академії медичних наук України»: «Оцінка соціальних втрат, обумовлених підвищеними ризиками від дії забрудненого атмосферного повітря для здоров'я населення», 2012-2014 рр. (№ держреєстрації 0115U002081); «Наукові засади оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту», 2012-2014 рр. (№ держреєстрації 0112U001053); «Вдосконалення наукових підходів до гігієнічної оцінки діяльності теплоенергетичних об'єктів», 2015-2017 рр. (№ держреєстрації 0115U000648); «Наукове обґрунтування критеріїв оцінки небезпеки, обумовленої забрудненням атмосферного повітря речовинами у вигляді твердих суспендованих частинок, відповідно до вимог ЄС», 2018-2020 рр. (№ держреєстрації 0118U003709).

Деякі положення дисертаційної роботи висвітлено у рамках: міжнародного проєкту SAICM QSP «Розвиток субрегіонального інституційного співробітництва у сфері охорони здоров'я для зміцнення спроможності та обміну інформацією для вирішення проблем впливу небезпечних хімікатів на здоров'я в Білорусі та Україні» за фінансової підтримки ВООЗ та Програми з навколишнього середовища ООН (ЮНЕП), 2018 р.; міжнародного проєкту «Breathing Together for Local Air Quality, CONSPIRO» Європейського об'єднаного дослідного центру (EU JRC) «Європейська стратегія для Дунайського регіону» (пріоритетна область з питань якості повітря), 2017-2018 рр.; міжнародного проєкту BELUGA Каролінського Інституту, 2016-2019 рр.; цільової програми наукових досліджень НАН України «Аерокосмічні спостереження довкілля в інтересах сталого розвитку та безпеки як національний сегмент проєкту Горизонт-2020 ERA-PLANET», виконуваної за підтримки EU JRC (НДР «Визначення концентрацій забруднюючих речовин (зважених частинок та озону) у приземному шарі атмосфери та інформування громади щодо їх небезпеки для здоров'я населення», 2017-2020 рр.).

**Мета роботи** – удосконалення системи гігієнічної оцінки якості атмосферного повітря для обґрунтування та розроблення управлінських заходів, спрямованих на збереження громадського здоров'я.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі **завдання**.

1. Проаналізувати стан забруднення атмосферного повітря в Україні відповідно до національних та міжнародних вимог.
2. Адаптувати сучасні методичні підходи та інструменти для визначення експозиції в процедурі гігієнічної оцінки якості повітря.
3. Удосконалити національні вимоги до впровадження автоматизованої мережі спостережень (моніторингу) атмосферного повітря.
4. Обґрунтувати гігієнічні вимоги до розроблення технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин.

5. Науково обґрунтувати використання ймовірнісного підходу до встановлення розмірів санітарно-захисних зон для промислових підприємств під час проведення державної санітарно-епідеміологічної експертизи.
6. Оцінити ризик для здоров'я та соціальні втрати населення від забруднення атмосферного повітря викидами промислових підприємств та автотранспорту.
7. Розробити та удосконалити систему гігієнічної оцінки якості повітря шляхом впровадження інноваційних технологій та процедури оцінки ризику для здоров'я населення.

**Об'єкт дослідження:** система оцінки якості повітря, заснована на критеріях безпеки для здоров'я населення.

**Предмет дослідження:** рівні експозиційних навантажень (концентрацій) ЗР у приземному шарі атмосфери; ризики для здоров'я, зумовлені хімічним забрудненням атмосферного повітря (неканцерогенні та канцерогенні); технологічні нормативи допустимих викидів ЗР; конвенції, директиви та регламенти ЄС, законодавчі та нормативно-правові акти України; форми статистичної звітності щодо характеристики забруднення атмосферного повітря (документи дозвільного характеру).

**Методи дослідження:** бібліографічний метод аналізу наукової та нормативно-методичної інформації; еколого-гігієнічний аналіз інформації щодо забруднення атмосферного повітря викидами промислових підприємств та автотранспорту; статистичні методи оброблення даних (за допомогою EXCEL, STATISTICA 10.0); фізико-хімічні методи аналізу; математичні методи (моделювання забруднення атмосферного повітря за допомогою програмного комплексу ISC-AERMOD View, ліцензія ISCA Y0002896); оцінка ризику для здоров'я населення (визначення ексцесу ризиків для індикаторів здоров'я); картографічні методи з використанням геоінформаційних систем (ГІС; ArcGis 10.1) та даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ; космічні знімки).

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в розробленні теоретичних та методичних засад удосконалення гігієнічної складової міждисциплінарної системи оцінки якості атмосферного повітря з використанням ймовірнісного підходу за допомогою реалізації комплексу натурних вимірювань, структурно-логічного моделювання розповсюдження ЗР у приземному шарі атмосфери (ПША), впровадженні нових інформаційних технологій для визначення зон підвищеного інгаляційного ризику для здоров'я населення та розроблення профілактичних програм у сфері громадського здоров'я. В результаті виконаного системного дослідження вперше здійснено комплексну еколого-гігієнічну та фізико-географічну оцінки забруднення атмосферного повітря на різних територіях України; обґрунтовано визначення зон впливу в населених пунктах з урахуванням щільності проживання населення, токсичності викидів та територіальних особливостей забруднення стаціонарними та пересувними джерелами, використовуючи дані ДЗЗ та ГІС; визначено особливості формування інгаляційного ризику на певних територіях за окремі проміжки часу впливу та встановлено закономірності для різних періодів усереднення (година, доба, рік); доведено необхідність використання методичних підходів МОПЗН для організації, удосконалення та здійснення автоматизованого моніторингу атмосферного повітря в

зонах та агломераціях (у т.ч. обов'язковість впровадження спостережень за  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та озоном); під час розроблення технологічних нормативів допустимих викидів ЗР в атмосферне повітря, використовуючи результати оцінки ризику, проведено порівняльний аналіз з висновками найкращих доступних технологій і методик (НДТМ), що рекомендовані ЄС; запропоновано впровадження ймовірнісного підходу та сучасних методичних інструментів для удосконалення системи гігієнічної оцінки якості повітря під час прийняття управлінських рішень на державному рівні.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає в тому, що наукові положення дисертації використані у якості прикладної основи для адаптації програмних комплексів щодо можливості розрахунків концентрацій ЗР у ПША за різний період усереднення, які дадуть змогу оцінювати ризик як за умови хронічних, так і гострих інгаляційних впливів викидів ЗР на здоров'я експонованого населення. Результати дисертації дозволили розширити методичну базу з впровадження методології оцінок ризику від забруднення атмосферного повітря стаціонарними і пересувними джерелами шляхом перегляду нормативно-правових документів та внесень змін у процедуру погодження документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів для отримання дозволу на викиди (в частині обґрунтування розмірів СЗЗ), затвердження технологічних нормативів допустимих викидів та обґрунтування системи гігієнічної оцінки якості повітря на державному рівні як складової соціально-гігієнічного моніторингу. З метою удосконалення процедур оцінки впливу на довкілля, стратегічної екологічної оцінки та прийняття містобудівних рішень, під час складання міських програм соціально-економічного розвитку розроблено профілактичні та природоохоронні заходи.

За результатами досліджень та участю автора отримано 2 патенти на корисну модель: «Спосіб прогнозування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту» (№96939-2015) та «Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі» (№131880-2018); опубліковано 5 інформаційних листів: №149-2015 «Обґрунтування доцільності поєднання різних економічних підходів та методології оцінки ризику для здоров'я населення при оцінках соціально-економічних збитків здоров'я населення», №150-2015 «Обґрунтування підходів до оцінки соціальних втрат, обумовлених підвищеними ризиками від дії забрудненого атмосферного повітря для здоров'я населення України», №227-2015 «Вдосконалення підходів до оцінки кількісного впливу забруднення атмосферного повітря, обумовленого викидами автомобільного транспорту та визначення зон підвищеного ризику для здоров'я населення», №334-2015 «Використання оцінки ризику для здоров'я населення при розробці технологічних нормативів допустимих викидів», №300-2017 «Визначення розповсюдження хімічних забруднюючих речовин з вираженими запахоутворюючими властивостями, що утворюються в процесі діяльності свинокомплексів».

Матеріали, отримані під час виконання дисертаційної роботи, знайшли своє практичне відображення у вигляді змін та доповнень до проєктів ЗУ «Про стратегічну екологічну оцінку», ЗУ «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності», ЗУ «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», ЗУ «Про Стратегію національної

екологічної політики України на період до 2020 року»; розпорядження КМУ «Про схвалення концепції реформування державної системи моніторингу довкілля»; Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища України на періоди 2011-2015 рр., 2016-2020 рр.; наказу МВС України «Про затвердження Порядку встановлення зон та агломерацій за рівнем забруднення атмосферного повітря та їх класифікації»; положень щодо імплементації Директив 2008/50/ЄС про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи та 2004/107/ЄС про миш'як, кадмій, ртуть, нікель та ПАВ в атмосферному повітрі; наказах МЕРПУ №671 від 21.12.2012 р., №262 від 01.07.2015 р., № 260 від 01.07.2015 р., № 261 від 01.07.2015 р., № 504 від 25.12.2015, під час затвердження технологічних нормативів допустимих викидів ЗР із устаткування (установки) для різних видів виробництв; національних доповідях про стан навколишнього середовища в Україні у 2015, 2017 та 2018 рр. Результати оцінки ризику та розроблені методичні підходи були використані під час створення Запорізької обласної комплексної програми охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки (рішення Запорізької ОДА від 28.03.2013 р. за №29), проекту програми «Організація, розбудова та удосконалення регіональної автоматизованої мережі спостережень за станом атмосферного повітря у Дніпропетровській області», міських програм – «Охорона та оздоровлення навколишнього середовища м. Маріуполь на 2012-2020 роки» (рішення Маріупольської міської ради від 25.09.12 р. за №6/22-2462 (зі змінами) з додатками 1,2,3, відповідно до рішення міської ради №7/8-375 від 30.06.20016 р.), «Охорона довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки на території м. Чорноморська Одеської області на 2017-2020 рр.» (рішення Чорноморської міської ради від 12.03.2016 р. за №38-VII), «Здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря та управління якістю атмосферного повітря м. Київ (2019-2021 рр.)». Також, результати впроваджено у навчальний процес кафедри загальної гігієни ДЗ «Дніпропетровська державна медична академія МОЗ України», кафедри гігієни та екології №4 Національного медичного університету імені О.О. Богомольця, Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління, ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка та у практичну діяльність ДУ «Запорізький обласний лабораторний центр МОЗ України», Головних управлінь Держпродспоживслужби в м. Києві, Донецькій та Хмельницькій областях, ТОВ «Автоекоприлад», ТОВ «Центр екології та розвитку нових технологій», що підтверджено відповідними актами впровадження, наданими у 2017-2020 роках.

**Особистий внесок здобувачки.** Авторкою обґрунтовано ідею, визначено завдання і програму досліджень, виконано комплекс теоретичних досліджень, а саме: проведено патентно-інформаційний пошук; складено аналітичний огляд літератури за проблемою дослідження, обґрунтовано дизайн дослідження та вибір адекватних методик; проаналізовано та порівняно нормативно-методичні національні та міжнародні документи. Самостійно зібрано та узагальнено статистичний матеріал щодо характеристики джерел і складу викидів промислових підприємств; здійснено статистичну обробку даних натурних вимірювань; оцінено та узагальнено розрахункові дані (усереднені 1-годинні, 24-годинні та річні



концентрації) щодо особливостей та закономірностей поширення забруднення у ПША на підставі математичного моделювання; розраховано та оцінено ризики для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами різних видів промислових підприємств та автотранспорту; розроблено та обґрунтовано алгоритм оцінки та управління ризиком від забруднення атмосферного повітря для створення профілактичних та природоохоронних програм. Проведено науковий аналіз і узагальнення результатів та сформульовано висновки. Особистий внесок здобувачки становить понад 85 % від загального обсягу роботи.

**Апробація результатів дослідження.** Основні положення дисертації доповідались і обговорювались на: міжнародних конференціях «ISES» (Балтімор, Сіетл, США, 2011, 2012); міжнародних конференціях «ISEE, ISES, ISIAQ» (Базель, Швейцарія, 2013; Утрехт, Нідерланди, 2016); міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій Всесвітньому дню здоров'я (Київ, 2011, 2012); міжнародному екологічному форумі «Довкілля для України» (Київ, 2012); XV З'їзді гігієністів «Гігієнічна наука та практика: сучасні реалії» (Львів, 2012); міжнародному форумі «Новітні технології ГІС та ДЗЗ в Україні» (Київ, 2012, 2017, 2018); VI Міжнародному форумі «Комплексне забезпечення лабораторій» (Київ, 2013); семінарі «Врегулювання питання процедури розгляду та погодження Держсанепідслужбою України документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів, для отримання дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами» (Київ, 2014); міжнародній третій літній школі «Measurements of atmospheric aerosols: Aerosol physics, sampling and measurement techniques» (Гельсінкі, Фінляндія, 2015); науковій конференції з міжнародною участю «Запровадження національного плану дій щодо НІЗ на період до 2020 року, відповідно до Європейської стратегії «Здоров'я-2020» (Київ, 2015); українсько-польській конференції «Проблеми забруднення та очистки повітря: контроль, моніторинг, каталітичні, фотокаталітичні та сорбційні методи очистки» (Київ, 2016); 5-6th Annual Forum of the EU Strategy for the Danube Region (Братислава, Словаччина, 2016; Будапешт, Угорщина, 2017); семінар-наradі «Наукове забезпечення діяльності Держпродспоживслужби щодо здійснення державного нагляду (контролю) у сфері санітарного законодавства» (Київ, 2017); круглому столі ВООЗ «Пріоритети довкілля та здоров'я в Україні» (Київ, 2018); робочих нарадах з виконання проєктів Цільової програми НАН України «ERA-PLANET-UA», Horizon-2020 (Київ, 2017, 2018, 2019); робочих засіданнях експертної групи європейського об'єднаного дослідного центру з питань якості повітря (Іспра, Італія, 2016; Загреб, Хорватія, 2016; Белград, Сербія, 2017; Софія, Болгарія, 2018; Бухарест, Румунія, 2018; Прага, Чехія, 2018); міжнародному порівняльному семінарі «WHO/JRC INTERCOMPARISON WORKSHOP ON AIR QUALITY MONITORING – NO/N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>» (Ланген, Німеччина, 2015, 2018); науково-практичних конференціях «Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (марзеєвські читання)» (Київ, 2011, 2014, 2015, 2016, 2018, 2019); міжнародній конференції «Environmental health and sustainable urban development (Рига, Латвія, 2019); міжнародній виставці «Waste Air & Gas Management» (Київ, 2018, 2019); міжгалузевому заході – платформа екологічних та технологічних рішень «ПИЛОГАЗООЧИСТКА-2020» (Київ, 2020).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 66 наукових праць, серед них: 29 статей, з них 21 – у наукових фахових виданнях України та наукових періодичних виданнях інших держав, 8 – в інших виданнях та 30 тез доповідей на вітчизняних та міжнародних конференціях, форумах та з'їздах. Отримано 2 патенти на корисну модель та видано 5 інформаційних листів. Публікації виконано самостійно та у співавторстві.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація має анотацію українською та англійською мовами, складається зі вступу, восьми розділів (результати власних досліджень, їх аналіз та узагальнення), висновків, списку використаних джерел, що містить 437 літературних посилань (229 – кирилицею, 208 – латиницею). Роботу викладено на 438 сторінках (обсяг основного тексту становить 322 сторінки), вона містить 103 рисунки, 22 таблиці, 6 додатків.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **Вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, вказано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Сформульовано мету та завдання, об'єкт і предмет дослідження, охарактеризовано методи наукового пізнання, що використані у дослідженні, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено дані про особистий внесок здобувачки, апробацію наукових розробок, публікації результатів дослідження, обсяг і структуру дисертації.

**Розділ 1** присвячено аналізу доступної наукової вітчизняної та закордонної літератури з проблем еколого-гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря та його впливу на здоров'я населення. Він включає огляд літератури з питань: аналізу національної політики щодо охорони атмосферного повітря в Україні та її відповідність до міжнародних вимог; дані щодо вивчення сучасного стану та характеристики наявних методичних підходів до оцінки якості атмосферного повітря (системи моніторингу та аналізу моделей розсіювання ЗР у ПША); оцінки ризику та впливу забруднення повітря, обумовленого викидами промислових підприємств та автотранспорту на здоров'я людини. Показано, що проблема вивчення характеру забруднення атмосферного повітря та його впливу на стан здоров'я населення є своєчасною та актуальною, але вимагає пошуку єдиних методичних підходів з метою удосконалення системи гігієнічної оцінки якості атмосферного повітря для обґрунтування та розроблення управлінських заходів, спрямованих на збереження громадського здоров'я. Тому дослідження за цим напрямком не втрачають актуальності та потребують подальшого розвитку, що дозволило сформулювати мету, основні завдання та визначити етапи роботи.

У **Розділі 2** представлено основні методи, матеріали, використані під час виконання дисертаційної роботи, які уможливили поетапну реалізацію мети та завдань проведеного наукового дослідження з позицій системного підходу. Також наведений обсяг досліджень, виконаних відповідно до програми та цільової структури організації наукової роботи. Виконання взаємопов'язаних завдань на кожному з етапів дало можливість одержати репрезентативні результати. Методичною основою для вибору перспективних напрямків роботи слугувало вивчення вітчизняної і міжнародної законодавчої нормативно-правової бази щодо

регулювання викидів джерел забруднення атмосферного повітря (промислових підприємств та автотранспорту) та оціночних характеристик їх ризику та впливу на здоров'я населення. Узагальнену інформацію про програмно-цільову організацію виконання досліджень наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

## Етапи та обсяги досліджень

№	Етапи досліджень	Матеріали та обсяги досліджень
1.	Аналіз політики щодо охорони та оцінки якості атмосферного повітря в Україні та її відповідність міжнародним вимогам	проаналізовано 69 нормативно-правових документів, з них 38 міжнародних та 31 національний
2.	Еколого-гігієнічна та фізико-географічна оцінка територій (зон впливу)	досліджено 21 населений пункт, 43 промислових підприємств, уточнено та геокодовано 7576 джерел викидів, 46 ділянок автодоріг та 14 перехресть (за проєктними матеріалами дозвільного характеру); сформовано переліки пріоритетних ЗР для різних видів промислових підприємств та автотранспорту
3.	Розрахунки усереднених концентрацій ЗР за допомогою дисперсійних моделей	виконано $\approx 2,3$ млн розрахунків усереднених 1-, 24-годинних, річних концентрацій пріоритетних ЗР у ПША від викидів різних промислових підприємств та автотранспорту; проведена статистична обробка отриманих результатів
4.	Оцінка токсичності і направленості впливу ЗР на органи та системи людського організму	проаналізовано концентрації 71 ЗР від викидів різних промислових підприємств та автотранспорту у порівнянні з міжнародними та вітчизняними гігієнічними нормативами якості атмосферного повітря
5.	Натурні дослідження атмосферного повітря	проведено вимірювання масових концентрацій: $PM_{10}$ – 15062 досліджень, $PM_{2.5}$ – 15434, озон – 774; статистична обробка отриманих результатів
6.	Оцінка ризику (неканцерогенного та канцерогенного, індивідуального ризику смерті) для здоров'я населення	$\approx 2,1$ млн розрахунків рівнів ризику для здоров'я населення (за умови гострого та хронічного впливу) пріоритетних ЗР від викидів 37 різних видів промислових підприємств та автотранспорту

Еколого-гігієнічний аналіз даних офіційної статистичної звітності (2010, 2015-2018 рр.) забруднення атмосферного повітря викидами промислових підприємств та автотранспорту в Україні було проведено за допомогою методів одновимірної статистики в середовищі програмного пакета EXCEL. Для характеристики параметрів та складу джерел викидів (ДВ) досліджуваних промислових підприємств

та автотранспорту використано та проаналізовано наступні матеріали (2011-2019 рр.): звіти інвентаризації викидів ЗР від стаціонарних та пересувних джерел; документи, у яких обґрунтовуються обсяги викидів, для отримання дозволу на викиди ЗР в атмосферне повітря; матеріали щодо обґрунтувань та встановлення розмірів СЗЗ; проекти оцінки впливу на довкілля; центроїди, генеральні плани та карти-схеми положення ДВ на територіях проммайданчиків та ділянок автодоріг, перехресть; інформація щодо фактичного часу технологічних режимів роботи обладнання на промислових об'єктах та потоків/характеристики автотранспорту. Інформація щодо параметрів та складу ДВ була опрацьована за допомогою програми XML-Converter та інструментів EXCEL з метою приведення до зазначених, сумісних з модулями розрахункової програми, файлів формату Space/Tap Delimited Text Format та CSV. Результатом конвертації стали файли текстового формату кодування ASCII, що містили особливості даних для різних типів стаціонарних ДВ (точкові, лінійні та площинні). При цьому досліджувані ділянки автодоріг було задано у вигляді неорганізованих ДВ лінійного типу, а перехрестя – площинного.

Аналіз еколого-гігієнічних та фізико-географічних параметрів територій дослідження (21 населений пункт), просторового розподілу та визначення розташування ДВ промислових підприємств та ділянок автодоріг і перехресть руху автотранспорту було проведено за розробленим алгоритмом, використовуючи картографічні методи дослідження за допомогою інструментів пакету ArcMap програмного продукту ArcGis, шляхом географічної прив'язки (геокодування) та обробки супутникових даних у системі координат WGS-84. Оцінка похибки положення (координат) джерел викиду ЗР за матеріалами дистанційного зондування, після корегування виконувалася за стандартними процедурами дисперсійного статистичного аналізу в середовищі програмного пакету EXCEL. Сформовано переліки пріоритетних ЗР для викидів різних видів промислових підприємств та автотранспорту.

Моделювання рівнів забруднення атмосферного повітря викидами ЗР від різних об'єктів господарської діяльності було проведено для 7576 стаціонарних джерел 43 основних *промислових підприємств*, розташованих у різних регіонах України. Це, зокрема, були металургійні підприємства – м. Запоріжжя (8 промпідприємств), м. Маріуполь (2), мм. Кам'янське, Алчевськ, Донецьк, Єнакієве, Кривий Ріг, Дніпро (по 1, загалом – 6); машинобудівні підприємства – м. Дружківка (3), м. Запоріжжя (2), м. Ромни (1); хімічні підприємства – м. Черкаси (2), м. Кам'янське (1); коксохімічні підприємства – м. Кам'янське (2), мм. Макіївка, Запоріжжя та Дніпро (по 1, загалом – 3); теплоенергетичні підприємства – Київська область (1); гірничорудні підприємства – м. Кривий Ріг (1), м. Марганець (1), м. Жовті води (1); нафтопереробні – м. Дрогобич (1), с. Яреськи Полтавської області (1); будівельні – м. Миколаїв (1), м. Кам'янське (1); з виробництва олії та тваринних жирів – м. Запоріжжя (1), м. Дніпро (1); сільськогосподарські (свинокомплекси) – с. Полствин, Черкаська область (1), с. Мельники, Черкаська область (1), с. Малинівка, Житомирська область (1). Також моделювання забруднення ПША було проведене від викидів *автотранспорту* – 28 ділянок автодоріг та 6 перехресть у Дарницькому та Дніпровському районах та 18 ділянок автодоріг у

Солом'янському районі м. Київ; 8 основних перехресть центральних автодоріг у м. Запоріжжя. Для промислових підприємств було визначено розрахункові сітки радіального типу у всіх напрямках за румбами сторін світу на відстанях від центроїдів промайданчиків до 12000 м (у залежності від зони впливу підприємства – 40 висот найвищого ДВ) та прямокутного типу, з кроком сітки від 50 до 500 м. Для автотранспорту моделювання було проведено у рецепторних точках на відстанях 25, 50, 100 та 300 м або у буферних зонах радіусом 25, 50, 100, 300, 500, 1000 м від картографованих перехресть та відрізків проїжджої частини дороги.

Розрахунки усереднених концентрацій ЗР у ПША були виконані за допомогою методу математичного моделювання, реалізованого в програмному комплексі ISC-AERMOD View. До модулів програми за розробленим алгоритмом передпроцесінгу були введені наступні параметри: рельєф територій дослідження, метеоумови за певний часовий період, характеристики землекористування, параметри та характеристики ДВ. У результаті агрегації перерахованих вище параметрів були визначені усереднені 1-годинні, 24-годинні та річні концентрації в кожній рецепторній точці від заданої групи джерел досліджуваних підприємств та автотранспорту. Отримані вибірки усереднених концентрацій було класифіковано за квантилями, в результаті чого виділено від 5 до 10 рівнів концентрацій. Також проведено аналіз співвідношення максимально разових, середньодобових та середньорічних концентрацій. Оцінку токсичності і направленості впливу 71 пріоритетної ЗР на органи та системи людського організму було проведено, відповідно до кількісних параметрів залежності «концентрація (доза)-відповідь»: референтних концентрацій за умови гострих ( $RfC_{acute}$ ) та хронічних ( $RfC_{chronic}$ ) впливів; чинних вітчизняних нормативів – гранично допустимих максимально разових (ГДК<sub>м.р.</sub>), середньодобових (ГДК<sub>с.д.</sub>) концентрацій, орієнтовно безпечних рівнів впливу (ОБРВ) та рекомендацій ВООЗ.

Серію з 30496 натурних вимірювань масових концентрацій  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  було виконано на стаціонарному автоматизованому пості спостереження та 774 досліджень концентрацій озону за допомогою мобільної медико-екологічної лабораторії, які обладнані газоаналізаторами HORIBA. Точки відбору були розташовані за адресою: м. Київ, вул. Попудренка, 50; період вимірювання – 2018 та 2019 роки.

Статистична обробка даних, отриманих під час моделювання та натурних вимірювань ЗР, була виконана за допомогою інструментів програмних пакетів Excel, STATISTICA 10.0 (з розрахунком мінімальних (min) і максимальних (max) значень, середнього значення (M), середньоквадратичного відхилення ( $\sigma$ )).

У процесі проведення розрахунків рівнів ризику (неканцерогенних за умови гострих та хронічних інгаляційних впливів –  $HQ_{acute}$ ,  $HQ_{chronic}$ ); індивідуальних та сумарних канцерогенних ризиків –  $ICR$ ,  $ICR_{total}$ ; індивідуальних ризиків смерті –  $IRM$ ) для здоров'я експонованого населення, обумовлених викидами різних видів промислових підприємств та автотранспорту, була використана загальна процедура методології оцінки ризику для здоров'я населення (Human Health Risk Assessment), розроблена та рекомендована Агентством США з охорони довкілля та ВООЗ.

У **Розділі 3** дослідження були присвячені аналізу використання сучасних методичних підходів з метою удосконалення основних етапів МОРЗН та науковому

обґрунтуванню переваг її застосування (як універсального підходу) в системі гігієнічної оцінки якості атмосферного повітря.

На підставі аналізу офіційних статистичних даних (2010-2018 рр.) встановлено, що тільки за один рік в атмосферу України потрапляє близько 4 млн т шкідливих речовин від викидів 11303 промислових підприємств та автотранспорту. При цьому, найбільший внесок у загальне забруднення за останнє десятиліття вносять об'єкти промисловості (2,508 млн т) та автомобільний транспорт (1,358 млн т). Тобто, забруднення, на відміну від країн ЄС, в основному обумовлене викидами промислових підприємств. Визначено, що провідні позиції серед забруднювачів атмосферного повітря за видами економічної діяльності належать: електрогенеруючим та розподільчим підприємствам енергетики, які викидають – 988,8 тис. т ЗР; металургійним виробництвам – 728,5 тис. т ЗР; добувній промисловості та розробці кар'єрів – 445,1 тис. т ЗР; сільському господарству та виробництву харчових продуктів – 115,4 тис. т ЗР на рік. Така картина суттєво відрізняється від загальної структури забруднення повітря в багатьох державах світу, де сумарне забруднення автотранспортом складає від 50 до 90 %.

Тенденція найбільшого забруднення областей України зберігається ще з 50-60 рр. минулого століття та, в основному, характерна для Донецької – 790,2 тис. т/рік, Дніпропетровської – 614,3 тис. т/рік, Запорізької – 174,7 тис. т/рік, Івано-Франківської – 221,4 тис. т/рік та Львівської – 106,7 тис. т/рік областей (2018 р.). Водночас, спостерігається загальне зменшення забруднення атмосферного повітря, що, в основному, пов'язано з анексією Криму, проведенням операції Об'єднаних сил на сході країни, на території частини Донецької та Луганської областей (майже на 31 %) та спадом промислового виробництва і впровадженням природоохоронних заходів (в середньому на 16,9 % по областях). У той же час, спостерігається поступове збільшення забруднення в умовно «чистих» областях України, таких як: Житомирська, Волинська, Сумська, Тернопільська, Хмельницька, Херсонська області (в середньому на 12,6 % щорічно). Проведений аналіз свідчить, що незважаючи на зменшення загального забруднення атмосферного повітря в Україні, його небезпека для здоров'я населення зберігається не тільки для регіонів (зокрема, антропогенно-навантажених), але й для всієї території держави. Це спонукає до пошуку сучасних комплексних методичних підходів, які будуть спрямовані на покращення системи гігієнічної оцінки атмосферного повітря та, в подальшому, – на більш ефективне управління його якістю.

Етап оцінки експозиції (визначення концентрацій у ПША за допомогою моніторингових досліджень та/або моделювання) є одним з найважливіших у системі гігієнічної оцінки якості повітря. Він є складовою частиною не тільки оцінок впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення, але й процесу аналізу та управління ризиком. Останнім часом, ВООЗ, міжнародні агентства з охорони довкілля ЄС та США, у зв'язку з обмеженістю отриманих даних щодо просторового поширення хімічних речовин («джерело-рецептор»), недосконалістю наявних систем моніторингу у різних країнах світу та неможливістю організації розгалужених мереж «коштовних» автоматизованих досліджень, рекомендують адаптувати та розробляти математичні моделі

(дисперсійні, регресійні) оцінювання забруднення ПША за різні проміжки часу (година, доба, місяць, рік).

Існуючі та затверджені в Україні розрахункові програмні комплекси (по типу ЕОЛ), що реалізують «Методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств. ОНД-86» (надалі – Методика), дозволяють розраховувати концентрації ЗР, лише за 20-хв період усереднення, уникаючи хронічних оцінок на відміну від аналогових моделей, рекомендованих ВООЗ та Агентством США з охорони довкілля (наприклад, AUSTAL View, ISC-AERMOD View, AEROPOL, CALPUFF тощо). В рамках даної роботи для розрахунків розсіювання усереднених концентрацій ЗР від викидів промислових підприємств та автотранспорту був адаптований програмний комплекс ISC-AERMOD View, що використовується на державному рівні (у США, Австралії, частково в Азії та ЄС) в якості ліцензованого програмного продукту під час розроблення дозвільних документів суб'єктами господарювання.

З метою підвищення валідності виконаних досліджень та, відповідно, проведення максимально наближених оцінок експозиційних навантажень на здоров'я населення, яке проживає в зонах інгаляційного ризику, було здійснено фізико-географічну характеристику територій досліджень за умови аналізу метеорологічних даних (21 населений пункт). На підставі цього були визначені класи стабільності атмосфери (хмарність, періоди інверсій), швидкості та переважаючі аеронавігаційні напрямки вітру, що впливають на метеокліматичні та фізико-географічні умови дифузії ЗР у ПША; створено цифрові моделі рельєфів та проведено характеристику землекористування територій досліджень з урахуванням житлової та промислової забудови, гідрографії, рослинності тощо.

Під час еколого-гігієнічної характеристики територій досліджень було здійснено аналіз діяльності 43 різних за господарською спрямованістю промислових підприємств, 46 ділянок автодоріг і 14 перехресть, які розташовані у різних регіонах України та сформовано переліки пріоритетних ЗР. За стандартними процедурами дисперсійного статистичного аналізу перевірено положення (координати) і геокодовано 7576 ДВ промислових підприємств та визначено, що лише 38 % з них мали коректне розташування згідно із затвердженими проектними матеріалами. Визначено, що похибка розташування ДВ може коливатися від кількох до сотень метрів у довільному напрямку. Перевірена та оброблена, вищевказана інформація була сконвертована і занесена до відповідних модулів програмного комплексу ISC-AERMOD View, на підставі чого розраховано усереднені годинні, добові та річні концентрації ЗР у ПША для досліджуваних промислових підприємств і автотранспорту, необхідні для подальших розрахунків та оцінок ризику для здоров'я населення.

З метою доведеності переваг ISC-AERMOD View над законодавчо закріпленими в Україні програмними комплексами (по типу ЕОЛ+), що реалізують Методику, було проведено порівняльний аналіз максимально разових концентрацій для деяких ЗР досліджуваних підприємств. Розрахунки були проведені для контрольних точок на межі нормативних СЗЗ та найближчої житлової забудови. Отримані дані показали відсутність принципових розходжень у розрахованих значеннях приземних концентрацій, але розрахунки виконані в ЕОЛ+ свідчать про

сталий розподіл ізоліній концентрацій в усіх напрямках на різних відстанях від ДВ підприємства та підтверджують отримання максимально негативного сценарію щодо поширення ЗР, виключаючи оцінки впливу метеорологічних, орографічних та характеристики землекористування даних (рис. 1).

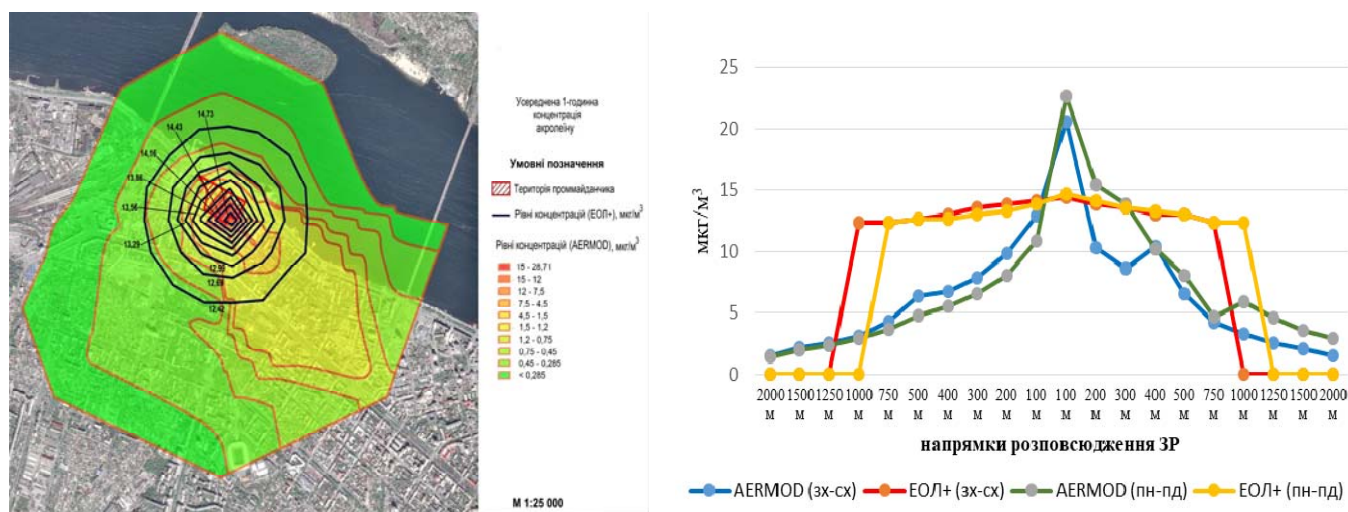


Рис. 1 – Поширення забруднення (розсіювання концентрацій акролеїну) навколо промайданчика підприємства за даними розрахунків ISC-AERMOD View та EOL+, м. Дніпро

Це доводить, що головним недоліком програми EOL+ для оцінок експозиції населення є те, що розрахункова газова хмара має концентрацію газу суттєво вищу за гранично-допустиму. При цьому, в розрахунки закладається алгоритм нормування при метеорологічних параметрах, за яких спостерігається максимальна концентрація 98 % забезпеченості даними та передбачається, що лише у 2 % випадків можливих метеоситуацій, концентрації можуть перевищити розрахункове значення. У той же час, такий підхід найкращим чином відповідає схемі нормування викидів ЗР в атмосферне повітря.

Разом з тим, одним з головних недоліків Методики при вирішенні завдань прогнозування та аналізу концентрацій ЗР у ПША є відсутність можливості здійснення довготривалих (хронічних) оцінок, які необхідні під час визначення та розрахунку ризику для здоров'я населення. У п. 8.1 Методики є посилання лише на приблизне співвідношення між максимальними значеннями разових та середньорічних концентрацій, що відносяться як 10 до 1 (тобто, середньорічна концентрація в 10 разів менше максимально разової). Водночас (згідно п. 8.1), нормування рекомендовано проводити за ГДК середньодобової концентрації, що суперечить принципам гігієнічного регламентування, де оцінки якості повітря необхідно виконувати з відповідними за часом критеріями усереднення. На підставі вищезазначеного, нами було проведено порівняльний аналіз максимально разових, середньодобових та річних концентрацій. Для наукової доказовості експерименту було включено 20 різних за господарською діяльністю промислових підприємств, які знаходяться у різних регіонах України (на півночі, сході, заході та півдні), відрізняються спектром хімічних речовин та параметрами ДВ. Крім того,



розрахунки концентрацій були оцінені на різних відстанях від ДВ (від 25 до 12000 м) та за румбами сторін світу в усіх напрямках з метою уникнення закономірностей, які можуть бути обумовлені просторовим поширенням хімічних речовин. Попередньо було встановлено наявність достовірного кореляційного зв'язку вказаних концентрацій за відстанями та напрямками ( $p < 0,05$ ; рис. 2).

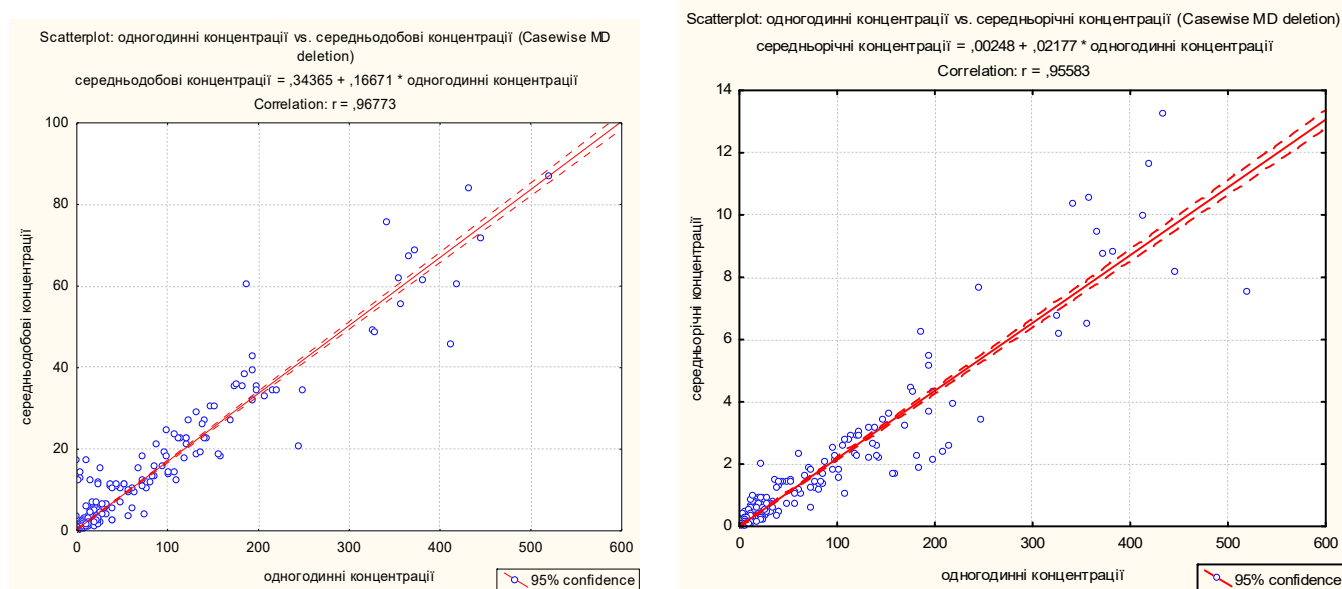


Рис. 2 – Діаграми розсіювання максимально разових, середньодобових та середньорічних концентрацій за румбами сторін світу

Визначено, що середні коефіцієнти співвідношень: максимально разових та середньодобових концентрацій для досліджуваних підприємств змінюються в діапазоні від  $4 \pm 0,08$  до  $7 \pm 0,14$  (залежно від відстані –  $r = 0,98$ ,  $p < 0,01$ ; залежно від напрямку –  $r = 0,97$ ,  $p < 0,01$ ); максимально разових та середньорічних концентрацій змінюються від  $12 \pm 1,73$  до  $111 \pm 9,62$  (залежно від відстані –  $r = 0,93$ ,  $p < 0,01$ ; залежно від напрямку –  $r = 0,96$ ,  $p < 0,01$ ), що суперечить п. 8.1 Методики та свідчить про вплив метеорологічних параметрів на розсіювання хімічних речовин у ПША і неможливість оцінок середньорічних концентрацій через максимально разові, використовуючи сталі коефіцієнти; середньодобових та середньорічних концентрацій – змінюються від  $8 \pm 0,09$  до  $12 \pm 1,82$  (залежно від відстані –  $r = 0,97$ ,  $p < 0,01$ ; залежно від напрямку –  $r = 0,94$ ,  $p < 0,01$ ). Визначено середній коефіцієнт співвідношення між: середньодобовою та максимально разовою концентраціями – на рівні 0,17 ( $C_{сд} = 0,17 \times C_{мр}$ ); середньорічною та середньодобовою концентраціями – на рівні 0,1 ( $C_{ср} = 0,1 \times C_{сд}$ ).

Проведені дослідження показали неможливість використання законодавчо закріплених в Україні розрахункових програмних комплексів при оцінках хронічних впливів забруднення атмосферного повітря на організм людини. У той же час, наявність лінійного кореляційного зв'язку між розсіюванням концентрацій хімічних речовин як за напрямками, так і за відстанями від ДВ промислових об'єктів є підставою для використання встановлених коефіцієнтів співвідношення у разі розрахунків необхідних концентрацій (максимально разових, добових та річних) у

всіх рецепторних точках, незалежно від відстані та напрямку під час оцінювання і встановлення ризику для здоров'я населення.

**Розділ 4** присвячено удосконаленню національних вимог до впровадження автоматизованої мережі спостережень (моніторингу) атмосферного повітря в Україні та обґрунтуванню методичних підходів до визначення місць розташування постів спостережень, згідно вітчизняних та міжнародних вимог, а саме: Постанови КМУ від 14.08.2019 р. за № 827 та Директив ЄС 2008/50/ЄС та 2004/107/ЄС. Загальновідомо, що в існуючих системах спостережень, створених за радянських часів, збір і обробка інформації засновані на лабораторних методах аналізу проб атмосферного повітря та використовуються не стільки для прийняття оперативних управлінських рішень, скільки для статистичного аналізу. Використання еталонних (довготривалих) вимірювань або моделювання недостатньо врегульовані нормативно-правовою базою. Внаслідок цього, наявна система моніторингу є недосконалою та обмежує можливість аналізу даних довгострокової динаміки показників про стан забруднення повітря на всій території держави. Розташування постів спостереження, які були визначені за принципом територіальної спільності, відповідно до вимог РД 52.04.186-89 (РД), наразі не відповідають сучасним реаліям щодо обґрунтованості їх встановлення в умовах стрімкої урбанізації та прийняттям неконтрольованих містобудівних рішень майже у всіх регіонах України. Неврегульованим залишається й питання визначення у ПША вмісту  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та озону.

В рамках завдань, передбачених даним розділом, на підставі результатів математичного моделювання поширення забруднення атмосферного повітря від викидів промислових підприємств та ризику для здоров'я населення, на прикладі м. Кам'янське, Марганець та Жовті води, було здійснено науковий супровід проекту «Організація, розбудова та удосконалення регіональної автоматизованої мережі спостережень за станом атмосферного повітря у Дніпропетровській області» та обґрунтовано місця розташування автоматизованих постів спостережень (АПС). До дослідження було включено у: м. Кам'янське 1720 ДВ основних промислових підприємств (90 % валових викидів у загальному забрудненні атмосферного повітря), що викидають в атмосферне повітря 74 ЗР; м. Марганець – 116 ДВ (у т.ч. два відвали), що викидають в атмосферне повітря 29 ЗР; м. Жовті води – 106 ДВ (у т.ч. два відвали), що викидають 40 ЗР. З метою отримання подальших репрезентативних результатів досліджень, за наведеним у розділі 3 алгоритмом було проведено фізико-географічну та еколого-гігієнічну оцінки територій зон впливу промислових підприємств, розраховано рівні усереднених концентрацій (за різні часові проміжки – година, доба, рік) ЗР у ПША та оцінено неканцерогенні і канцерогенні ризики для здоров'я експонованого населення.

Розраховані рівні неканцерогенного ризику (HQ) під час оцінювання гострих та хронічних інгаляційних впливів пріоритетних хімічних речовин на здоров'я експонованого населення досліджуваних міст показали, що коефіцієнти небезпеки у вузлах рецепторної сітки перевищують допустимий рівень ( $HQ \geq 1$ ) у: м. Кам'янське – для пилу НДЗС, азоту діоксиду, сірки діоксиду, вуглецю оксиду, бенз(а)пірену, марганцю та його сполук, нафталіну, сірководню, ксилолу, міді оксиду, нікелю оксиду, хрому шестивалентного, заліза оксиду, фенолу; м. Марганець – для пилу

НДЗС, азоту діоксиду, марганцю та його сполук і створюють ризик для здоров'я експонованого населення досліджуваних міст. У м. Жовті води встановлено, що коефіцієнти небезпеки у вузлах рецепторної сітки (де проживає населення), не перевищують допустимий рівень ( $HQ \leq 1$ ). Оцінені рівні сумарного канцерогенного ризику становлять у: м. Кам'янське (в основному за рахунок викидів бензолу, хрому (VI) та бенз(а)пірену) –  $ICR_{total}=1,8 \times 10^{-7} \div 2,9 \times 10^{-3}$  та характеризуються як допустимі для професійних контингентів та недопустимі для населення в цілому; м. Жовті води –  $ICR_{total}=1,8 \times 10^{-6} \div 9,4 \times 10^{-5}$ , відповідають зоні умовно прийняттого (допустимого) ризику; м. Марганець –  $ICR_{total}=9,7 \times 10^{-13} \div 6,1 \times 10^{-10}$  – мінімальні. Визначено, що рівні індивідуального ризику смерті (IRM) для фракції пилу з діаметром часток менше 10 мкм ( $PM_{10}$ ), майже по всій території мм. Кам'янське та Марганець знаходяться на недопустимому рівні  $n \times 10^{-4}$ , а у м. Жовті води, відповідають зоні умовно прийняттого (допустимого) ризику.

Відповідно до РД 52.04.186-89 та Директиви ЄС 2008/50/ЄС було проведено аналіз щодо організації кількості АПС. Визначено, що у м. Кам'янське, згідно РД необхідно встановлювати від трьох до п'яти постів спостережень (два АПС, відповідно до Директиви); мм. Марганець та Жовті води – один пост спостережень як, відповідно до РД, так і Директиви. Виходячи з отриманих результатів оцінки ризику (на підставі визначених «гарячих точок / hot spots»), з обов'язковою прив'язкою до місць найвищої щільності проживання населення та розташування закладів освіти, було рекомендовано встановити у м. Кам'янське сім АПС, на п'яти наявних організувати автоматизований моніторинг (за викидами пилу НДЗС, у т.ч.  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ , азоту діоксиду, сірки діоксиду, бенз(а)пірену, вуглецю оксиду, нафталіну, сірководню, бензолу, озону, марганцю, міді, нікелю, хрому, заліза, формальдегіду та вуглеводнів) та додати два АПС, відповідно, по вул. Генерала Глаголева, 22 (ДНЗ №5 «Дніпряночка») та по вул. Освітня, 19 (загальноосвітня школа (ЗОШ) №33). У м. Марганець – встановити (рис. 3) три АПС (за викидами пилу НДЗС, у т.ч.  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ , азоту діоксиду, вуглецю оксиду, сірки діоксиду, марганцю, озону, формальдегіду та вуглеводнів) по вул. Перспективна, 3а (ЗОШ №1), вул. Садова, 18 (ЗОШ №2), вул. Ювілейний квартал, 17 (ЗОШ №9).

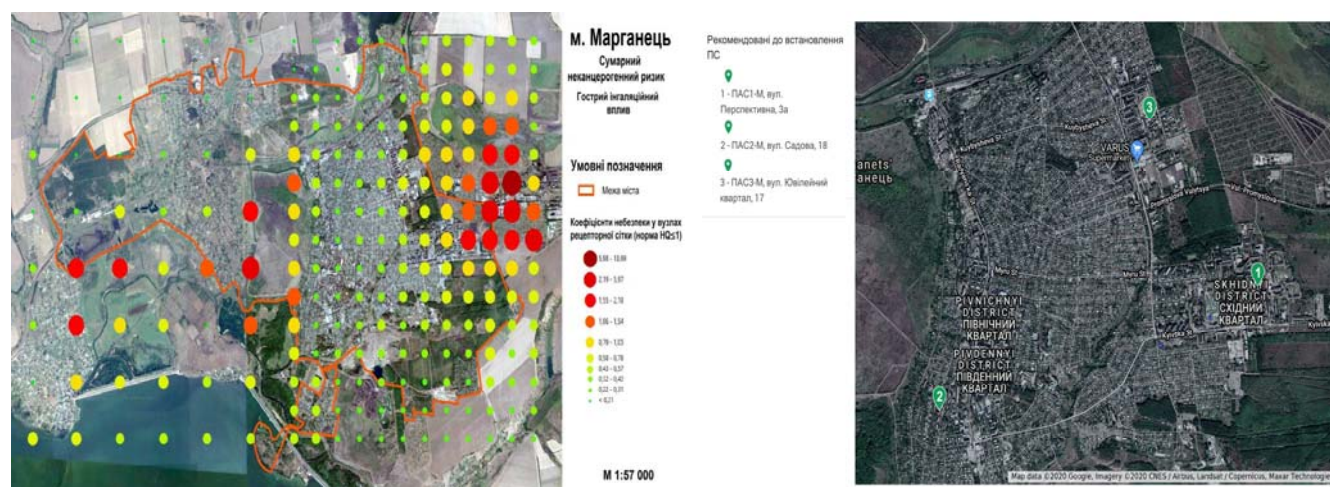


Рис. 3 – Обґрунтування місць розташування автоматизованих постів спостережень у м. Марганець на підставі результатів оцінки ризику

У м. Жовті води – два АПС (за викидами пилу НДЗС, у т.ч.  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ , азоту діоксиду, вуглецю оксиду, сірки діоксиду, марганцю, озону, формальдегіду, вуглеводнів, радіонуклідів уранового та торієвого рядів) по вул. Гагаріна, 2 (ІОЦ ДП «СхідГЗК»), вул. Шевченка, 12 (ЗОШ № 11 НВК «Дивосвіт»).

Отримані результати довели неможливість «сліпого» використання європейських вимог на території України, особливо в промислових містах, які характеризуються зосередженням великої кількості промислових підприємств, та навіть у невеликих містах з населенням до 50 тисяч осіб. В першу чергу, це обумовлено варіабельністю просторового поширення забруднення навколо промислових підприємств на значні відстані та щільністю проживання населення в зонах їх впливу. Розроблені та запропоновані методичні підходи сприятимуть гармонізації (оптимізації) існуючої мережі спостережень та економії державних коштів під час прийняття управлінських рішень.

В рамках подальших досліджень з метою необхідності обов'язкового впровадження та розширення моніторингових програм за рахунок вимірювань масових концентрацій  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та озону було виконано серію інструментальних досліджень. Проведено довготривалі натурні дослідження та статистично оброблено масив даних безперервних 30496 вимірювань масових концентрацій  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  (м. Київ, січень-грудень 2018-2019 рр.). З наведених на рисунку 4 діаграм, прослідковується ідентичність характеру забруднення дрібнодисперсним пилом із року в рік.

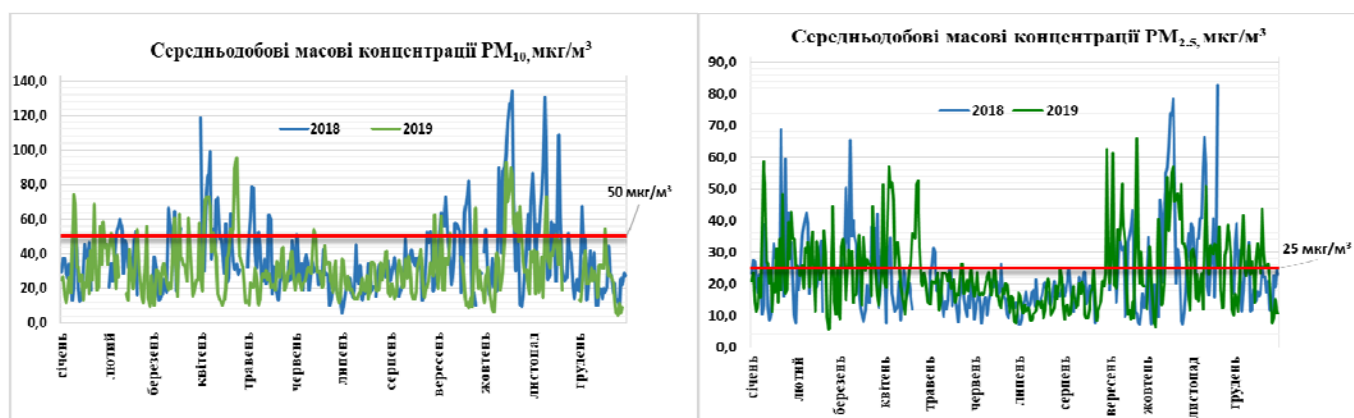


Рис. 4 – Середньодобові масові концентрації  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  в атмосферному повітрі (січень-грудень 2018-2019 рр.)

Встановлено, що рівні середньодобових концентрацій  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ , відповідно, коливались у наступних діапазонах:  $PM_{10}$  (від 5,5 до 134,3 мкг/м<sup>3</sup>),  $PM_{2.5}$  (від 6,9 до 82,6 мкг/м<sup>3</sup>) у 2018 році;  $PM_{10}$  (від 4,9 до 95,5 мкг/м<sup>3</sup>),  $PM_{2.5}$  (від 5,8 до 66,0 мкг/м<sup>3</sup>) у 2019 році, та перевищували нормативні значення рекомендовані ВООЗ та Директивою 2008/50/ЄС. Виявлено, що населення перебуває під хронічним інгаляційним впливом  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ , а кількість днів з перевищенням середньодобової масової концентрації становили для (відповідно, 2018 та 2019 р.; табл. 2):  $PM_{10}$  – 76 та 43 днів (у квітні, травні, вересні, жовтні), що було обумовлено несприятливими метеорологічними умовами (приземна температурна інверсія →

відсутність конвекції (інтенсивного перемішування повітряних мас) → утворення туману, смогу (аерозолів) тощо; та підсиленням з боку аеробіологічного забруднення, сезонними масовими пожежами та утилізацією (спалюванням) місцевим населенням органічних відходів (листя, багаття, деревина тощо);  $PM_{2.5}$  – 99 та 125 днів (в основному у листопаді-березні під час опалювального сезону).

Таблиця 2

**Порівняння визначених середньодобових масових концентрацій  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  в атмосферному повітрі (2018-2019 рр.),  $мкг/м^3$**

Назва речовини	Середньодобова масова концентрація, $мкг/м^3$			
	Директива 2008/50/ЄС	ВООЗ	Отримані дані (min – max)	
			2018	2019
$PM_{10}$	50 (не повинна перевищувати більше 35 днів/рік)	50	5,5-134,3 (перевищувала 76 днів/рік)	4,9-95,5 (перевищувала 43 дні/рік)
$PM_{2.5}$	–	25 (не повинна перевищувати більше 3 днів/рік)	6,9-82,6 (перевищувала 99 днів/рік)	5,8-66,0 (перевищувала 125 днів/рік)

Визначено, що середньорічні масові концентрації твердих часток пилу становили (відповідно, у 2018 та 2019 рр.):  $PM_{10}$  ( $37,8 \pm 0,4$  та  $31,1 \pm 0,9$   $мкг/м^3$ ),  $PM_{2.5}$  ( $22,8 \pm 0,2$  та  $23,3 \pm 0,6$   $мкг/м^3$ ) та знаходилися на небезпечному рівні для здоров'я експонованого населення, відповідно до рекомендацій ВООЗ, але не перевищували граничні величини зазначені у Директиві 2008/50/ЄС та Постанові КМУ від 14.08.2019 р. за № 827.

Проведено інструментальні дослідження (774 вимірювань усереднених за годину) концентрацій озону (м. Київ, квітень-вересень 2018 р. та березень-серпень 2019 р.) та встановлено середні масові концентрації на рівні (відповідно 2018 та 2019 р.): від 0,13 до 0,28  $мг/м^3$  ( $0,19 \pm 0,04$   $мг/м^3$ ); від 0,04 до 0,28  $мг/м^3$  ( $0,17 \pm 0,05$   $мг/м^3$ ). Визначено, що виявлені величини перевищували діючий гігієнічний норматив в Україні у 29 випадках ( $1,1 \div 1,7$  ГДК<sub>м.р</sub>) з 38 у 2018 р. та у 39 випадках ( $1,0 \div 1,4$  ГДК<sub>м.р</sub>) з 62 епізодів досліджень у 2019 р.; відповідно до рекомендацій ВООЗ та Директиви 2008/50/ЄС – майже у кожному випадку (перевищення від 1,2 до 2,7 разів). Піки максимальних масових концентрацій ( $> 0,2$   $мг/м^3$ ) озону фіксувалися у травні та червні, що за оцінками ВООЗ зумовлює зростання числа додаткових випадків щоденних смертей на 3-5 % у порівнянні зі смертністю при експозиції на розрахунковому фоновому рівні.

Проведені дослідження довели необхідність обов'язкового впровадження у системи моніторингу спостереження за концентраціями  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  і тропосферного озону в ПША та застосування індексів якості повітря (AQI) для оцінок масштабів людських втрат та економічного збитку з метою інформування щодо можливих загроз громадському здоров'ю.

Ще одним з актуальних питань в системі оцінки якості повітря є розроблення технологічних нормативів допустимих викидів (ТНДВ), які зазвичай погоджуються без оцінок впливу на здоров'я населення, але вимагають обґрунтування гігієнічних вимог до їх розробки.

У **розділі 5** в рамках проведених досліджень було розроблено, оцінено та встановлено, з використанням методичних підходів МОРЗН, перспективні і поточні ТНДВ забруднюючих речовин та проаналізовані висновки найкращих доступних технологій і методів управління (НДТМ) рекомендовані ЄС щодо устаткування (установок) для виробництва чавуну, продуктивність якого перевищує 2,5 т на годину. Це вимагало вирішення оберненої задачі наукового експерименту – «експозиція населення – джерело викиду», – з метою уніфікації вимог щодо контролю якості повітря та прийняття адекватних природоохоронних заходів, відповідно до європейських вимог (Директива 2010/75/ЄС), що передбачені у проекті ЗУ «Про запобігання, зменшення та контроль промислового забруднення» та технологічних можливостей оптимізації виробничого процесу.

До дослідження було включено устаткування для виробництва чавуну дев'яти підприємств ГМК України. Враховуючи, технологічне навантаження та режими роботи устаткування, до подальших розрахунків було пріоритезовано 61 ДВ, що викидають в атмосферне повітря вуглецю оксид, азоту діоксид, сірки діоксид та пил НДЗС, а саме: ПАТ «Алчевський металургійний комбінат» (м. Алчевськ; ДВ №№ 308, 315, 343, 348, 349), ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (м. Кривий Ріг; ДВ №№ 55, 56, 61, 70, 71, 92, 94, 95), ПРАТ «Металургійний комбінат «Азовсталь» (ДВ №№ 120-122, 133, 135, 138, 139-143), ПРАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча» (ДВ №№ 99-107) – м. Маріуполь, ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (м. Кам'янське, ДВ №№ 209, 210, 212, 242, 260), ПРАТ «Єнакіївський металургійний завод» (м. Єнакієве; ДВ №№ 212, 251, 252, 254, 261, 262, 264), ПРАТ «Дніпровський металургійний завод» (м. Дніпро; ДВ №№ 2, 5, 10), ПРАТ «Донецьксталь»-МЗ» (м. Донецьк; ДВ №№ 0004, 0005, 0008), ПАТ «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь» (м. Запоріжжя; ДВ №№ 206, 209, 211, 212, 214, 215, 222, 225, 236, 2061). Проведено еколого-гігієнічну та фізико-географічну характеристику зон впливу досліджуваних підприємств та оцінено рівні експозиційних навантажень на здоров'я населення за умови поточних ТНДВ, розроблених та запропонованих перспективних ТНДВ та оцінено висновки НДТМ, які повинні імплементувати Україна, згідно проекту ЗУ «Про запобігання, зменшення та контроль промислового забруднення». Слід зауважити, що представлені величини ТНДВ для сірки діоксиду збігаються в усіх випадках, а для вуглецю оксиду, взагалі не нормуються в ЄС (табл. 3).

Встановлено перевищення гігієнічних нормативів усереднених 1-годинних концентрацій ЗР на досліджуваних територіях (на межі житлової забудови та промислової зони) промислових підприємств для наступних основних ЗР: азоту діоксиду ( $1,1 \div 3,2$  ГДК<sub>м.р.</sub>), вуглецю оксиду ( $1,02 \div 1,2$  ГДК<sub>м.р.</sub>), сірки діоксиду ( $1,1 \div 1,3$  ГДК<sub>м.р.</sub>).

Під час аналізу середньодобових концентрацій відповідно до чинних міжнародних та вітчизняних гігієнічних нормативів (на рівні ГДК<sub>с.д.</sub>, RfC<sub>acute</sub>),

**Поточні, перспективні технологічні нормативи допустимих викидів та висновки НДТМ щодо нормування вуглецю оксиду, азоту діоксиду, сірки діоксиду та пилу НДЗС від устаткування для виробництва чавуну**

Назва ЗР	Виробництво	Технологічні нормативи допустимих викидів, мг/м <sup>3</sup>		
		поточні	перспективні	висновки НДТМ
Азоту діоксид	повітрянагрівачі	350	120	100
Пил НДЗС	системи завантаження шихти в доменну піч	50-170	50	10-20
	ливарні двори	50-165	50	10-20
Сірки діоксид	повітрянагрівачі	200	200	200
	ливарні двори	200	200	200
Вуглецю оксид	повітрянагрівачі з виносною камерою горіння	50	50	не нормуються
	повітрянагрівачі безшахтні	250	250	
	повітрянагрівачі з внутрішньою камерою горіння	9100	2890	
	ливарні двори	250	250	

перевищення були встановлені для азоту діоксиду ( $1,02 \div 2,9$  ГДК<sub>с.д.</sub>) та сірки діоксиду ( $1,02 \div 2,3$  ГДК<sub>с.д.</sub>).

Перевищень на рівні усереднених річних концентрацій (при порівнянні з  $RfC_{\text{chronic}}$ ) не встановлено для жодної з хімічних сполук. На підставі проведених розрахунків було оцінено рівні неканцерогенного ризику для здоров'я експонованого населення, яке проживає в зонах впливу досліджуваних промислових підприємств. Визначено перевищення прийнятних рівнів лише при гострих інгаляційних впливах (на рівні добової концентрації) для викидів азоту діоксиду ( $HQ_{\text{acute}}=1,02 \div 2,9$ ) та сірки діоксиду ( $HQ_{\text{acute}}=1,02 \div 2,3$ ).

У разі досягнення рекомендованих перспективних ТНДВ (які були запропоновані в рамках даного дослідження, виходячи з можливостей оптимізації технологічних процесів та впровадження природоохоронних заходів) та висновків НДТМ, згідно проведених розрахунків, перевищення допустимих рівнів прийняттого ризику буде характерним лише для викидів сірки діоксиду, що обумовлено більш жорстким критерієм його нормування в Україні (ГДК<sub>с.д.</sub> = 50 мкг/м<sup>3</sup>), на противагу рекомендаціям ВООЗ (125 мкг/м<sup>3</sup>). При оцінках хронічних впливів, рівні ризику для усіх ЗР від викидів досліджуваних підприємств та сценаріїв встановлення або досягнення ТНДВ знаходилися на прийнятному рівні.

Таким чином, проведені дослідження дозволили розробити та оцінити встановлені перспективні та поточні технологічні нормативи допустимих викидів ЗР і висновки НДТМ для різних типів устаткування, використовуючи гігієнічні підходи. Показано неможливість впровадження (без урахування оцінки впливу на здоров'я) висновків НДТМ, які затверджено та рекомендовано ЄС, що зумовлено специфікою

(ефектами потенціювання та сумачії ЗР; фоном) промислового забруднення атмосферного повітря та жорсткішими вимогами щодо нормування його якості в Україні. На підставі результатів оцінки ризику встановлено та погоджено технологічні нормативи допустимих викидів із устаткування (установок) для різних видів виробництв (накази МЕРУ № 671 від 21.12.2012 р., №262 від 01.07.2015 р., № 260 від 01.07.2015 р., № 261 від 01.07.2015 р., № 504 від 25.12.2015 р.).

**Розділ 6** присвячений науковому обґрунтуванню використання ймовірнісного підходу під час проведення державної санітарно-епідеміологічної експертизи (ДСЕЕ) для обґрунтування розмірів СЗЗ промислових підприємств. На підставі порівняльного аналізу даних натурних вимірювань та моделювання (у контрольних точках розташованих на межі нормативної СЗЗ та найближчої до підприємств житлової забудови) продемонстровано обов'язковість вивчення повного спектру потенційно-небезпечних ЗР на етапі оцінки токсичності викидів з метою розширення можливостей оцінок віддалених наслідків біологічних ефектів, що обумовлені характером викидів певних промислових підприємств. Доведено необхідність вивчення закономірностей розповсюдження хімічних речовин у ПША та аналізу рівнів їх концентрацій в зоні впливу підприємства (радіус 40 висот найбільшої труби, м) на різних відстанях в усіх напрямках сторін світу за румбами з урахуванням територіальних особливостей (характеристики землекористування, топографічних та метеорологічних даних) розташування промислових об'єктів та сельбищних територій. Враховуючи, отримані результати оцінки ризику за умови гострого та хронічного інгаляційного впливу викидів промпідприємств на здоров'я населення, обґрунтовано розміри СЗЗ та розроблено управлінські заходи, а саме: оцінено ефективність розроблених та впроваджених природоохоронних заходів, які дозволили знизити ризик впливу ЗР на здоров'я населення, шляхом пріоритезації та оцінок відсоткового внеску окремих ДВ промпідприємств у загальне забруднення атмосферного повітря; гігієнічних заходів, шляхом перенесення навчальних закладів / соціальних об'єктів, які знаходяться в зоні впливу підприємств за межі рівнів недопустимого ризику.

Проведені дослідження дозволили поглибити розуміння біологічної значущості використання МОРЗН під час проведення ДСЕЕ матеріалів щодо обґрунтування розмірів СЗЗ для промислових підприємств I-II класу небезпеки. Доведено необхідність якомога швидшого впровадження МОРЗН на законодавчому рівні у рамках дозвільних процедур за наведеним та розробленим на рисунку 5 алгоритмом, реалізація якого може бути досягнута за участі основних фігурантів-виконавців ДСЕЕ, а саме: Держпродспоживслужби та її територіальних органів на місцях, лабораторних центрів МОЗ України, наукових установ, проектних організацій та промислових підприємств.

Лише можливість реалізації даного консорціуму у міжсекторальному партнерстві, дозволить ухвалювати обґрунтовані управлінські рішення для забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення, яке проживає у зонах впливу промислових об'єктів, а визначені та представлені завдання оптимізують процес прийняття зважених рішень.



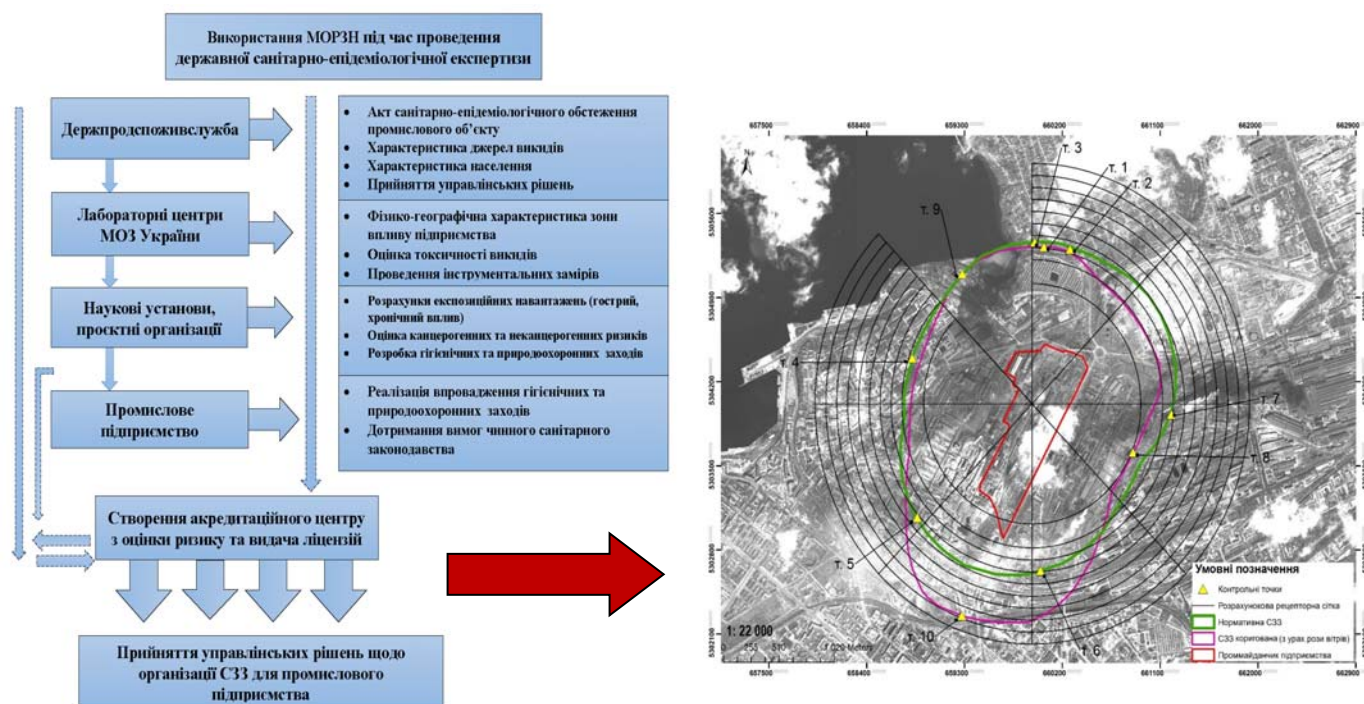


Рис. 5 – Використання МОРЗН під час проведення ДСЕЕ матеріалів щодо обґрунтування розмірів СЗЗ для промислових підприємств

У **Розділі 7** було узагальнено оцінки щодо рівнів інгаляційного ризику для здоров'я населення (за умови гострого та хронічного впливів) від викидів 37 різних видів промислових підприємств та автотранспорту (46 ділянок автодоріг та 14 перехресть), розташованих у різних містах України. Крім того, узагальнено дані у розрізі оцінок за видами економічної діяльності об'єктів з метою подальшого обґрунтування та розробки профілактичних і природоохоронних заходів на етапі управління ризиком та досягнення рівнів прийняттого ризику різними об'єктами економічної системи.

На етапах ідентифікації небезпеки та оцінки «доза-відповідь» оцінено токсичність викидів та сформовано переліки пріоритетних ЗР атмосферного повітря для конкретних видів промислових підприємств та автотранспорту, які повинні підлягати обов'язковому контролю.

Проведені розрахунки неканцерогенних ризиків для здоров'я населення під час оцінювання *гострих інгаляційних впливів* промислових підприємств показали, що перевищення допустимого рівня ризику ( $HQ_{acute} \geq 1$ ) спостерігалися від викидів (min-max): *металургійних підприємств* (у м. Запоріжжя, Маріуполь та Кам'янське) – для пилу НДЗС, азоту діоксиду, марганцю та його сполук, нікелю оксиду, свинцю та його сполук, бенз(а)пірену, сірки діоксиду ( $HQ_{acute} = 1,1 \div 7,9$ ); *нафтопереробної галузі* (у м. Дрогобич) – для бензину, вуглеводнів насичених  $C_{12}-C_{19}$  та сірки діоксиду ( $HQ_{acute} = 1,1 \div 7,8$ ); *хімічних підприємств* (у м. Черкаси та Кам'янське) – для азоту діоксиду, сірки діоксиду, сірчаної кислоти, формальдегіду, марганцю та його сполук, пилу НДЗС ( $HQ_{acute} = 1,1 \div 6,6$ ); *машинобудівного комплексу* (у м. Запоріжжя, Дружківка та Ромни) – для азоту діоксиду, марганцю та його сполук, заліза оксиду, натрію гідроксиду, пилу НДЗС, ртуті азотнокислої ( $HQ_{acute} = 1,1 \div 5,6$ );

*виробництв олії та тваринних жирів* (у мм. Запоріжжя та Дніпро) – для акролеїну ( $HQ_{acute}=1,1\div5,3$ ); *коксхімічних підприємств* (у мм. Кам'янське, Запоріжжя та Макіївка) – для азоту діоксиду, аміаку, бенз(а)пірену, нафталіну, фенолу, сірководню ( $HQ_{acute}=1,1\div5,1$ ); *гірничодобувних підприємств* (у мм. Кривий Ріг та Марганець) – для пилу НДЗС та азоту діоксиду ( $HQ_{acute} = 1,1\div2,8$ ); *будівельних підприємств* (у мм. Миколаїв та Кам'янське) – для азоту діоксиду, сірки діоксиду та пилу НДЗС ( $HQ_{acute}=1,1\div2,1$ ); *теплоенергетичного об'єкту* (у Київській області) – для пилу НДЗС ( $HQ_{acute}=1,2\div1,5$ ); *тваринницьких комплексів* (у с. Полствин Черкаської області) – для аміаку, сірководню та метилмеркаптану ( $HQ_{acute}=1,1\div1,6$ ; додатково проведено порівняння з порогоми запаху та встановлено їх перевищення у 2,4-14,5 разів, що доводить переваги використання методів математичного моделювання та МОРЗН).

У процесі оцінювання *хронічних інгаляційних впливів* досліджуваних промислових підприємств встановлено, що перевищення допустимого рівня неканцерогенного ризику ( $HQ_{chronic}\geq 1$ ) характерні для викидів: *металургійних підприємств* (у мм. Запоріжжя, Маріуполь та Кам'янське) – для марганцю та його сполук, міді оксиду, нікелю оксиду, свинцю та його сполук, кадмію оксиду, водню ціаніду та миш'яку ( $HQ_{chronic}=1,1\div6,7$ ); *машинобудівного комплексу* (у мм. Запоріжжя та Дружківка) – для міді оксиду, марганцю та його сполук, пилу НДЗС ( $HQ_{chronic}=1,1\div5,5$ ); *хімічних підприємств* (у мм. Черкаси та Кам'янське) – для циклогексанолу та марганцю і його сполук ( $HQ_{chronic}=1,1\div8,5$ ); *коксхімічних підприємств* (у м. Кам'янське) – для нафталіну, бенз(а)пірену, сірководню та сірчаної кислоти ( $HQ_{chronic}=1,1\div3,4$ ); *гірничорудних підприємств* (у м. Марганець) – для марганцю і його сполук та азоту діоксиду ( $HQ_{chronic} = 1,3\div5,8$ ); *нафтопереробної промисловості* (у м. Дрогобич) – для бензину ( $HQ_{chronic}=1,1\div3,6$ ); *виробництва олії та тваринних жирів* (у м. Дніпро) – для сірчаної кислоти та акролеїну ( $HQ_{chronic}=1,0\div3,9$ ).

Що стосується оцінювання викидів автотранспорту, то перевищення допустимих рівнів неканцерогенного ризику, у разі *гострих впливів*, було визначено (у мм. Київ та Запоріжжя) для: азоту діоксиду, сірки діоксиду, вуглецю оксиду та  $PM_{10}$  ( $HQ_{acute}=1,1\div2,8$ ); а *хронічних впливів*, окрім вищесказаних ЗР, ще й для неметанових вуглеводнів ( $HQ_{chronic}=1,1\div4,5$ ).

Рівні ризику ( $HQ=3,0\div6,0$ ;  $HQ\geq 6$ ), що створюються викидами промислових підприємств та автотранспорту, відповідно до рекомендацій ВООЗ, належать до помірних і високих рівнів забруднення повітря та можуть спричиняти виникнення, відповідно, слабких та виражених біологічних ефектів, особливо у чутливих груп населення (людей похилого віку, вагітних жінок та дітей). Водночас, слід зазначити, що розрахунки неканцерогенного ризику були проведені за умови оцінки окремих промислових підприємств різних видів господарської діяльності і не враховували: сумарного (агрегованого) впливу підприємств однієї економічної системи у містах; ефектів сумачії ЗР та фонового забруднення атмосферного повітря, що формується за рахунок викидів інших промислових підприємств (наявних у місті) та автотранспорту. Отже, у досліджуваних містах з впевненістю можна прогнозувати рівні сумарних неканцерогенних ризиків (НІ) з індексами небезпеки  $HQ\geq 10$ , які, відповідно до рекомендацій ВООЗ, відзначаються як дуже високі, та обумовлюють

прогресуючі негативні ефекти (у населення в цілому), вимагаючи розробки заходів щодо зниження експозиції та запобігання цих ефектів.

Під час аналізу рівнів забруднення атмосферного повітря пріоритетними хімічними канцерогенами встановлено, що рівні сумарного канцерогенного ризику ( $ICR_{total}$ ) коливалися в таких діапазонах та знаходилися, відповідно до рекомендацій ВООЗ, на: *мінімальному (прийнятному) рівні* для здоров'я експонованого населення досліджуваних міст, від впливу будівельних –  $ICR_{total} = 1,5 \times 10^{-7} \div 3,2 \times 10^{-6}$  та підприємств з виробництва олії та тваринних жирів –  $ICR_{total} = 1,7 \times 10^{-8} \div 5,9 \times 10^{-6}$ ; *допустимому рівні* – для коксохімічних підприємств –  $ICR_{total} = 1,5 \times 10^{-6} \div 9,8 \times 10^{-5}$ , гірничорудних –  $ICR_{total} = 2,1 \times 10^{-8} \div 9,4 \times 10^{-5}$ ; *недопустимому рівні* – для машинобудівних (за рахунок викидів хрому (VI)) –  $ICR_{total} = 6,8 \times 10^{-6} \div 8,7 \times 10^{-4}$ ; хімічних (хрому (VI), бензолу, дихлоретану, гідразин гідрату та формальдегіду) –  $ICR_{total} = 1,04 \times 10^{-5} \div 6,0 \times 10^{-4}$ , нафтопереробних підприємств (бензину) –  $ICR_{total} = 1,8 \times 10^{-5} \div 7,0 \times 10^{-4}$  та автотранспорту (формальдегіду та бенз(а)пірену) –  $ICR_{total} = 6,9 \times 10^{-6} \div 7,9 \times 10^{-4}$ ; *високому рівні* – для металургійних підприємств (хрому (VI), нікелю, кадмію, миш'яку) –  $ICR_{total} = 4,8 \times 10^{-6} \div 5,2 \times 10^{-3}$  (рис. 6).

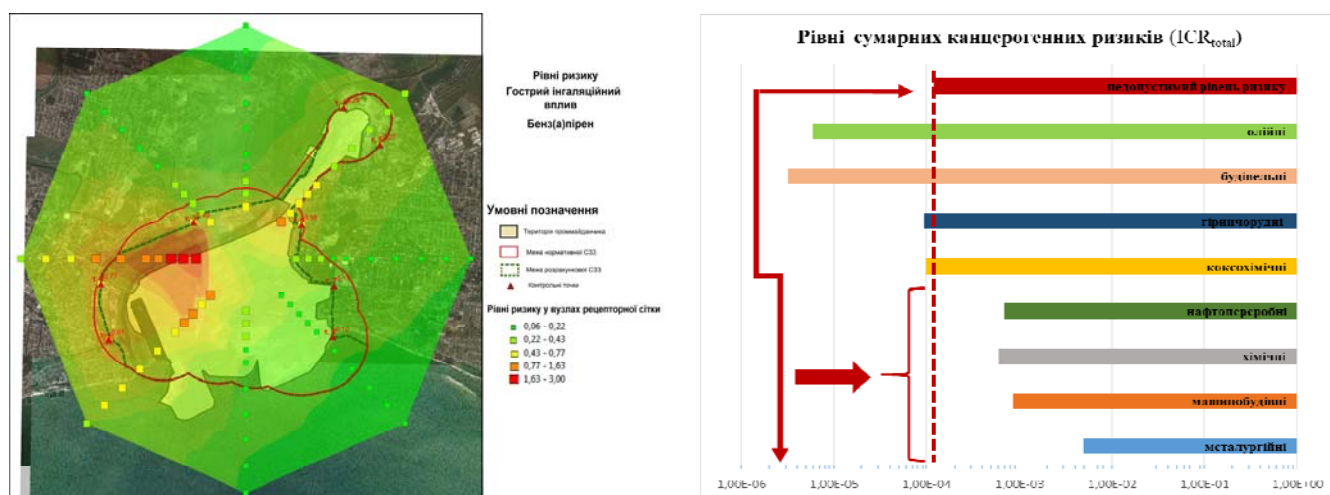


Рис. 6 – Порівняльний аналіз максимальних значень рівнів сумарного канцерогенних ризику від викидів різних видів промислових підприємств

Соціальні втрати населення у вигляді додаткових випадків розвитку новоутворень в індивідуума від інгаляційного впливу досліджуваних груп промислових підприємств та автотранспорту можуть становити від дев'яти випадків на 10 тис. населення до п'яти випадків на 1000 осіб.

Однією з найбільш актуальних і невирішених проблем сьогодення є оцінка забруднення повітря твердими частками пилу ( $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$ ), які можуть знаходитися в атмосферному повітрі протягом багатьох днів, тижнів та переноситися на великі відстані, перетинаючи кордони держав. Додатково було розраховано рівні індивідуального ризику смерті (IRM) населення від впливу фракції пилу з діаметром часток менше 10 мкм ( $PM_{10}$ ). Встановлено, що рівні ризику зумовлені викидами  $PM_{10}$  різними об'єктами господарської діяльності коливаються в таких межах від: коксохімічних підприємств –  $IRM = 9,7 \times 10^{-6} \div 9,8 \times 10^{-5}$ ; підприємств з виробництва олії та тваринних жирів –  $IRM = 3,0 \times 10^{-6} \div 8,9 \times 10^{-5}$ ; тваринницьких

комплексів –  $IRM = 2,0 \times 10^{-7} \div 7,3 \times 10^{-5}$ , та характеризуються *допустимими рівнями* для проживання населення. *Недопустимі рівні* ризику було визначено для: хімічних –  $IRM = 2,0 \times 10^{-5} \div 3,4 \times 10^{-4}$ , будівельних –  $IRM = 6,8 \times 10^{-6} \div 7,4 \times 10^{-4}$ , тваринницьких (потужністю 50 тис. голів) –  $IRM = 6,8 \times 10^{-5} \div 3,4 \times 10^{-4}$  та теплоенергетичних підприємств –  $IRM = 6,0 \times 10^{-5} \div 7,7 \times 10^{-4}$ , автотранспорту –  $IRM = 7,4 \times 10^{-6} \div 4,8 \times 10^{-4}$ ; *високі рівні* ризику від впливу металургійних, машинобудівних та гірничорудних підприємств, відповідно  $IRM = 1,4 \times 10^{-5} \div 2,9 \times 10^{-3}$ ,  $IRM = 3,4 \times 10^{-6} \div 2,1 \times 10^{-3}$  та  $IRM = 5,1 \times 10^{-6} \div 1,2 \times 10^{-3}$ . Можливі соціальні втрати населення у вигляді додаткових випадків смертей, обумовлених інгаляційним впливом  $PM_{10}$  від вищевказаних об'єктів, можуть становити від восьми випадків на 10 тис. населення до трьох випадків на 1000 осіб.

Також у розділі проведено детальний аналіз та порівняння одержаних результатів з даними вітчизняної та міжнародної наукової спільноти.

**Розділ 8** присвячений науковому обґрунтуванню системи профілактики негативного впливу забруднення атмосферного повітря на стан громадського здоров'я, в якому представлено аналіз та узагальнення отриманих результатів досліджень.

На підставі проведених досліджень визначено пріоритети, що потребують першочергової уваги, у разі визначення ймовірності дії експозиції та встановлення наслідків на етапі управління ризиком від викидів різних видів промислових підприємств та автотранспорту. Дослідження передбачали визначення ймовірності розвитку порушень стану здоров'я та аналіз їх обумовленості з орієнтуванням на ті ЗР, які потенційно становлять найбільшу загрозу для життя та здоров'я людини при короткочасних та тривалих впливах; реєструються в атмосферному повітрі постійного проживання населення та формують ризики сумачії або посилення (синергізму) негативних ефектів при одночасному впливі різних хімічних речовин. Встановлено, що найбільш несприятливий прогностичний рівень захворюваності від викидів ЗР усіх груп промислових підприємств та автотранспорту очікується у вигляді: *легеневих хвороб* ( $HI_{max}=36,8$ ), зокрема, *бронхіальної астми* (гострих та хронічних станів), особливо у містах, де зосереджено металургійні, хімічні, машинобудівні, коксохімічні, теплоенергетичні, нафтопереробні та гірничорудні підприємства; *серцево-судинних захворювань* ( $HI_{max}=12,5$ ), в основному, – у зонах впливу металургійних, машинобудівних, хімічних, теплоенергетичних, коксохімічних, будівельних та гірничорудних підприємств; *захворювань центральної нервової системи* ( $HI_{max}=14,8$ ) – металургійних, нафтопереробних, хімічних, гірничорудних, машинобудівних, коксохімічних, будівельних, гірничорудних та коксохімічних підприємств. Серед населення, яке проживає в зонах впливу ( $HI_{max}=27,2$ ) металургійних, машинобудівних, хімічних, теплоенергетичних, будівельних, нафтопереробних підприємств та поруч автомагістралей, необхідно передбачати організацію профілактичних програм у вигляді медичних оглядів дітей/дорослих, генетичного та соціально-гігієнічного моніторингу.

Отримані результати досліджень ілюструють значний вплив забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення як за даними експозиційних та «дозо-ефектних» оцінок (на підставі отриманих даних моделювання та моніторингу), так і

за результатами розрахунків ризику, що може коштувати державі значних соціальних втрат серед працездатного населення України. Це вимагає зосередженості на адаптації та впровадженні інноваційних методичних підходів реалізації етапу управління ризиком з метою прийняття раціональних політичних рішень на місцевому, обласному та національному рівнях. З метою впровадження цілеспрямованих профілактичних (у т.ч. епідеміологічних досліджень) та природоохоронних заходів було удосконалено алгоритм оцінки впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я експонованого населення. Даний алгоритм був реалізований під час надання пропозицій до медико-екологічних програм досліджуваних міст, а проведені дослідження показали можливість досягнення рівнів прийнятної ризику для металургійних, хімічних, нафтопереробних, машинобудівних на рівні  $n \times 10^{-5}$ ; гірничорудних та коксохімічних – на рівні  $n \times 10^{-6}$ .

Виконані наукові дослідження показали ефективність використання МОРЗН під час прийняття управлінських рішень щодо зменшення забруднення атмосферного повітря та оцінок його впливу на експоноване населення. Це дозволило розглядати МОРЗН як надійний інструмент, здатний визначити доцільність, пріоритетність, ефективність оздоровчих та природоохоронних заходів. Водночас, МОРЗН може виступати головним механізмом (методичним підходом) у створенні міжсекторальної моделі партнерства органів виконавчої влади в системі гігієнічної оцінки якості повітря (рис. 7) для:

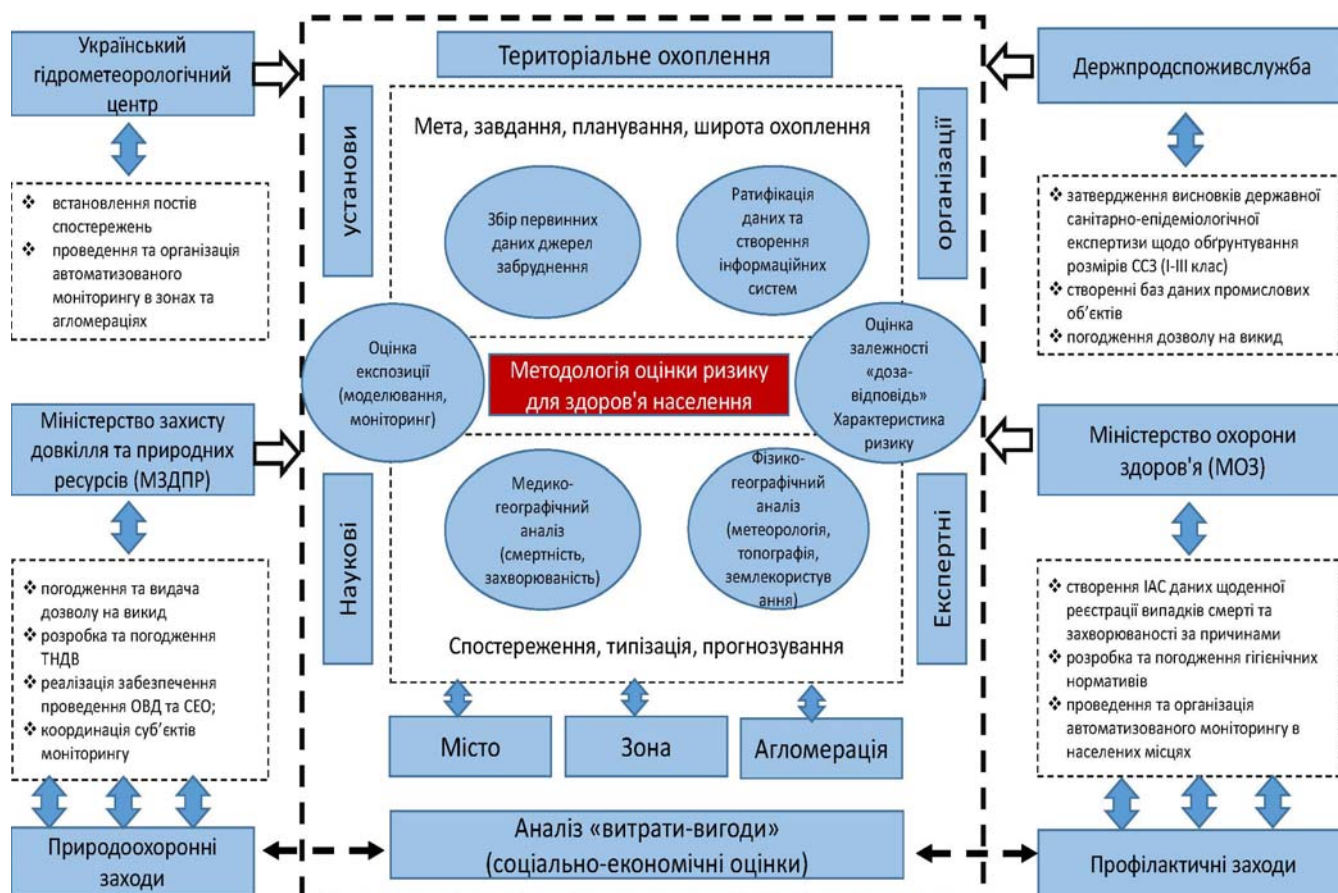


Рис. 7 – Використання МОРЗН у системі гігієнічної оцінки якості атмосферного повітря

- МОЗ під час створення інформаційно-аналітичних систем даних у розрізі щоденної реєстрації випадків смерті та захворюваності за причинами; розроблення та погодження гігієнічних нормативів хімічних речовин в атмосферному повітрі; проведення та організації автоматизованого моніторингу атмосферного повітря у населених місцях;
- Держпродспоживслужби, у разі затвердження висновків ДСЄЕ щодо обґрунтування розмірів СЗЗ для промислових об'єктів та створення баз даних виробничих об'єктів; погодження дозволу на викиди ЗР в атмосферне повітря;
- МЗДПР України – у процесі погодження та видачі дозволу на викиди ЗР в атмосферне повітря; розроблення та погодження технологічних нормативів допустимих викидів ЗР; реалізації забезпечення проведення ОВД та СЕО; координації суб'єктів моніторингу атмосферного повітря;
- Українського гідрометеорологічного центру ДСНС України під час обґрунтування встановлення постів спостережень; проведення та організації моніторингу атмосферного повітря в зонах та агломераціях.

Запропонована система гігієнічної оцінки якості атмосферного повітря може слугувати «науковим плацдармом» під час прийняття управлінських рішень на державному рівні за рахунок: відновлення попереджувального та впровадження поточного санітарного нагляду, шляхом гармонізації оцінок забруднення атмосферного повітря та його впливу на здоров'я населення (поєднання даних моніторингу повітря та державної санітарно-епідеміологічної експертизи в межах соціально-гігієнічного моніторингу в єдиній державній інформаційно-аналітичній системі); встановлення міжгалузевих стандартів; обґрунтування шкоди здоров'ю при соціальному, медичному та екологічному страхуванні; визначення пріоритетних напрямків проєктного фінансування з державного бюджету та екологічних фондів; передбачення пріоритетів економічного розвитку держави; відбору альтернативних політичних варіантів та оцінювання завданої шкоди в судових справах щодо виплати компенсацій.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на підставі проведених досліджень науково обґрунтовано та удосконалено систему гігієнічної оцінки якості атмосферного повітря, що базується на ймовірнісному підході та використанні нових інформаційних технологій. В результаті проведення комплексу натурних вимірювань концентрацій розширеного переліку ЗР та моделювання розповсюдження забруднення у приземному шарі атмосфери, розширено можливості наукових досліджень щодо оцінок небезпеки забруднення повітря для здоров'я населення. Використані сучасні методичні підходи лягли в основу наукового обґрунтування імплементації міжнародного законодавства в частині моніторингу та спостереження за рівнями забруднення атмосферного повітря, встановлення меж допустимого ризику, оцінювання небезпеки для здоров'я населення та розроблення профілактичних заходів у системі громадського здоров'я.

1. Встановлено (на підставі офіційних статистичних даних за 2010-2018 рр.) загальне зменшення забруднення атмосферного повітря від викидів стаціонарних та пересувних джерел, що, в основному, пов'язано зі спадом промислового виробництва і впровадженням природоохоронних заходів (в середньому на 16,9 %

по областях). Водночас, спостерігається поступове збільшення забруднення в умовно «чистих» областях України, таких як: Житомирська, Волинська, Сумська, Тернопільська, Хмельницька, Херсонська області (в середньому на 12,6 % щорічно).

2. Проведено еколого-гігієнічне та фізико-географічне оцінювання зон впливу територій досліджень 43 різних за господарською діяльністю промислових підприємств та автотранспорту. Використовуючи інструменти ГІС-технологій, за розробленим алгоритмом удосконалено етап експозиції шляхом оброблення та конвертації метеорологічних, топографічних даних, характеристик землекористування та ДВ. За стандартними процедурами дисперсійного статистичного аналізу перевірено положення (координати) та геокодовано 7576 ДВ промислових підприємств та визначено, що лише 38 % з них мали коректне розташування згідно із затвердженими проєктними матеріалами. Визначено, що похибка розташування ДВ може коливатися від кількох до сотень метрів у довільному напрямку та впливає на достовірність результатів поширення забруднення в ПША сельбищних територій.

3. Розраховано усереднені концентрації ЗР у ПША від викидів різних груп промислових підприємств і автотранспорту та встановлено наявність їх достовірного кореляційного зв'язку за відстанями та напрямками ( $p < 0,05$ ). Оцінено співвідношення усереднених концентрацій хімічних речовин між собою у загальному забрудненні атмосферного повітря та визначено середній коефіцієнт співвідношення між: середньодобовою та максимально разовою концентраціями – на рівні 0,17 ( $C_{сд} = 0,17 \times C_{мр}$ ); середньорічною та середньодобовою концентраціями – на рівні 0,1 ( $C_{ср} = 0,1 \times C_{сд}$ ). Показано неможливість використання законодавчо закріплених в Україні програмних комплексів у разі оцінювання хронічних впливів на організм людини та, відповідно, здійснення оцінок ризику для здоров'я населення.

4. Обґрунтовано методичні підходи до визначення місць розташування АПС на підставі моделювання і результатів оцінки ризику для здоров'я населення з урахуванням прив'язки до місць найвищої щільності проживання населення, розташування закладів освіти та розроблено пропозиції щодо організації регіональної автоматизованої мережі спостережень за станом атмосферного повітря на прикладі Дніпропетровської області. Рекомендовано встановити у м. Кам'янське сім АПС, на п'яти наявних організувати автоматизований моніторинг та додати два АПС; у м. Марганець – три АПС; у м. Жовті води – два АПС. Визначено переліки пріоритетних хімічних речовин для обов'язкового моніторингу.

5. Показано необхідність впровадження та розширення моніторингових програм вимірювання  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  та озону в атмосферному повітрі населених місць України. Встановлено, що рівні середньодобових концентрацій  $PM_{10}$  та  $PM_{2.5}$  перевищують нормативні значення, рекомендовані ВООЗ та Директивою 2008/50/ЄС, а населення перебуває під хронічним інгаляційним впливом. Кількість днів з перевищенням середньодобових масових концентрацій становила для (відповідно, 2018 та 2019 рр.):  $PM_{10}$  – 76 та 43 дні (у квітні, травні, вересні, жовтні), що було обумовлено несприятливими метеорологічними умовами та аеробіологічним забрудненням;  $PM_{2.5}$  – 99 та 125 днів (в основному – у листопаді-березні під час опалювального сезону). Визначено, що середньорічні масові концентрації твердих часток пилу знаходилися

на рівні (відповідно, у 2018 та 2019 р.):  $PM_{10}$  ( $37,8 \pm 0,4$  та  $31,1 \pm 0,9$   $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ ),  $PM_{2.5}$  ( $22,8 \pm 0,2$  та  $23,3 \pm 0,6$   $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ ). Такі рівні є небезпечними для здоров'я експонованого населення, відповідно до рекомендацій ВООЗ, але не перевищували граничні величини, зазначені у Директиві 2008/50/ЄС та Постанові КМУ від 14.08.2019 р. за № 827.

6. Проведено інструментальні дослідження концентрацій озону та встановлено його середні масові концентрації на рівні: від 0,13 до 0,28  $\text{мг}/\text{м}^3$  ( $0,19 \pm 0,04$   $\text{мг}/\text{м}^3$ ) у 2018 р.; від 0,04 до 0,28  $\text{мг}/\text{м}^3$  ( $0,17 \pm 0,05$   $\text{мг}/\text{м}^3$ ) у 2019 р. Визначено, що виявлені величини перевищували чинний в Україні гігієнічний норматив у 29 випадках ( $1,1 \div 1,7$  ГДК<sub>м.р</sub>) з 38 у 2018 р. та у 39 випадках ( $1,0 \div 1,4$  ГДК<sub>м.р</sub>) з 62 епізодів досліджень у 2019 р. З огляду на нормативи, встановлені рекомендаціями ВООЗ та Директивою 2008/50/ЄС, перевищення спостерігалось майже у кожному випадку (від 1,2 до 2,7 разів). Піки максимальних масових концентрацій ( $> 0,2$   $\text{мг}/\text{м}^3$ ) озону фіксувалися у травні та у червні, що за оцінками ВООЗ зумовлює зростання числа додаткових випадків щоденних смертей на 3-5 % у порівнянні зі смертністю при експозиції на розрахунковому фоновому рівні.

7. Розроблено, встановлено та оцінено з використанням гігієнічних підходів, відповідно, перспективні і поточні технологічні нормативи допустимих викидів ЗР та проаналізовано висновки найкращих доступних технологій і методів управління (НДТМ; рекомендовані ЄС) для різних типів устаткування. Показано неможливість впровадження висновків НДТМ, які затверджено та рекомендовано ЄС без урахування оцінок впливу на здоров'я, що зумовлено специфікою (ефектами потенціювання та сумації ЗР; фоном) промислового забруднення атмосферного повітря та жорсткішими вимогами щодо нормування його якості в Україні. На підставі результатів оцінки ризику встановлено та погоджено технологічні нормативи допустимих викидів із устаткування (установок) для різних видів виробництв.

8. Науково обґрунтовано необхідність вивчення закономірностей розповсюдження потенційно-небезпечних хімічних речовин у ПША та аналізу рівнів їх концентрацій в зоні впливу підприємства (радіус 40 висот найбільшої труби, м) на різних відстанях в усіх напрямках сторін світу за румбами з урахуванням територіальних особливостей (характеристики землекористування, топографічних та метеорологічних даних) розташування промислових об'єктів та сельбищних територій. Доведено ефективність використання МОРЗН під час проведення державної санітарно-епідеміологічної експертизи матеріалів щодо обґрунтування розмірів СЗЗ для промислових підприємств I-II класу небезпеки та показано важливість її впровадження на законодавчому рівні в рамках дозвільних процедур з метою прийняття управлінських рішень.

9. Визначено рівні неканцерогенного ризику (HQ) при оцінюванні гострих (на рівні усередненої добової концентрації) та хронічних (на рівні усередненої річної концентрації) інгаляційних впливів пріоритетних хімічних речовин промислових підприємств та автотранспорту на здоров'я експонованого населення досліджуваних міст. Встановлено, що найбільш гострого інгаляційного впливу зазнає населення від викидів металургійних ( $HQ_{acute}=1,1 \div 7,9$ ), нафтопереробних ( $HQ_{acute}=1,1 \div 7,8$ ), хімічних ( $HQ_{acute}=1,1 \div 6,6$ ), машинобудівних ( $HQ_{acute}=1,1 \div 5,6$ ) підприємств,



виробництва олії та тваринних жирів ( $HQ_{acute}=1,1\div5,3$ ), коксохімічних ( $HQ_{acute}=1,1\div5,1$ ), гірничорудних ( $HQ_{acute}=1,1\div2,8$ ), будівельних ( $HQ_{acute}=1,1\div2,1$ ), теплоенергетичних ( $HQ_{acute}=1,2\div1,5$ ) підприємств, тваринницьких комплексів ( $HQ_{acute}=1,1\div1,6$ ; додатково проведено порівняння з порогами запаху та встановлено перевищення для сірководню і метилмеркаптану) та автотранспорту ( $HQ_{acute}=1,1\div2,8$ ). Найвищі рівні неканцерогенного ризику під час оцінювання хронічних інгаляційних впливів характерні для хімічних ( $HQ_{chronic}=1,1\div8,5$ ), металургійних ( $HQ_{chronic}=1,1\div6,7$ ), гірничорудних ( $HQ_{chronic}=1,3\div5,8$ ), машинобудівних ( $HQ_{chronic}=1,1\div5,5$ ) підприємств, виробництва олії та тваринних жирів ( $HQ_{chronic}=1,0\div3,9$ ), нафтопереробної промисловості ( $HQ_{chronic}=1,1\div3,6$ ), коксохімічних ( $HQ_{chronic}=1,1\div3,4$ ) підприємств та автотранспорту ( $HQ_{acute}=1,1\div4,5$ ). Такі рівні ризику ( $HQ=3,0\div6,0$ ;  $HQ\geq6$ ), відповідно до рекомендацій ВООЗ, належать до помірних та високих рівнів забруднення повітря та можуть спричиняти виникнення, відповідно, слабких та виражених ефектів, особливо у чутливих груп населення (людей похилого віку, вагітних жінок та дітей).

10. Оцінено рівні сумарного канцерогенного ризику ( $ICR_{total}$ ), які коливалися в залежності від технологій виробництв та територіального розташування на: *мінімальному (прийнятному) рівні* для здоров'я експонованого населення досліджуваних міст – від впливу будівельних ( $ICR_{total}=1,5\times10^{-7}\div3,2\times10^{-6}$ ) та підприємств з виробництва олії та тваринних жирів ( $ICR_{total}=1,7\times10^{-8}\div5,9\times10^{-6}$ ); *допустимому рівні* – для коксохімічних ( $ICR_{total}=1,5\times10^{-6}\div9,8\times10^{-5}$ ), гірничорудних ( $ICR_{total}=2,1\times10^{-8}\div9,4\times10^{-5}$ ) підприємств; *недопустимому рівні* – для машинобудівних ( $ICR_{total}=6,8\times10^{-6}\div8,7\times10^{-4}$ ), хімічних ( $ICR_{total}=1,04\times10^{-5}\div6,0\times10^{-4}$ ), нафтопереробних ( $ICR_{total}=1,8\times10^{-5}\div7,0\times10^{-4}$ ) підприємств та автотранспорту ( $ICR_{total}=6,9\times10^{-6}\div7,9\times10^{-4}$ ); *високому рівні* – для металургійних ( $ICR_{total}=4,8\times10^{-6}\div5,2\times10^{-3}$ ) підприємств. Соціальні втрати населення у вигляді додаткових випадків розвитку новоутворень у індивідуума від інгаляційного впливу досліджуваних груп промислових підприємств та автотранспорту можуть становити від дев'яти випадків на 10 тис. населення до п'яти випадків на 1000 осіб.

11. Розраховано рівні індивідуального ризику смерті ( $IRM$ ) населення від впливу фракції пилу з діаметром часток менше 10 мкм ( $PM_{10}$ ). *Недопустимі рівні* ризику було визначено для хімічних ( $IRM=2,0\times10^{-5}\div3,4\times10^{-4}$ ), будівельних ( $IRM=6,8\times10^{-6}\div7,4\times10^{-4}$ ), теплоенергетичних ( $IRM=6,0\times10^{-5}\div7,7\times10^{-4}$ ), тваринницьких підприємств потужністю 50 тис. голів ( $IRM=6,8\times10^{-5}\div3,4\times10^{-4}$ ) та автотранспорту ( $IRM=7,4\times10^{-6}\div4,8\times10^{-4}$ ); *високі рівні* ризику спостерігались від впливу металургійних, машинобудівних та гірничорудних підприємств ( $IRM=1,4\times10^{-5}\div2,9\times10^{-3}$ ,  $IRM=3,4\times10^{-6}\div2,1\times10^{-3}$  та  $IRM=5,1\times10^{-6}\div1,2\times10^{-3}$ , відповідно). Можливі соціальні втрати населення у вигляді додаткових випадків смертей, обумовлених інгаляційним впливом  $PM_{10}$  від вищевказаних об'єктів, можуть становити від восьми випадків на 10 тис. населення до трьох випадків на 1000 осіб.

12. Створено алгоритм управління ризиком для здоров'я населення від небезпеки забруднення атмосферного повітря пріоритетними ЗР через визначення ймовірності виникнення патологічних станів здоров'я населення, зумовлених проживанням у зонах неприйнятної ризику. Встановлено, що найбільш несприятливий прогностичний рівень захворюваності очікується у вигляді

легеневих хвороб, зокрема, бронхіальної астми (гострих та хронічних станів) – від господарської діяльності усіх груп промислових підприємств та автотранспорту, особливо у містах, де зосереджено металургійні, хімічні, машинобудівні, коксохімічні, теплоенергетичні, нафтопереробні та гірничорудні підприємства ( $HI_{max}=36,8$ ); захворювань центральної нервової системи ( $HI_{max}=14,8$ ) – від металургійних, нафтопереробних, хімічних, гірничорудних, машинобудівних, коксохімічних, будівельних, гірничорудних та коксохімічних підприємств; серцево-судинних захворювань ( $HI_{max}=12,5$ ), в основному – у зонах впливу металургійних, машинобудівних, хімічних, коксохімічних, теплоенергетичних, будівельних та гірничорудних підприємств. Серед населення, яке проживає в зонах впливу ( $HI_{max}=27,2$ ) металургійних, машинобудівних, хімічних, теплоенергетичних, будівельних, нафтопереробних підприємств та поруч автомагістралей, необхідно передбачати організацію профілактичних програм у вигляді медичних оглядів дітей/дорослих, генетичного та соціально-гігієнічного моніторингу.

13. Удосконалено систему гігієнічної оцінки якості повітря шляхом впровадження ймовірнісного підходу та сучасних методичних інструментів у санітарно-епідеміологічну і природоохоронну практики (запропоновано створення міжсекторальної моделі партнерства органів виконавчої влади) з метою обов'язкового встановлення на державному рівні меж допустимого (прийнятного) ризику для здоров'я населення, зумовленого впливом різних об'єктів господарської діяльності та автотранспорту.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

– у наукових фахових виданнях України та наукових періодичних виданнях інших держав:

1. Турос О.І., Петросян А.А., Картавцев О.М., Давиденко Г.М., Кобзаренко І.В. Оцінка токсичності викидів стаціонарних джерел забруднення атмосферного повітря в контексті аналізу ризику для здоров'я населення // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. К., 2010. Вип. 55. С. 35-42. (участь в аналізі і узагальненні результатів, підготовка висновків)

2. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьєва О.В., Картавцев О.М., Загородній В.В. Порівняльний аналіз ризику для здоров'я населення від викидів промислових підприємств різних галузей народно-господарської діяльності // Довкілля та здоров'я. 2012. № 4 (63). С. 34-38. (проведення наукових досліджень, обґрунтування висновків)

3. Турос О.І., Петросян А.А., Давиденко Г.М., Близнюк В.В., Ананьєва О.В., Севальнев А.І. Аналіз оцінки соціальних втрат здоров'я населення, обумовлених забрудненням атмосферного повітря (на прикладі викидів  $ZC_{10}$ ) // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. К., 2012. Вип. 59. С. 52-57. (проведення розрахунків, аналіз отриманих результатів, підготовка висновків)

4. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьєва О.В., Картавцев О.В. Розширення можливостей санітарно-епідеміологічної експертизи при обґрунтуванні встановлення розміру санітарно-захисної зони для феросплавного підприємства на етапі управління ризиком // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. К., 2013. Вип. 61. С. 62-70. (участь в аналізі і узагальненні результатів, підготовка висновків)

5. Турос О.І., Ковтуненко І.М., Петросян А.А. Оцінка експозиційного навантаження на організм людини – критерій безпеки дії пилоквих аероалергенів атмосферного повітря // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. К., 2013. Вип. 62. С. 42-46. *(участь у проведенні розрахунків, аналіз та узагальнення результатів)*

6. Турос О.І., Ананьєва О.В., Петросян А.А. Вдосконалення підходів до кількісної оцінки забруднення атмосферного повітря викидами автомобільних транспортних засобів // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. К., 2014. Вип. 63. С. 22-31. *(участь у проведенні натурних досліджень, підготовка висновків)*

7. Петросян А.А. Аналіз ризику для здоров'я дитячого населення, яке проживає в зонах забруднення атмосферного повітря викидами сірки діоксиду // Медичні перспективи. 2015. Т. XX, №4. С. 91-97. *(ідея роботи, проведення наукових досліджень, обґрунтування висновків)*

8. Турос О.І., Ананьєва О.В., Петросян А.А. Оцінка експозиції забрудненим повітрям у салоні пасажирських транспортних засобів // Актуальні проблеми транспортної медицини : навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія. 2015. №4. Т. 2 (42-2). С. 25-31. *(статистична обробка та аналіз одержаних результатів)*

9. Петросян А.А., Черненко Л.М. Аналіз міжнародних законодавчих документів, які регулюють якість атмосферного повітря // Медичні перспективи. 2016. Т. XXI, №1. С. 130-133. *(ідея роботи, збір міжнародних законодавчих документів для аналізу, підготовка висновків)*

10. Турос О.І., Петросян А.А., Давиденко Г.М. Оцінка соціальних втрат здоров'я населення, зумовлених промисловим забрудненням атмосферного повітря викидами зважених часток ( $ЗЧ_{10}$ ) // Медичні перспективи. 2017. Т. 22, № 1. С. 97-102. *(участь у зборі первинних матеріалів, проведення математичного моделювання та узагальнення результатів)*

11. Давиденко Г.М., Петросян А.А. Дослідження забруднення атмосферного повітря зваженими частками пилу: оцінка наслідків // Вісник Вінницького національного медичного університету. 2017. №1, Ч. 1 (Т. 21). С. 165-168. *(участь у зборі первинних матеріалів, проведення математичного моделювання)*

12. Турос О.І., Слаутенко Є.Г., Петросян А.А., Моргульова В.В. Сучасні можливості оцінки забруднення атмосферного повітря підприємствами свинарської галузі // Вісник Вінницького національного медичного університету. 2018. №1(22). С. 217-221. *(участь у проведенні натурних досліджень, математичне моделювання та узагальнення результатів)*

13. Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П., Моргульова В.В. Переваги використання оцінки ризику для здоров'я населення при обґрунтуванні розмірів санітарно-захисних зон для теплоенергетичних об'єктів // Довкілля та здоров'я. 2018. №3(88). С. 45-49. *(ідея роботи, участь в аналізі і узагальненні результатів, підготовка висновків)*

14. Турос О.І., Маремуха Т.П., Петросян А.А., Брезіцька Н.В. Дослідження забруднення атмосферного повітря зваженими частинками пилу ( $PM_{10}$  та  $PM_{2,5}$ ) у м. Києві // Довкілля та здоров'я. 2018. №4(89). С. 36-39. *(участь у проведенні натурних досліджень та узагальненні одержаних результатів)*

15. Turos O., Maremukha T., Petrosian A., Mykhina L., Morhulova V. Integral indicators as tools for air quality assessment // Довкілля та здоров'я. 2019. №1(90). С. 51-55. *(участь у проведенні досліджень, описання та узагальнення результатів)*

16. Турос Е.И., Ананьева О.В., Петросян А.А. Исследование влияния выбросов автомобильного транспорта на здоровье населения на основании показателей риска (пример Соломенского района г. Киева) // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. Минск, 2013. Вып. 22. С.112-117. *(участь у проведенні досліджень, виконання розрахунків ризику, підготовка висновків)*

17. Caldwell Jane C., Serdyuk A., Turos O., Petrosian A., Kartavtsev O., Avaliani S., Golub A., Strukova E., Brody M. Risk Assessment Capacity Building Program in Zaporizhzhia, Ukraine: Emissions Inventory Construction, Ambient Modeling, and Hazard Results // Journal of Environmental Protection. 2013. Vol. 4. P.1476-1487. *(участь у проведенні досліджень, описання та узагальнення результатів)*

18. Ананьева О.В., Петросян А.А. Изучение закономерностей формирования загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. Минск, 2014. Вып. 24. С. 49-55. *(участь у проведенні натурних досліджень, підготовка висновків)*

19. Маремуха Т.П., Петросян А.А. Загрязнение атмосферного воздуха фракциями мелкодисперсной пыли (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) в районе функционирования угольной ТЭС // Здоровье и окружающая среда : сб. науч. тр. Минск, 2016. Вып. 26. С. 39-42. *(участь в аналізі і узагальненні результатів, підготовка висновків)*

20. Слаутенко Е.Г., Петросян А.А. Гигиеническое обоснование размеров санитарно-защитных зон для свинокомплексов средней мощности с учетом особенностей распространения запахообразующих химических веществ в атмосферном воздухе // Проблемы здоровья и экологии. Гомель, 2018. №1 (55). С. 98-101. *(участь в узагальненні результатів, підготовка висновків)*

21. Shelestov A., Kolotii A., Borisova T., Turos O., Milinevsky G., Gomilko I., Bulanay T., Fedorov O., Shumilo L., Pidgorodetska L., Kolos L., Borysov A., Pozdnyakova N., Chunikhin A., Dudarenko M., Petrosian A., Danylevsky V., Miatselskaya N., Choliy V. Essential variables for air quality estimation // International Journal of Digital Earth. 2020. Vol. 13(2). P. 278-298. *(участь у проведенні досліджень, описання та узагальнення результатів)*

– **наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

22. Petrosian A., Turos O., Voznyuk O., Kartavtsev O. Inhalation Impact of Metallurgy Enterprises Emissions on Human Health (Exposure and Risk Assessments) // ISES – 2011 (Oct. 23-27, 2011): abstract compilation. Baltimore, MD (USA), 2011. Abstract number : TT06-02. P. 180.

23. Voznyuk O., Turos O., Petrosian A., Kartavtsev O. Children Exposure to NO<sub>2</sub> Close to Busy Intersections in Zaporizhzhia, Ukraine // ISES – 2011 (Oct. 23-27, 2011): abstract compilation. Baltimore, MD (USA), 2011. Abstract number : TT07-03. P. 183.

24. Turos O., Petrosian A., Voznyuk O. Assessment of Human Health Risk Attributed to Ambient Air Pollution Formed by Different Types of Industries in Ukraine // ISES – 2011 (Oct. 23-27, 2011): abstract compilation. Baltimore, MD (USA), 2011. Abstract number : WT06-05. P. 227.

25. Турос О.І., Петросян А.А., Вознюк О.В., Давиденко Г.М., Картавцев О.М. Оцінка інгаляційного впливу зважених часток ( $Z_{C10}$ ) на здоров'я населення, що проживає в промислових містах України // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (сьомі марзєєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. (15-16 вер. 2011 р.). Київ, 2011. С. 117-118.

26. Турос О.І., Вознюк О.В., Петросян А.А., Картавцев О.М. Просторове поширення викидів азоту діоксиду та оцінка ризику для здоров'я населення від автомобільного транспорту у одному з промислових міст України // Східноєвропейський журнал громадського здоров'я (матеріали міжнародної наук.-практ. конференції, присвяченої Всесвітньому дню здоров'я). 2011. № 1 (13). С. 246-247.

27. Турос О.І., Петросян А.А. Методичні питання щодо впровадження методології оцінки ризику для здоров'я населення органами державної санітарно-епідеміологічної служби України // Східноєвропейський журнал громадського здоров'я (матеріали міжнародної наук.-практ. конференції, присвяченої Всесвітньому дню здоров'я). 2011. № 1 (13). С. 247-248.

28. Турос Е.И., Петросян А.А., Картавцев О.Н., Ананьева О.В., Маремуха Т.П. Роль оценки риска для здоровья населения в интегрированном управлении качеством воздуха // Материалы XI Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей : сборник статей. Том I. М., 2012. С. 737-740.

29. Турос О.І., Петросян А.А., Картавцев О.М. Порівняльний аналіз концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери при проведенні інструментальних та розрахункових досліджень // Гігієнічна наука та практика: сучасні реалії : матеріали XV з'їзду гігієністів України (20-21 вер. 2012 р., Львів). Львів, 2012. С. 260-262.

30. Turoso O., Petrosian A., Ananyeva (Voznyuk) O. Approaches to Exposure and Human Health Risk Assessment Related to Ambient Air Pollution // ISES – 2012 (Oct. 28 - Nov. 1, 2012): abstract compilation. Seattle, Washington (USA), 2012. Abstract number : TuP-06. P.150.

31. Турос О.І., Петросян А.А., Черненко Л.М., Давиденко Г.М., Маремуха Т.П. Недосконалість системи моніторингу атмосферного повітря та шляхи її поліпшення // Східноєвропейський журнал громадського здоров'я (матеріали міжнародної наук.-практ. конференції, присвяченої Всесвітньому дню здоров'я). 2012. № 1 (17). С. 267-268.

32. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьева О.В., Маремуха Т.П. Оцінка ризику для здоров'я населення як інструмент управління якістю повітря // Казантип Еко-2013 : сб. тр. XXI Международной научно-практ. конф. (3-7 июня 2013 г.). Том 2. Щелкино, АР Крым, 2013. С. 256-261.

33. Турос Е.И., Петросян А.А. Внедрение оценки риска для здоровья населения при управлении качеством атмосферного воздуха в Украине // Формирование и реализация экологической политики на региональном уровне : сб. матер. VI Всероссийской научно-практ. конф. с международ. участием (24-25 октября 2013, Ярославль). Ярославль, 2013. С. 99-103.

34. Petrosian A., Turoso O., Ananyeva O., Zagorodniy V., Chernenko L. Risk of asthmatic morbidity in children exposed to sulfur dioxide industrial emissions // ISEE, ISES, ISIAQ –

2013 – Annual Conference (Aug. 19-23, 2013): abstracts. Basel, Switzerland, 2013. Abstract number : O-4-14-06. P. 239.

35. Turos O., Petrosian A., Davydenko G. Ananyeva O. Social Costs of Air Pollution in Population Highly Exposed to Industrial Emissions // ISES – 2014 – Annual Conference (Oct. 12-16, 2014): abstracts. Cincinnati, Ohio, USA, 2014. Abstract number : Su-P-52. P.25.

36. Турос О.І., Петросян А.А., Давиденко Г.М., Близнюк В.В., Ананьєва О.В. Оцінка соціальних втрат здоров'я населення, яке проживає в умовах високих експозицій забруднення атмосферного повітря викидами зважених часток від промислових підприємств // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (десяти марзеєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. К., 2014. С. 142-143.

37. Turos O., Petrosian A., Zvinchuk O., Ananyeva O. Measurement and modeling of the variability of air pollution by heavy metals in one of the Ukrainian cities with the metallurgical industry // ISES – 2015 – Annual Conference (Oct. 18-22, 2015): abstracts. Henderson, Nevada, USA, 2015. Abstract number : Su-P-58. P. 32.

38. Турос О.І., Моргульова В.В, Петросян А.А, Парсаданян К.Г. Нові інформаційні ресурси в гігієні атмосферного повітря // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (одинадцять марзеєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. Івано-Франківськ, 2015. С. 328-330.

39. Turos O., Petrosian A., Ananyeva O., Morgulova V. Incorporation human health risk assessment into system of air quality regulation // EuNetAirNewsletter. COST Action TD 1105. Iss. 8/Sep 2016. P. 8. URL : <http://www.cost.eunetair.it/>

40. Петросян А.А., Моргульова В.В. Моделювання розповсюдження забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери, обумовлене діяльністю підприємств гірничо-металургійного комплексу України // Українсько-польська конференція «Проблеми забруднення та очистки повітря: контроль, моніторинг, каталітичні, фотокаталітичні та сорбційні методи очистки» : матеріали конференції (6-8 листопада 2016 р., м. Київ). Київ, 2016. С. 103-104.

41. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьєва О.В., Моргульова В.В., Кобзаренко І.В. Розробка технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин на підставі оцінки ризику для здоров'я населення // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (дванадцять марзеєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. Київ, 2016. С. 128-130.

42. Турос О.І., Петросян А.А., Михіна Л.І., Маремуха Т.П. Проблеми якості повітря в Україні та оцінки його впливу на громадське здоров'я // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (дванадцять марзеєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. Київ, 2016. С. 131-132.

43. Turos O., Petrosian A., Ananyeva O., Morgulova V. Development of emission standards for metallurgical industry based on results of human health risk assessment // ISES – 2016 – Annual Conference (Oct. 09-13, 2016): abstracts. Utrecht, Netherlands, 2016. Abstract number : Tu-Po-13. P. 477.

44. Турос О.І., Маремуха Т.П., Петросян А.А., Моргульова В.В. Використання даних дистанційного зондування Землі високої роздільної здатності (космічні знімки) при вирішенні еколого-гігієнічних питань // Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки. Шоста Всеукраїнська конференція «GEO-UA». К., 2018. С. 66-67.

45. Слаутенко Є.Г., Петросян А.А. До питання вивчення впливу на здоров'я населення забруднення атмосферного повітря свинокомплексами // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (чотирнадцяті марзеєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. (11 – 12 жовт. 2018 р.). К., 2018. С. 85-88.

46. Петросян А.А., Моргульова В.В. Використання моделювання забруднення атмосферного повітря в сельбищних зонах // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (чотирнадцяті марзеєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. (11-12 жовт. 2018 р.). К., 2018. С. 209-211.

47. Петросян А.А. Оцінка ризику для здоров'я населення як інструмент еколого-гігієнічної діагностики // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (п'ятнадцяті марзеєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. (15-16 жовт. 2019 р.). К., 2019. С. 89 – 91.

48. Турос О.І., Кобзаренко І.В., Михіна Л.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П., Моргульова В.В., Брезіцька Н.В. Визначення рівнів масової концентрації озону в приземному шарі атмосферного повітря // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (п'ятнадцяті марзеєвські читання) : зб. тез доп. наук.-практ. конф. (15-16 жовт. 2019 р.). К., 2019. С. 85-87.

49. Morhulova V., Petrosian A., Maremukha T. Improved methods of assessing the impact of air pollution on public health // ISES, ISIAQ – 2019. – SU-PO-18. P.19.

50. Turos O., Petrosian A., Kobzarenko I., Kharchenko K., Maremukha T., Ananyeva O. Measurement of ambient ozone (O<sub>3</sub>) levels, correlation with the NO<sub>x</sub> levels and the development of the monitoring network for O<sub>3</sub> // ISES, ISIAQ – 2019. SU-PO-14. P.41.

51. Turos O., Maremukha T., Petrosian A., Brezitska N., Mykhina L., Ananyeva O. Study of air pollution by particulate matter (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>) in Kyiv, Ukraine // ISES, ISIAQ – 2019. – TU-PO-36. P. 214.

– **в інших виданнях:**

52. Турос О.І., Петросян А.А., Михіна Л.І. Гігієна повітря // Досвід та перспективи наукового супроводу проблем гігієнічної науки та практики : зб. наук. пр. К, 2011. С. 133-149.

53. Турос О.І., Петросян А.А., Ананьєва О.В., Маремуха Т.П., Кобзаренко І.В. Використання оцінки ризику для здоров'я населення в системі управління якості повітря // Збірник законодавчих та нормативно-правових актів, які регулюють діяльність суб'єктів господарювання в частині запобігання несприятливого впливу на стан здоров'я і життя людини шкідливих факторів атмосферного повітря. Київ, 2014. С. 15-20.

54. Турос О.І., Давиденко Г.М., Петросян А.А. та ін. Соціальні втрати здоров'я населення, обумовлені промисловим забрудненням атмосферного повітря // Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України: результати наукових розробок 2014 р. Київ, 2015. С. 8-34.

55. Турос О.І., Ананьєва О.В., Петросян А.А. та ін. Вдосконалення гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту // Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України: результати наукових розробок 2014 р. Київ, 2015. С. 240-275.

56. Турос О.І., Черненко Л.М., Петросян А.А. Спосіб розробки технологічного нормативу допустимих викидів вуглецю оксиду від агломераційних машин

підприємств гірничо-металургійного комплексу України // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. Вип. 66. К., 2015. С. 36-44.

57. Петросян А.А. Використання оцінки ризику при управлінні якістю повітря та збереженні громадського здоров'я // Довкілля та здоров'я. 2016. № 2(78). С. 47-50.

58. Давиденко Г.М., Петросян А.А., Близнюк В.В. Економічні оцінки збитків від передчасної смертності внаслідок захворювань дихальних шляхів // Довкілля та здоров'я. 2017. № 2. С. 39-44.

59. Турос О.І., Маремуха Т.П., Кобзаренко І.В., Петросян А.А., Михіна Л.І., Брезіцька Н.В., Давиденко Г.М., Харченко К.О. Забруднення атмосферного повітря зваженими частками пилю ( $ЗЧ_{10}$  і  $ЗЧ_{2,5}$ ) у Деснянському районі м. Києва // Гігієна населених місць : зб. наук. пр. Вип. 67. К., 2017. С. 31-37.

– **патенти, інформаційні листи:**

60. Турос О.І., Ананьєва О.В., Петросян А.А., Михіна Л.І., Маремуха Т.П., Сухачов Д.С. Деклараційний патент на корисну модель (51) А61В 10/00. Спосіб прогнозування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту. Заявник і власник ДУ «ІГМЕ ім. О. М. Марзеєва НАМНУ». №96939 від 25.02.2015 р., Бюл.№4.

61. Турос О.І., Близнюк В.В., Давиденко Г.М., Петросян А.А. Обґрунтування доцільності поєднання різних економічних підходів та методології оцінки ризику для здоров'я населення при оцінках соціально-економічних збитків здоров'я населення / ДУ «ІГЗ ім. О.М. Марзеєва НАМН України»; ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України». К., 2015. 5 с. (Укрмедпатентінформ МОЗ України / Інформаційний лист про нововведення № 149-2015).

62. Турос О.І., Близнюк В.В., Давиденко Г.М., Петросян А.А. Обґрунтування підходів до оцінки соціальних втрат, обумовлених підвищеними ризиками від дії забрудненого атмосферного повітря для здоров'я населення України / ДУ «ІГЗ ім. О.М. Марзеєва НАМН України»; ДУ «Інститут економіки та прогнозування НАН України». К., 2015. 6 с. (Укрмедпатентінформ МОЗ України / Інформаційний лист про нововведення № 150-2015).

63. Турос О.І., Ананьєва О.В., Петросян А.А., Михіна Л.І., Маремуха Т.П., Ліхобицький І.В., Сухачов Д.С. Вдосконалення підходів до оцінки кількісного впливу забруднення атмосферного повітря, обумовленого викидами автомобільного транспорту та визначення зон підвищеного ризику для здоров'я населення / ДУ «ІГЗ ім. О.М. Марзеєва НАМН України». К., 2015. 4 с. (Укрмедпатентінформ МОЗ України / Інформаційний лист про нововведення № 227-2015).

64. Турос О.І., Петросян А.А., Маремуха Т.П., Черненко Л.М. Використання оцінки ризику для здоров'я населення при розробці технологічних нормативів допустимих викидів / ДУ «ІГМЕ ім. О.М. Марзеєва НАМН України»; Санітарно-епідеміологічна станція Державного управління справами. К., 2015. 3 с. (Укрмедпатентінформ МОЗ України / Інформаційний лист про нововведення № 334-2015).

65. Турос О.І., Слауценко Є.Г., Моргульова В.В., Петросян А.А., Ананьєва О.В. Визначення розповсюдження хімічних забруднюючих речовин з вираженими запахоутворюючими властивостями, що утворюються в процесі діяльності свинокомплексів / ДУ «ІГЗ ім. О.М. Марзеєва НАМН України». К., 2017. 4 с.



(Укрмедпатентінформ МОЗ України / Інформаційний лист про нововведення № 300-2017).

66. Турос О.І., Петросян А.А., Слауценко Є.Г., Моргульова В.В., Маремуха Т.П. Деклараційний патент на корисну модель (51) А61В 10/00. Спосіб визначення розповсюдження забруднюючих речовин в атмосферному повітрі». Заявник і власник ДУ «ІГЗ ім. О. М. Марзєєва НАМНУ». № 131880 (11); заявл. 11.02.2019; Бюл. № 3.

### АНОТАЦІЯ

***Петросян А.А. Наукове обґрунтування системи гігієнічної оцінки якості атмосферного повітря*** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук за спеціальністю 14.02.01 – гігієна та професійна патологія. Державна установа «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України», Київ, 2021.

Дисертація присвячена науковому обґрунтуванню розроблення теоретичних та методичних засад щодо удосконалення гігієнічної складової міждисциплінарної системи оцінки якості атмосферного повітря, яка базується на ймовірнісному підході та використанні нових інформаційних технологій.

На підставі проведених досліджень дано еколого-гігієнічну оцінку забруднення атмосферного повітря на різних територіях України; адаптовано програмні комплекси для можливості розрахунків усереднених концентрацій ЗР у ПША за різні періоди усереднення, що дозволило оцінити ризик здоров'я населення як за умови хронічних, так і гострих інгаляційних впливів від викидів різних видів промислових підприємств та автотранспорту; розширено методичні прийоми для розроблення пропозицій щодо організації системи моніторингу атмосферного повітря та впровадження спостережень за РМ<sub>10</sub>, РМ<sub>2.5</sub> та озоном; запропоновано удосконалення методичної бази за рахунок впровадження методології оцінок ризику для здоров'я населення у процедуру погодження документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів для отримання дозволу на викиди (в частині обґрунтування розмірів СЗЗ) та затвердження технологічних нормативів допустимих викидів; розроблено та обґрунтовано систему гігієнічної оцінки якості повітря на державному рівні як складової соціально-гігієнічного моніторингу.

**Ключові слова:** атмосферне повітря, забруднююча речовина, експозиція, гострий та хронічний інгаляційний вплив, моніторинг, технологічні нормативи допустимих викидів, оцінка ризику для здоров'я населення, санітарно-захисна зона, управління ризиком.

### АННОТАЦИЯ

***Петросян А.А. Научное обоснование системы гигиенической оценки качества атмосферного воздуха*** – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 14.02.01 – гигиена и профессиональная патология. Государственное учреждение «Институт общественного здоровья им. А.Н. Марзеева НАМН Украины», Киев, 2021.

Диссертация посвящена научному обоснованию разработки теоретических и методических основ усовершенствования гигиенической составляющей междисциплинарной системы оценки качества атмосферного воздуха, основанной на вероятностном подходе и использовании новых информационных технологий.

На основании проведенных исследований дана эколого-гигиеническая оценка загрязнения атмосферного воздуха на разных территориях Украины; адаптировано программные комплексы для возможности расчетов усредненных концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы за разные периоды усреднения, что позволило оценить риск для здоровья населения как при хронических, так и острых ингаляционных воздействиях от выбросов различных видов промышленных предприятий и автотранспорта; расширено методические приемы при разработке предложений для организации системы мониторинга атмосферного воздуха и внедрении наблюдений за  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  и озоном; предложено усовершенствование методической базы за счет внедрения методологии оценок риска для здоровья населения в процедуру согласования обосновывающих документов для получения разрешения на выбросы (в части обоснования размеров санитарно-защитных зон) и утверждения технологических нормативов допустимых выбросов; разработана и обоснована система гигиенической оценки качества воздуха на государственном уровне как составляющая социально-гигиенического мониторинга.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, загрязняющее вещество, экспозиция, острое и хроническое ингаляционное воздействие, мониторинг, технологические нормативы допустимых выбросов, оценка риска для здоровья населения, санитарно-защитная зона, управление риском.

#### SUMMARY

*Petrosian A.A. Scientific substantiation of the air quality hygienic assessment framework – Manuscript.*

Dissertation for the Doctor of Biological Sciences degree in speciality 14.02.01 – Hygiene and Occupational Pathology. State Institution «O.M. Marzieiev Institute for Public Health, National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the scientific substantiation of the theoretical and methodological foundations of the hygienic component in the interdisciplinary framework of air quality assessment, which is built on probabilistic argumentation and utilizes the latest information technologies.

The ecological-hygienic and physical-geographical estimations of influence zones of investigated territories of 43 industrial enterprises and road transport is carried out based on the performed researches. The average concentrations of pollutants in the surface layer of atmosphere (SLA) from emissions of different types of industrial enterprises and motor vehicles were calculated using the ISC-AERMOD View software package. The ratio of average concentrations of pollutants to the total air pollution was estimated and the average ratio between: average daily and maximal single concentrations was determined at the level of 0.17 ( $C_{ad}=0.17\times C_{ms}$ ); average annual and average daily concentrations at the level of 0.1 ( $C_{aa} = 0.1\times C_{ad}$ ).

Methodical approaches to determining the location of automated monitoring stations were conceptualized on modelling and human health risk assessment' results. Proposals for the organization of a regional automated network of air quality monitoring on the

example of Dnipropetrovsk region are developed. Instrumental measurements (31270 samples) of mass concentrations of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, ozone were carried out and the need to expand monitoring programs in Ukraine was shown. It was found that the population remains under chronic inhalation exposure to PM<sub>10</sub> (mainly in April, May, September, October, due to adverse meteorological conditions and aerobiological pollution) and PM<sub>2.5</sub> (mainly in November-March during the heating season). Peaks of maximum mass concentrations ( $>0.2 \text{ mg/m}^3$ ) of ozone were recorded in May and June, which, according to WHO assessments, increases the number of additional cases of daily deaths by 3-5 %.

Developed, evaluated and established, using hygienic approaches, perspective and current technological standards for permissible emissions of pollutants and developed the conclusions for the best available technologies and management methods (BAT; recommended by the EU) for different types of equipment. It is shown that it is impossible to implement the BAT conclusions approved and recommended by the EU without taking into account health impact assessments, due to the specifics (effects of potentiation and summation of pollutants; background concentrations) of industrial air pollution and without stricter requirements for standardization of its quality in Ukraine.

Efficiency of the methodology of human health risk assessment is proven for the state sanitary-epidemiological examination of materials to justify the size of sanitary protection zones for industrial enterprises of I-II class of danger. It demonstrates the importance of this methodology implementation to the permitting procedures in order to adopt management solutions at the legislative level.

Levels of non-carcinogenic risk in the assessment of acute ( $HQ_{\text{acute}} = 1.1 \div 7.9$ ) and chronic ( $HQ_{\text{chronic}} = 1.1 \div 8.5$ ) inhalation effects of priority pollutants of industrial enterprises (metallurgical, oil refining, chemical, machine-building, coke-chemical, mining, thermal power plant, construction, production of oil and animal fats, livestock complexes) and vehicles was determined for the health of the exposed population of the studied cities. Such risk levels ( $HQ = 3.0 \div 6.0$ ;  $HQ \geq 6$ ), according to WHO recommendations, correspond with moderate and high levels of air pollution and can cause weak and pronounced effects respectively, especially in vulnerable groups (elderly, pregnant women and children). Levels of individual carcinogenic risk ( $ICR_{\text{total}}$ ) and individual risk of mortality (IRM) from inhaled exposure to PM<sub>10</sub> was estimated for the exposed population. It is determined that the possible social costs of air pollution to the population in the form of an additional individual risk of cancer for the studied objects can range from 9 cases per 10,000 to 5 cases per 1,000 population. In the form of additional cases of deaths caused by inhalation of PM<sub>10</sub> it can range from 8 cases per 10,000 to 3 cases per 1,000 population.

A risk management algorithm has been created and the system of hygienic air quality assessment has been improved by introducing a probabilistic approach and modern methodological tools into sanitary-epidemiological and environmental practice (creation of an intersectoral model of executive partnership). It aims the implementation of acceptable risk for public health at the state level due to the impact of population by various objects of economic activity and road transport.

**Key words:** ambient air, pollutant, exposure, acute and chronic exposure by inhalation, monitoring, technological standards of permissible emissions, human health risk assessment, sanitary protection zones, risk management.