

**ДЕРЖАВНА УСТАНОВА  
«ІНСТИТУТ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я ім. О. М. МАРЗЄВА  
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ»**

**АНАНЬЄВА ОКСАНА ВАСИЛІВНА**

**УДК 614.71:504.06:616-084**

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ГІГІЄНИЧНОЇ ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ  
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВИКИДАМИ АВТОМОБІЛЬНОГО  
ТРАНСПОРТУ**

14.02.01 – гігієна та професійна патологія

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

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

**Науковий керівник:** доктор медичних наук, професор **Турос Олена Ігорівна**, ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва НАМН України», завідувач лабораторії якості повітря

**Офіційні опоненти:** Доктор біологічних наук, професор **Горова Алла Іванівна**, ДВНЗ «Національний гірничий університет» МОН України, професор кафедри хімії

Доктор медичних наук, професор **Коршун Марія Михайлівна**, Національний медичний університет імені О. О. Богомольця МОЗ України, професор кафедри комунальної гігієни та екології людини з секцією гігієни дітей та підлітків

Захист відбудеться «\_\_\_» червня 2017 р. о \_\_\_ годині, на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.604.01 ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва Національної академії медичних наук України», за адресою: 02094, м. Київ, вул. Попудренка, 50.

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

Автореферат розісланий «\_\_\_» травня 2017 р.

**Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
доктор біологічних наук**

**О. М. Литвиченко**

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Стрімкі темпи глобалізації несуть суспільству нові позитивні зміни, однак, такі аспекти міського життя, як підвищені рівні забруднення довкілля, обмежений доступ до зелених зон, малорухливий спосіб життя стають причиною зростання рівнів неінфекційної захворюваності та передчасної смертності серед міських мешканців. В Україні, за оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), у 2012 р. 54507 випадків додаткових смертей від захворювань органів дихання та серцево-судинної системи були спричинені забрудненням атмосферного повітря [ВООЗ, 2016]. Водночас, відмічено значне збільшення кількості автомобільного транспорту у містах нашої країни. Так, лише у м. Києві майже 80% забруднення атмосферного повітря обумовлено автомобільним транспортом, а хімічні речовини, що надходять з викидами автомобілів, формують такі рівні ризику для здоров'я населення, які, у поєднанні з іншими факторами, призводять до зростання частоти захворювань органів дихання, серцево-судинної системи, а також смертності [Антонов К.Л. и др., 2006; Гутникова, Е.А. и др., 2007; Gehring U. et al., 2010; Черниченко І.О. та ін., 2010, 2013; Першегуба В.Я., 2010; Пизов А.В., 2013].

В Україні, у світлі останніх змін у галузі містобудування та санітарного законодавства, питання впливу автомобільного транспорту як фактору забруднення атмосферного повітря міських населених пунктів на здоров'я населення лишається недостатньо висвітленим і доволі розмитим, що у першу чергу обумовлене відсутністю чітко визначених інструментів кількісної оцінки впливу, які могли б охарактеризувати ефекти для здоров'я у конкретних цифрових показниках. Існуюча система моніторингу за станом атмосферного повітря, а також відсутність централізованих баз даних щодо захворюваності населення, не здатні забезпечити достовірну та повну інформацію для проведення кількісних оцінок впливу автомобільних викидів та розрахунків ризику для здоров'я населення. Водночас, в останні роки значна увага гігієністів була сконцентрована переважно навколо промислових джерел забруднення атмосферного повітря та оцінки їх впливів на здоров'я населення [Сердюк А. М та ін., 2007; Турос О. І., 2008; Турос О. І. та ін., 2010; Авалиани С. Л. и др., 2010; Петросян А. А., 2010; Загородній В. В, 2010]. Однак, пересувні джерела забруднення, зокрема автомобільний транспорт, характеризуються своєю окремою специфікою і відзначаються високою локальною варіабельністю забруднення [Волкодаєва В. М., 2009; Health Effects Institute, 2010; Durant J.L. et al., 2010; Franklin M. et al., 2012; Антропов К. М. и др., 2012; Patton A. et al., 2014, 2016], що обумовлює потребу пошуку нових підходів для кількісної оцінки впливу на здоров'я населення, яке проживає на територіях прилеглих до автодоріг, інтегрування методів математичного моделювання та адаптування підходів методології оцінки ризику від хімічного забруднення атмосферного повітря. Зазначені невирішені питання, важливі як для теоретичної науки, так і для практичного застосування при розробці заходів, орієнтованих на захист здоров'я населення міст, прийнятті управлінських рішень містобудівного та планувального характеру, послужили основою для планування даної роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О. М. Марзєєва НАМН України»: Міжгалузевої комплексної програми «Здоров'я нації» - «Розробка нормативної бази щодо забезпечення безпеки життєдіяльності людей у критичних випадках забруднення довкілля» (2006-2008 рр., № державної реєстрації 0106U002364), «Наукове обґрунтування критеріїв оцінки ризику для здоров'я населення негативного впливу чинників довкілля» (2005-2007 рр., № державної реєстрації 0105U002738), «Наукове обґрунтування та визначення факторів ризику для населення від антропогенного впливу на територію Солом'янського району» (2007 р., № державної реєстрації 0107U012328); «Вдосконалення методології оцінки якості повітря» (2009-2011 рр., № державної реєстрації 0109U001250), «Наукові засади оцінки ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту» (2012-2014 рр., № державної реєстрації 0112U001053).

**Мета роботи:** удосконалення методів ймовірнісної оцінки впливу забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту на здоров'я населення в сельбищних зонах міст.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні **завдання:**

1. Вивчити особливості формування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту у сельбищних зонах міст (на підставі виконаних натурних досліджень);
2. Обґрунтувати вибір математичних моделей для оцінки забруднення приземного шару атмосферного повітря відпрацьованими газами автомобільних транспортних засобів;
3. Оцінити експозицію та розрахувати ризик для здоров'я населення, обумовлений викидами автомобільного транспорту;
4. Розробити спосіб прогнозування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту в сельбищних зонах міст;
5. Обґрунтувати алгоритм вирішення завдання кількісної оцінки впливу та мінімізації ризиків, обумовлених викидами автомобільних транспортних засобів для здоров'я населення міст.

**Об'єкт дослідження:** особливості формування забруднення атмосферного повітря та зон ризику для здоров'я населення пересувними джерелами викидів (автомобільним транспортом).

**Предмет дослідження:** рівні хімічних забруднюючих речовин в атмосферному повітрі сельбищних зон; моделі прогнозування забруднення; експозиція населення; ризики для здоров'я населення, обумовлені хімічним забрудненням повітря автомобільним транспортом.

**Методи досліджень:** бібліографічний аналіз наукової інформації, методи моніторингу та спостереження (оцінка якісного та кількісного складу транспортного потоку, фіксування транспортної ситуації на автодорозі), фізико-хімічні методи (фотометричний, визначення концентрацій забруднюючих речовин за допомогою газоаналізаторів, вимірювання фізичних параметрів повітря – температури, вологості, тиску, швидкості вітру), математичного моделювання забруднення атмосферного повітря, оцінки ризику для здоров'я населення,

статистичні (розрахунок показників міри центральної тенденції, показників варіабельності, кореляційний аналіз, регресійний аналіз), геоінформаційного аналізу (геопросторовий аналіз даних, картографування забруднення та зон ризиків для здоров'я).

**Наукова новизна отриманих результатів.** За результатами комплексних експериментальних та натурних досліджень вперше:

- розроблено новий науковий підхід до оцінки впливу хімічного забруднення атмосферного повітря, обумовленого викидами автомобільного транспорту;
- поглиблено знання про просторово-часові тенденції та особливості формування рівнів хімічного забруднення атмосферного повітря у сельбищних зонах міст, прилеглих до автодоріг, у залежності від транспортно-дорожньої ситуації та фізико-географічних характеристик території (щільність транспортної мережі, розподіл категорій землекористування, ступінь озеленення, метеорологічні умови);
- запропоновано нові моделі оцінки забруднення атмосферного повітря (на прикладі Дарницького та Дніпровського районів м. Києва) азоту діоксидом, оксидом вуглецю, сірки діоксидом, неметановими вуглеводнями, формальдегідом, зваженими частками з аеродинамічним діаметром до 10 мкм ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_1$ ) та підготовлено відповідні карти забруднення, які характеризуються високим просторовим розширенням і більш точно відображають розподіл забруднення на територіях прилеглих до автодоріг;
- розраховано неканцерогенні ризики для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту у межах сельбищних зон, прилеглих до автодоріг, та розроблено карти відповідних зон ризиків (на прикладі Дарницького та Дніпровського районів м. Київ);
- оцінено експозиційне навантаження та неканцерогенний ризик для здоров'я населення, обумовлений  $PM_{10}$  у складі викидів автомобільного транспорту.

**Теоретичне значення отриманих результатів** стосується поглиблення теоретичних знань щодо особливостей формування експозиції та удосконалення наукових підходів до ймовірнісної оцінки інгаляційного впливу на здоров'я населення забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту у сельбищних зонах міст, прилеглих до автодоріг.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в удосконаленні методів гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря, визначення експозиції населення у сельбищних зонах міст при проведенні оцінок ризику для здоров'я населення від негативної дії викидів автомобільного транспорту; розробці способу прогнозування забруднення повітря пересувними джерелами викидів; створенні алгоритму вирішення завдання кількісної оцінки впливу та мінімізації ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря автомобільними транспортними засобами.

За матеріалами дисертації підготовлено наступні нормативно-методичні документи:

- 2 патенти на корисну модель: № 96939-2015 «Спосіб прогнозування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту»,

№ 33659-2008 «Спосіб визначення осереднених концентрацій шкідливих речовин в атмосферному повітрі»;

- 3 інформаційні листи: № 227-2015 «Вдосконалення підходів до оцінки кількісного впливу забруднення атмосферного повітря, обумовленого викидами автомобільного транспорту та визначення зон підвищеного ризику для здоров'я населення», № 179-2008 «Впровадження оцінки ризику від інгаляційного надходження хімічних речовин для визначення потенційних зон надзвичайних ситуацій», № 211-2007 «Ідентифікація небезпеки від забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами».

Матеріали дисертації впроваджені у навчальний процес кафедри загальної гігієни ДЗ «Дніпропетровська медична академія», кафедри хімії Національного університету «Києво-Могилянська академія» та діяльність Управління державного нагляду за дотриманням санітарного законодавства Головного управління Держпродспоживслужби в м. Києві, що підтверджено відповідними актами впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Автором особисто виконано інформаційно-патентний пошук, аналіз сучасних вітчизняних та міжнародних інформаційних джерел, розроблено програму та обрано методи досліджень. Спільно з науковим керівником визначено мету, завдання дослідження, підготовлено наукові публікації та сформулювало висновки. Автор прийняла безпосередню участь в організації та проведенні натурних вимірювань рівнів хімічного забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту. Особисто виконано гігієнічну оцінку забруднення, описано моделі прогнозування концентрацій забруднюючих речовин на основі методу множинної лінійної регресії, запропоновано спосіб прогнозування забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом, обґрунтовано вибір математичних моделей для оцінки експозиції населення забрудненням повітря, що формується викидами автомобілів, оцінено ризик для здоров'я населення, підготовлено відповідні картографічні матеріали та запропоновано алгоритм вирішення завдання кількісної оцінки впливу та мінімізації ризиків, обумовлених автотранспортним забрудненням повітря, для здоров'я населення міст. Автором виконано аналіз, систематизацію і математичну обробку результатів, оформлено всі розділи дисертаційної роботи. Особистий внесок здобувача становить 90 % від загального обсягу роботи.

Автор висловлює подяку всім колегам за підтримку, консультативну і практичну допомогу при виконанні окремих фрагментів роботи, особливо пров.н.с. Петросян А. А., с.н.с. Кобзаренко І. В., с.н.с. Михіній Л. І., н.с. Маремусі Т. П.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації доповідались і обговорювались на: міжнародній конференції «СЕЕСНЕ – 3<sup>rd</sup> Central and Eastern European Countries Conference on Health and Environment» (Румунія, 2008); науково-практичних конференціях «Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України» (Київ, 2009, 2012, 2014, 2015); міжнародній науковій конференції студентів та молодих вчених «Молодь – медицині майбутнього» (Одеса, 2009); міжнародній конференції наукового товариства International Society of Exposure Science (ISES) «Transforming Exposure Science in the 21<sup>st</sup> Century» (США, 2009); науково-практичній конференції з міжнародною участю присвяченій 110-й річниці

з дня народження Д. М. Калюжного (Київ, 2010); міжнародній науково-практичній конференції присвяченій Всесвітньому дню здоров'я (Київ, 2010); п'ятій науково-практичній конференції «Екологічна безпека техногенно перевантажених регіонів. Оцінка і прогноз екологічних ризиків» (Ялта, 2010), 21-й щорічній конференції наукового товариства ISES «Advancing Exposure Science for Environmental Health» (США, 2011), XV з'їзді гігієністів «Гігієнічна наука та практика: сучасні реалії» (Львів, 2012); спільній конференції наукових товариств International Society of Exposure Science, International Society of Environmental Epidemiology, International Society for Indoor Air Quality and Climate «Environment and Health - Bringing South, North, East and West» (Швейцарія, 2013); міжнародній конференції наукового товариства ISES «Interdisciplinary Approaches for Health and the Environment» (Королівство Нідерланди, 2016); конференції Європейської молодіжної коаліції з довкілля та здоров'я «International Youth Conference on Environment, Health and Mobility» (Австрія, 2016).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 38 наукових робіт, серед них 4 роботи у наукових фахових виданнях, що входять до переліку, затвердженого ДАК України, 3 статті у міжнародних виданнях та 4 публікації в інших наукових журналах. Матеріали дисертації використані при написанні 27 тез доповідей на міжнародних конференціях, форумах та з'їздах. Видано 3 інформаційні листи, отримано 2 патенти на корисну модель. Публікації виконано самостійно та у співавторстві.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, 5 розділів (огляд літератури, обґрунтування об'єму та методів досліджень, 3 розділи - результати власних досліджень, їх аналіз та узагальнення), висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 219 сторінках машинописного тексту, містить 14 таблиць, 30 рисунків та 3 додатки (А, Б, В). Бібліографія містить 183 літературні джерела, у тому числі 98 англомовних.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Перший розділ** (аналітичний огляд літератури) присвячено висвітленню стану проблеми хімічного забруднення атмосферного повітря викидами пересувних джерел, а саме автомобільних транспортних засобів, та огляду національної та європейської політик у сфері транспорту, довкілля і здоров'я. Вивчено та проаналізовано специфіку автомобільного транспорту як джерела забруднення атмосферного повітря, що відрізняє його від стаціонарних джерел викидів, а також детально описано особливості біологічного впливу викидів автотранспорту на стан здоров'я населення. Водночас, представлено підходи до оцінок впливу забрудненого автомобільними викидами повітря на здоров'я населення та встановлено, що ключовою проблемою в оцінці впливу викидів пересувних джерел забруднення повітря є відсутність репрезентативних даних щодо відповідних рівнів забруднення повітря в межах сельбищних зон, що обумовлює потребу вдосконалення існуючих методичних підходів до гігієнічної оцінки автотранспортного забруднення з метою коректного визначення експозиції населення та розрахунку відповідних ризиків для здоров'я, які слугують первинною інформацією для розробки заходів, націлених на захист громадського здоров'я.

Огляд літератури завершується узагальненням розгляду матеріалів, висвітленням невирішених аспектів проблеми та обґрунтуванням методичних підходів і напрямків дисертаційної роботи, які обумовлюють мету та завдання досліджень.

**Матеріали та методи дослідження.** Для вирішення поставлених у роботі завдань провели комплекс теоретичних, аналітичних та інструментальних досліджень (табл. 1).

Таблиця 1

**Етапи та обсяги досліджень**

№	Характеристика досліджень	Обсяг досліджень
1	Огляд європейської та української політик у сфері транспорту, довкілля та здоров'я	Закони, стандарти, Директиви і Регламенти ЄС, керівництва, декларації, стратегії - 36 документів
2	Гігієнічна оцінка забруднення приземного шару атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту	Вимірювання концентрацій 8 забруднюючих речовин у районі автодоріг та сельбищних зонах Дарницького та Дніпровського районів м. Києва. Всього: 55 точок пробовідбору; 300 проб повітря; 3300 вимірювань для кожної речовини. Визначення температури повітря, відносної вологості, швидкості вітру: 55 вимірювань. Спостереження та оцінка інтенсивності і структури транспортних потоків, характеристика умов руху на регульованих перехрестях: обстежено 28 автодоріг і 6 перехресть. Всього: 55 точок.
3	Аналіз взаємозв'язків між концентраціями забруднюючих речовин та фізико-географічними параметрами території	Підготовка та аналіз баз геопросторових даних (генеральний план м. Києва, транспортно-дорожня мережа м. Києва, дані радарної топографічної зйомки SRTM30, космічні знімки земної поверхні QuickBird і Landsat-TM) за допомогою геоінформаційних технологій. Розрахунок 40 кількісних показників, що описували 30 точок натурних вимірювань та прилеглу територію. Розрахунок коефіцієнтів парної кореляції (за Пірсоном) концентрацій 5 забруднюючих речовин з 40 показниками, що описували точки вимірювань. Всього: 200 аналізів.
4	Створення регресійних моделей для оцінки рівнів забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту	Регресійний аналіз концентрацій для 5 забруднюючих речовин та 40 показників території дослідження. Аналіз 80 комбінацій показників. Отримано моделі прогнозування забруднення для 5 речовин.
5	Порівняльний аналіз оцінки експозиційного навантаження за даними натурних вимірювань та даними моделювання ISC-AERMOD View v. 9.3	Підготовка бази даних метеорологічних параметрів: 365 днів спостережень, 21 параметр. Розрахунок висотних відміток рельєфу за цифровою моделлю рельєфу. Розрахунки усереднених 1-годинних концентрацій 5 забруднюючих речовин. Всього: 5 розрахунків. Розрахунки медіальних значень вибірок та коефіцієнтів парної кореляції (за Пірсоном) для результатів моделювання і натурних досліджень.
6	Розрахунок усереднених концентрацій забруднюючих речовин за допомогою моделі ISC-AERMOD View v.9.3	Розрахунки усереднених 1-, 24-годинних та річних концентрацій 6 забруднюючих речовин у 952 рецепторних точках. Всього: 18 розрахунків; 27 карт забруднення.
7	Оцінка ризику	Розрахунки неканцерогенного ризику для здоров'я населення. Всього: 13 карт з відповідними зонами ризику.



За допомогою методів бібліографічного аналізу було охарактеризовано стан розробки проблеми та визначено коло актуальних питань, що потребують вирішення.

Для оцінки якості повітря в сельбищних зонах, прилеглих до автодоріг у міських населених пунктах, були проведені вимірювання рівнів забруднення атмосферного повітря у 55 точках рівномірно розташованих на території Дарницького та Дніпровського районів м. Києва, які є типовими спальними районами і відзначаються розгалуженістю дорожньої мережі, великою кількістю маршрутів громадського транспорту та високою щільністю житлової забудови. Одночасно вимірювали концентрації 6 хімічних речовин (азоту діоксиду, оксиду вуглецю, пилу недиференційованого за складом (пил НДЗС), зважених часток з аеродинамічним діаметром до 10 мкм ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ )) у 2012 р. та 8 забруднюючих речовин (азоту діоксиду, оксиду вуглецю, сірки діоксиду, неметанових вуглеводнів, пилу НДЗС та  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_1$ ) у 2014 р. При виконанні натурних вимірювань забруднення атмосферного повітря було використано відповідне обладнання: фотоелектроколориметр КФК-2, газоаналізатор Q-TRACK Air Quality Monitor 7565, аналізатори пилу EPAM-500, P-DustMonit, сучасні газоаналізатори Horiba мобільної екологічної лабораторії (APNA-370, APMA-370, APNA-370, APSA-370). Для визначення метеорологічних параметрів використовували: гігрометр ВІТ-2, психрометр аспіраційний М-34, барометр-анероїд БАММ-1, метеорологічний сенсор WS-600 мобільної екологічної лабораторії. Оцінку структури, інтенсивності транспортних потоків, циклів роботи світлофорів та автотранспортної ситуації на ділянках автодоріг і перехрестях виконували шляхом моніторингу, прямого підрахунку та експертного оцінювання. Гігієнічну оцінку отриманих результатів натурних досліджень з визначення концентрацій забруднюючих речовин проводили на основі чинних вітчизняних гігієнічних нормативів якості повітря (ГДК<sub>м.р.</sub>).

З метою визначення умов формування забруднення, обумовленого транспортними потоками у сельбищних зонах, прилеглих до автодоріг, шляхом застосування кореляційного аналізу, вивчали взаємозв'язки між отриманими у натурних дослідженнях концентраціями азоту діоксиду, оксиду вуглецю,  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  і  $PM_1$  та локальними фізико-географічними і метеорологічними параметрами, що характеризували територію дослідження. Останні було підготовлено за допомогою інструментів геопросторового аналізу (геоінформаційний пакет ArcGis 10.1, Esri) на основі даних власних спостережень і вимірювань, дистанційного зондування земної поверхні для м. Київ (QuickBird, Landsat-TM), генерального плану м. Києва, сервісу «Яндекс. Карти» і геоданих порталу Geofabrik GmbH. Розрахунок параметрів виконано з використанням кругових буферних зон радіусом 25, 50, 100, 300, 500, 1000, 3000 м. Було отримано 7 груп кількісних показників, всього 40 параметрів, які характеризували кожну з точок пробовідбору і прилеглу до неї територію: характеристики транспортного потоку, дороги, категорії землекористування, кількість житлових будинків, відносний індекс рослинності, метеорологічні параметри і топографічні особливості розташування. Отримані 40 фізико-географічних параметрів були включені до кореляційного аналізу як незалежні кількісні змінні.

З метою кількісної оцінки забруднення атмосферного повітря, що формується за рахунок викидів автомобільного транспорту на заданій території дослідження, було використано методи математичного моделювання, зокрема, метод регресійного аналізу для прогнозування забруднення на основі даних натурних вимірювань і модель розсіювання концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі повітря ISC-AERMOD View v.9.3 (Lakes Environmental; ліцензія ISCAУ0002896). Зазначені підходи моделювання є рекомендованими провідною установою з оцінки експозиції населення [Health Effects Institute, 2010] та відзначаються найкращими прогнозними оцінками [Світличний О. О., 2006; Briggs D. J., 2007; Ross Z., 2007; Антропов К. М., 2013; Patton A., 2014, 2016]. Фізико-географічні параметри території дослідження, для яких за результатами кореляційного аналізу отримали достовірні значимі коефіцієнти парної кореляції (за Пірсоном,  $p < 0,05$  і  $p < 0,005$ ), були включені до регресійного аналізу (лінійна покрокова регресія вперед з почерговим тестуванням змінних). Остаточні моделі прогнозування забруднення повітря азоту діоксидом, оксидом вуглецю та  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  і  $PM_1$  мали вигляд рівняння регресії з набором незалежних кількісних змінних, що описують залежну змінну – концентрацію. Точність моделей оцінювали за скоригованим значенням коефіцієнту детермінації  $R^2$  ( $p < 0,001$ ). Перевірку якості отриманих моделей виконували на основі ряду стандартних статистичних тестів та експертного оцінювання отриманих комбінацій змінних. Валідацію проводили шляхом співставлення результатів моделювання з відповідними даними натурних вимірювань та оцінки відсотку виявлених розбіжностей концентрацій.

Зважаючи на позитивний досвід використання моделі розсіювання ISC-AERMOD View v.9.3 у дослідженнях з оцінки впливу стаціонарних джерел на здоров'я населення [Турос О. І., 2008; Турос О. І. та ін., 2010, 2015; Петросян А. А., 2010], проведено тестування можливостей застосування даної моделі для завдань прогнозування автотранспортного забруднення в міських умовах. У якості вхідних даних використано: параметри джерел викидів (фізичні параметри досліджуваних ділянок 28 автодоріг та 6 регульованих перехресть), величини викидів забруднюючих речовин, г/с (з урахуванням інтенсивності, структури транспортного потоку, швидкості руху та простою на ділянках з регульованим рухом), набір даних метеорологічних спостережень за 1 рік (для м. Київ), топографічні дані (SRTM30, дані геологічної служби США). Розрахунок величин викидів забруднюючих речовин (г/с) виконано відповідно до «Методики определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга» (2012 р.). З метою валідації моделі ISC-AERMOD View v.9.3 проведено експериментальні розрахунки усереднених 1-годинних концентрацій 5 забруднюючих речовин (азоту діоксиду, оксиду вуглецю, сірки діоксиду, неметанових вуглеводнів,  $PM_{10}$ ) у 34 точках, розташованих на території Дарницького та Дніпровського районів м. Києва, які відповідали точкам попередньо виконаних натурних вимірювань. Аналіз узгодженості змодельованих концентрацій з даними вимірювань виконано на основі оцінки медіани співвідношення концентрацій, а також коефіцієнтів парної кореляції (за Пірсоном,  $p < 0,05$ ) та відповідних графіків співвідношення концентрацій.

Для оцінки експозиційного навантаження, що формується викидами автомобільного транспорту на території Дарницького та Дніпровського районів м. Києва, за допомогою моделі ISC-AERMOD View v.9.3, було розраховано усереднені 1-, 24-годинні та річні концентрації азоту діоксиду, оксиду вуглецю, сірки діоксиду, неметанових вуглеводнів, формальдегіду та зважених часток  $PM_{10}$  для 952 розрахункових точок з кроком 250 м, які рівномірно розташовані на території дослідження, та підготовлено карти забруднення (у редакторі карт ArcMap геоінформаційного пакету ArcGIS 10.1, Esri). Гігієнічну оцінку забруднення виконано відповідно до вітчизняних (ГДК<sub>м.р.</sub>, ГДК<sub>с.д.</sub>) та міжнародних (рекомендовані ВООЗ та Агентством США з охорони довкілля безпечні рівні) критеріїв якості повітря населених місць.

Для характеристики ризику розвитку неканцерогенних ефектів використано загальну процедуру методології оцінки ризику для здоров'я населення (Human Health Risk Assessment), розроблену Агентством США з охорони довкілля [US EPA, 1998, 2004, 2006, 2012; Онищенко Г. Г. и др., 2002; Турос О. І., 2008; Петросян А. А., 2010, 2016; Рахманин Ю. А., 2010]. Оцінку неканцерогенних ризиків проводили на основі розрахунку коефіцієнтів небезпеки (HQ), які є співвідношенням між величинами експозиції та безпечним (референтним) рівнем дії. Коефіцієнти небезпеки розраховували окремо для умов короткострокового (гострого) та тривалого (хронічного) впливу забруднюючих речовин. Для оцінки комбінованого впливу забруднюючих речовин за умови одночасного інгаляційного надходження розраховували сумарний неканцерогенний ризик у вигляді індексу небезпеки (HI). За результатами дослідження підготовлено відповідні карти зон неканцерогенного ризику для окремих забруднюючих речовин, а також карту сумарного неканцерогенного ризику (редактор карт ArcMap, ArcGIS 10.1, Esri).

Результати натурних вимірювань та моделювання опрацьовані у відповідності до прийомів та формул одномірного аналізу описової статистики, яка включала розрахунок показників міри центральної тенденції (мінімальні, максимальні, середні значення, середньоквадратичне відхилення, медіана, значення, що відповідали 25-му та 75-му персентилям) та варіабельності. Для дослідження особливостей формування концентрацій забруднюючих речовин використано кореляційний та регресійний аналіз. Статистичну обробку результатів, підготовку таблиць та графіків виконували за допомогою пакетів SigmaPlot (версія 12.0; Systat Software Inc.) та «Microsoft Excel 2010».

**Результати досліджень та їх обговорення.** На основі даних натурних досліджень встановлено рівні хімічного забруднення повітря азоту діоксидом, оксидом вуглецю, сірки діоксидом, неметановими вуглеводнями, пилом НДЗС, зваженими частками  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_1$ , що обумовлені викидами автомобільного транспорту у Дарницькому та Дніпровському районах м. Києва. За результатами гігієнічної оцінки виявлено перевищення чинних вітчизняних гігієнічних нормативів оксиду вуглецю, азоту діоксиду, сірки діоксиду та неметанових вуглеводнів (табл. 2). В Україні вміст  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  і  $PM_1$  у атмосферному повітрі населених місць не нормується.

Результати натурних досліджень, мг/м<sup>3</sup>

Назва речовини	2012 р.		2014 р.		ГДК <sub>м.р.</sub> , мг/м <sup>3</sup>
	Концентрація мін. – макс. М ± m	Медіана	Концентрація мін. – макс. М ± m	Медіана	
Азоту діоксид	<u>0,043 – 0,137</u> 0,124 ± 0,004	0,122	<u>0,0038 – 0,576</u> 0,107 ± 0,0042	0,076	0,200
Вуглецю оксид	<u>0,120 – 8,580</u> 0,930 ± 0,050	0,850	<u>0,034 – 6,093</u> 0,907 ± 0,0435	0,615	5,000
Сірки діоксид	-	-	<u>0,0003 – 1,460</u> 0,044 ± 0,008	0,040	0,500
Неметанові вуглеводні	-	-	<u>0,0029 – 2,810</u> 0,375 ± 0,0213	0,255	1,000 <sup>1</sup>
Пил НДЗС	<u>0,025 – 0,141</u> 0,077 ± 0,009	0,075	<u>0,001 – 0,989</u> 0,063 ± 0,0002	0,057	0,500
PM <sub>10</sub>	<u>0,012 – 0,071</u> 0,033 ± 0,002	0,030	<u>0,0224 – 0,405</u> 0,051 ± 0,0008	0,041	-
PM <sub>2,5</sub>	<u>0,006 – 0,042</u> 0,018 ± 0,002	0,017	<u>0,010 – 0,072</u> 0,0256 ± 0,0003	0,025	-
PM <sub>1</sub>	<u>0,005 – 0,039</u> 0,016 ± 0,002	0,016	<u>0,009 – 0,061</u> 0,0223 ± 0,0002	0,019	-

Примітка. Використано ГДК<sub>м.р.</sub> насичених вуглеводнів C<sub>12</sub>-C<sub>19</sub> (код МОЗ 2754).

На основі аналізу даних натурних вимірювань, а також інформації щодо інтенсивності та структури транспортних потоків, фізико-географічних та метеорологічних параметрів території дослідження, шляхом застосування методів геопросторового та кореляційного аналізів вивчено особливості формування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту у сельбищних зонах міст і визначено фактори, що мають визначальний вплив на просторове поширення забруднення в умовах міської забудови. Виявлено достовірний кореляційний зв'язок між концентраціями азоту діоксиду, оксиду вуглецю, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1</sub> та параметрами, що описували величину та структуру транспортного потоку, характеристики доріг, категорії землекористування, відносний індекс рослинності та метеорологічні параметри (відносна вологість, %; швидкість вітру, м/с). Ті параметри, для яких отримали достовірні значимі коефіцієнти парної коефіцієнти (за Пірсоном, p<0,05 і p<0,005) були включені до регресійного аналізу, результатом якого стали моделі прогнозування концентрацій азоту діоксиду, оксиду вуглецю та PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>1</sub> (табл. 3). Отримані моделі відзначалися високим ступенем достовірності, про що свідчать хороша узгодженість з даними власних натурних досліджень та відповідні скореговані коефіцієнти детермінації (R<sup>2</sup>=0,77 для CO, R<sup>2</sup>=0,90 для NO<sub>2</sub>, R<sup>2</sup>=0,59 для PM<sub>10</sub>, R<sup>2</sup>=0,79 для PM<sub>2,5</sub> і R<sup>2</sup>=0,81 для PM<sub>1</sub>; p<0,001).

Коефіцієнти детермінації кореспондували з даними інших європейських досліджень і свідчили про хороші прогностичні можливості отриманих моделей [Jerret M. et al., 2007; Briggs D. J., 2007; Антропов К. М. и др., 2013]. На підставі

отриманих результатів запропоновано спосіб прогнозування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту, який викладено у відповідному патенті на корисну модель (№ 96939-2015).

Таблиця 3

**Рівняння лінійної регресійної залежності та відповідні скориговані коефіцієнти детермінації ( $R^2$ )**

Забруднююча речовина	Рівняння лінійної регресійної моделі (LUR)	$R^2$
Азоту діоксид	$LUR(NO_2) = 0,16 + 8,49 \times 10^{-8} \times \text{TRAFLOAD}^1 - 2,70 \times 10^{-5} \times \text{DIST\_TROAD}^2 + 3,00 \times 10^{-5} \times \text{ROAD\_LENGTH}100^3 - 1,20 \times 10^{-7} \times \text{RESID}300^4 - 1,34 \times 10^{-8} \times \text{PARK}3000^5$	0,90
Оксид вуглецю	$LUR(CO) = -0,47 + 2,60 \times 10^{-5} \times \text{TRAFLOAD\_L}^6 - 3,08 \times 10^{-3} \times \text{RH}^7 + 7,54 \times 10^{-3} \times \text{ROAD\_LENGTH}50^8 - 1,55 \times \text{NDVI}100^9$	0,77
PM <sub>10</sub>	$LUR(PM_{10}) = 24,19 + 9,54 \times 10^{-4} \times \text{TRAFLOAD}^1 - 1,29 \times 10^{-2} \times \text{DIST\_SROAD}^{10} + 8,57 \times 10^{-3} \times \text{ROAD\_LENGTH}300^{11} + 4,15 \times \text{WIND}^{12}$	0,59
PM <sub>2,5</sub>	$LUR(PM_{2,5}) = -1,38 + 3,47 \times 10^{-3} \times \text{TRAFLOAD}^1 - 1,49 \times 10^{-3} \times \text{DIST\_TROAD}^2 + 4,65 \times 10^{-4} \times \text{ROAD\_LENGTH}1000^{13} - 1,89 \times 10^{-6} \times \text{PARK}1000^{14}$	0,79
PM <sub>1</sub>	$LUR(PM_1) = -1,50 + 3,42 \times 10^{-3} \times \text{TRAFLOAD}^1 - 7,36 \times 10^{-4} \times \text{DIST\_SROAD}^{10} + 3,73 \times 10^{-4} \times \text{ROAD\_LENGTH}1000^{13} - 2,68 \times 10^{-6} \times \text{PARK}1000^{14}$	0,81

Примітки:

1. TRAFLOAD – загальна кількість транспортних засобів, од/год;
2. DIST\_TROAD – відстань до найближчої дороги місцевого значення, м;
3. ROAD\_LENGTH100 – довжина доріг (м) у буферній зоні радіусом 100 м;
4. RESID300 – площа житлової забудови (м<sup>2</sup>) у буферній зоні радіусом 300 м;
5. PARK3000 – площа парків та лісів (м<sup>2</sup>) у буферній зоні радіусом 3000 м;
6. TRAFLOAD\_L – кількість легкових автомобілів, од/год;
7. RH – відносна вологість повітря, %;
8. ROAD\_LENGTH50 довжина доріг (м) у буферній зоні радіусом 50 м;
9. NDVI100 – відносний індекс рослинності у буферній зоні радіусом 100 м;
10. DIST\_SROAD – відстань до найближчої автодороги магістрального значення, м;
11. ROAD\_LENGTH300 – довжина доріг (м) у буферній зоні радіусом 300 м;
12. WIND – швидкість вітру, м/с;
13. ROAD\_LENGTH1000 – довжина доріг (м) у буферній зоні радіусом 1000 м;
14. PARK1000 – площа парків та лісів (м<sup>2</sup>) у буферній зоні радіусом 1000 м.

Для обґрунтування можливостей використання моделей розсіювання забруднення в приземному шарі атмосферного повітря виконано валідацію моделі ISC-AERMOD View v. 9.3. та встановлено високий ступінь узгодженості між змодельованими концентраціями забруднюючих речовин та даними вимірювань на рівні усередненої 1-годинної концентрації (рис. 1).

З метою оцінки експозиції населення викидами автомобільного транспорту на території Дарницького та Дніпровського районів м. Києва, за допомогою ISC-AERMOD View v.9.3, розраховано усереднені 1-, 24-годинні та річні концентрації азоту діоксиду, оксиду вуглецю, сірки діоксиду, неметанових вуглеводнів, формальдегіду і PM<sub>10</sub> та підготовлено відповідні карти забруднення. Встановлено, що зони підвищених концентрацій для кожної із забруднюючих речовин формувалися на територіях безпосередньо прилеглих до автодоріг із зменшенням концентрацій по мірі віддалення від джерела впливу.

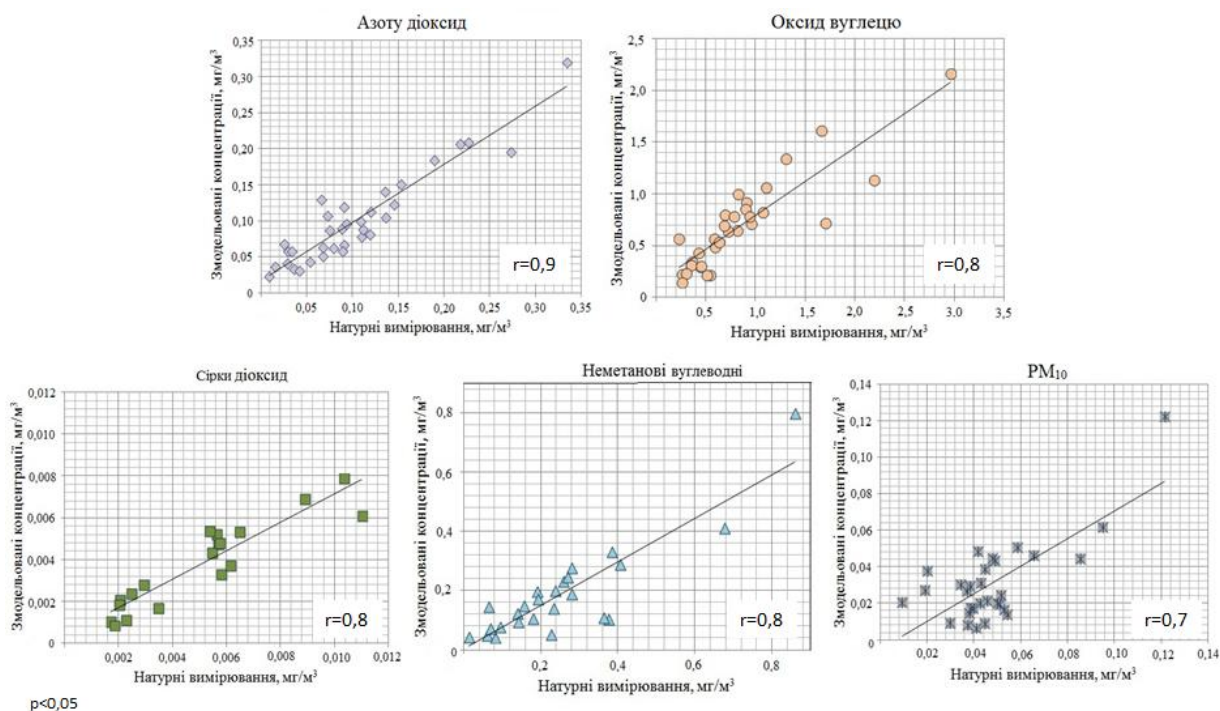


Рис.1. Порівняння змодельованих концентрацій (ISC-AERMOD View v.9.3) з даними натурних вимірювань

Для аналізу глибини проникнення забруднення по мірі віддалення від автодороги було оцінено просторове поширення концентрацій азоту діоксиду та оксиду вуглецю по відношенню до автодоріг з середньою інтенсивністю транспортних потоків (від 2000 до 4000 од/год) (рис. 2).

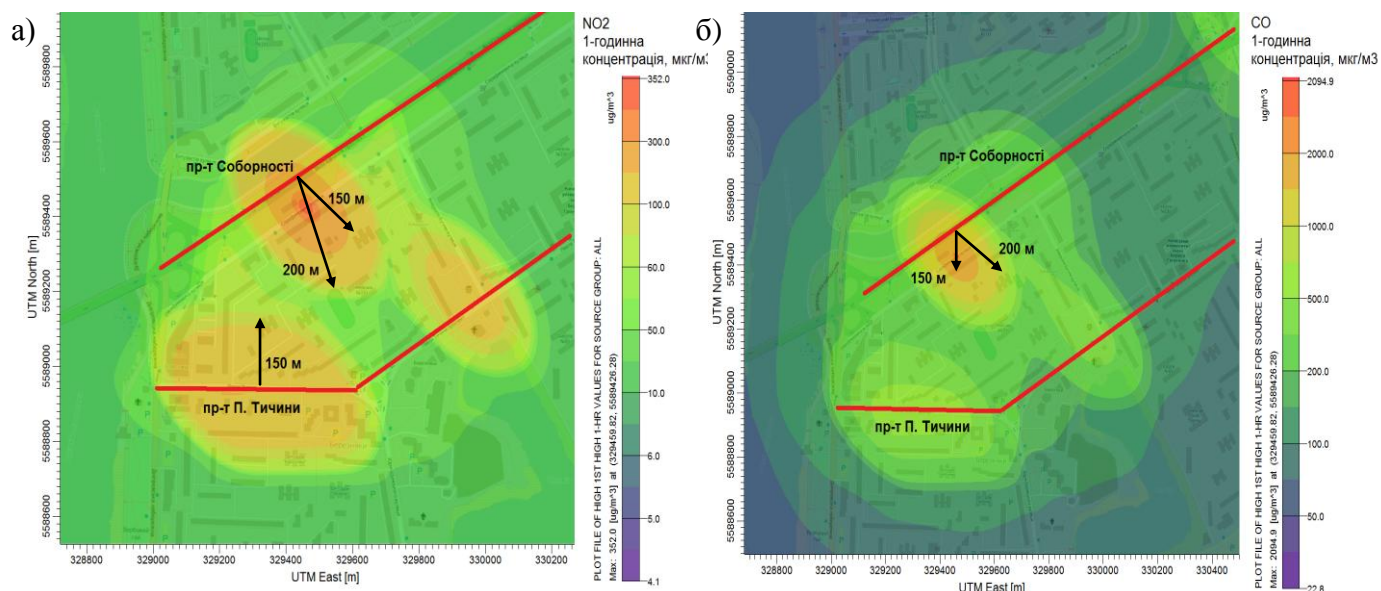


Рис. 2. Просторове поширення усереднених 1-годинних концентрацій азоту діоксиду (а) і оксиду вуглецю (б)

Встановлено зниження усереднених 1-, 24-годинних концентрацій азоту діоксиду до фонових рівнів на відстані 450 – 500 м від досліджуваної автодороги, а для усереднених річних значень - починаючи з 200 м; різке зниження усереднених 1- та 24-годинних концентрацій оксиду вуглецю на відстані 200 м від проїзної

частини, а для усереднених річних концентрації - на відстані 300 м. Водночас, перевищення ГДК<sub>м.р.</sub> для азоту діоксиду було відмічено у радіусі до 200 м від автодороги з інтенсивністю руху 4000 од/год. Отримані результати корелюють з результатами інших авторів [Zhu Y. F. et al., 2006; Durant L. J. et al., 2010] та є вагомими при визначенні безпечних відстаней від автодоріг, що особливо актуально у світлі поточного перегляду вітчизняного санітарного та містобудівного законодавства.

За результатами оцінки експозиції населення забрудненням, що формується викидами автомобільного транспорту, встановлено перевищення ГДК<sub>м.р.</sub> для азоту діоксиду (у 1,76 рази). За умови хронічного впливу виявлено перевищення вітчизняних (ГДК<sub>с.д.</sub>) та міжнародних (RfC) критеріїв якості повітря для азоту діоксиду, неметанових вуглеводнів, формальдегіду та РМ<sub>10</sub> (табл. 4).

Таблиця 4

### Результати оцінки експозиції (хронічний вплив)

Речовина	Усереднені концентрації, мг/м <sup>3</sup> мін. - макс. M ± m		Критерії оцінки якості повітря (мг/м <sup>3</sup> )	
	24 години	Рік	ГДК <sub>с.д.</sub>	RfC <sub>chronic</sub>
Азоту діоксид	<u>0,002 – 0,223</u> 0,013 ± 0,001	<u>0,001 – 0,082</u> 0,004 ± 0,0002	0,040	0,04
Оксид вуглецю	<u>0,014 – 1,312</u> 0,074 ± 0,003	<u>0,003 – 0,495</u> 0,022 ± 0,001	3,000	3,000
Сірки діоксид	<u>0,00004 – 0,0080</u> 0,00043 ± 0,00006	<u>0,00001 – 0,0028</u> 0,00014 ± 0,000007	0,050	0,050
Неметанові вуглеводні	<u>0,005 – 0,627</u> 0,026 ± 0,003	<u>0,001 – 0,225</u> 0,008 ± 0,0004	-	0,071
Формальдегід	<u>0,00008 – 0,004</u> 0,00040 ± 0,00001	<u>0,00002 – 0,0015</u> 0,0001 ± 0,000005	0,003	0,003
РМ <sub>10</sub>	<u>0,0005 – 0,0680</u> 0,0030 ± 0,0001	<u>0,0001 – 0,0254</u> 0,0008 ± 0,00004	-	0,020 <sup>1</sup>

Примітка. Відповідно до рекомендацій ВООЗ.

На основі отриманих експозиційних навантажень виконано оцінку ризику для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту в сельбищних зонах Дарницького та Дніпровського районів м. Києва (табл. 5). Виявлено перевищення допустимого рівня коефіцієнту небезпеки за умов гострого впливу для зважених часток РМ<sub>10</sub> (NQ<sub>acute</sub>=1,10 – 1,36), а при хронічному впливі (NQ<sub>chronic</sub>) – для неметанових вуглеводнів (1,01 – 3,18), азоту діоксиду (1,10 – 2,07) і РМ<sub>10</sub> (1,07 – 1,27). Значення сумарного неканцерогенного ризику за умови хронічного впливу знаходилися у діапазоні HI=0,04 – 5,43, що свідчить про формування зон підвищеного ризику в межах території дослідження у першу чергу за рахунок викидів азоту діоксиду, неметанових вуглеводнів та зважених часток РМ<sub>10</sub>.



**Коефіцієнти небезпеки та сумарний неканцерогенний ризик для здоров'я від викидів автотранспорту**

Забруднююча речовина	Гострий вплив (HQ <sub>acute</sub> ), <u>мін – макс</u> M ± m	Медіана	Хронічний вплив (HQ <sub>chronic</sub> ), <u>мін – макс</u> M ± m	Медіана
Азоту діоксид	<u>0,0050 – 0,4740</u> 0,0280 ± 0,0010	0,019	<u>0,0126 – 2,0700</u> 0,0980 ± 0,0048	0,0606
Вуглецю оксид	<u>0,0006 – 0,0577</u> 0,0032 ± 0,0001	0,002	<u>0,0009 – 0,1650</u> 0,0072 ± 0,0003	0,0043
Сірки діоксид	<u>0,0003 – 0,0616</u> 0,0035 ± 0,0002	0,0021	<u>0,0003 – 0,0559</u> 0,0028 ± 0,0001	0,0016
Неметанові вуглеводні	-	-	<u>0,0158 – 3,1750</u> 0,1090 ± 0,0063	0,0617
Формальдегід	<u>0,0016 – 0,0868</u> 0,0084 ± 0,0003	0,0053	<u>0,0054 – 0,4910</u> 0,0390 ± 0,0017	0,0225
PM <sub>10</sub>	<u>0,0109 – 1,3600</u> 0,0580 ± 0,0026	0,0381	<u>0,0055 – 1,2700</u> 0,0424 ± 0,0023	0,0256
Сумарний неканцерогенний ризик (HI)	-	-	<u>0,0404 – 5,4300</u> 0,2980 ± 0,0139	0,1780

За результатами проведених досліджень показано, що для оцінки впливу пересувних джерел викидів необхідно враховувати специфіку автомобільного транспорту як джерела викидів та особливості розсіювання забруднення у сельбищних зонах на етапі оцінки експозиції. Запропоновано алгоритм вирішення завдання кількісної оцінки впливу та мінімізації ризиків (рис. 3).

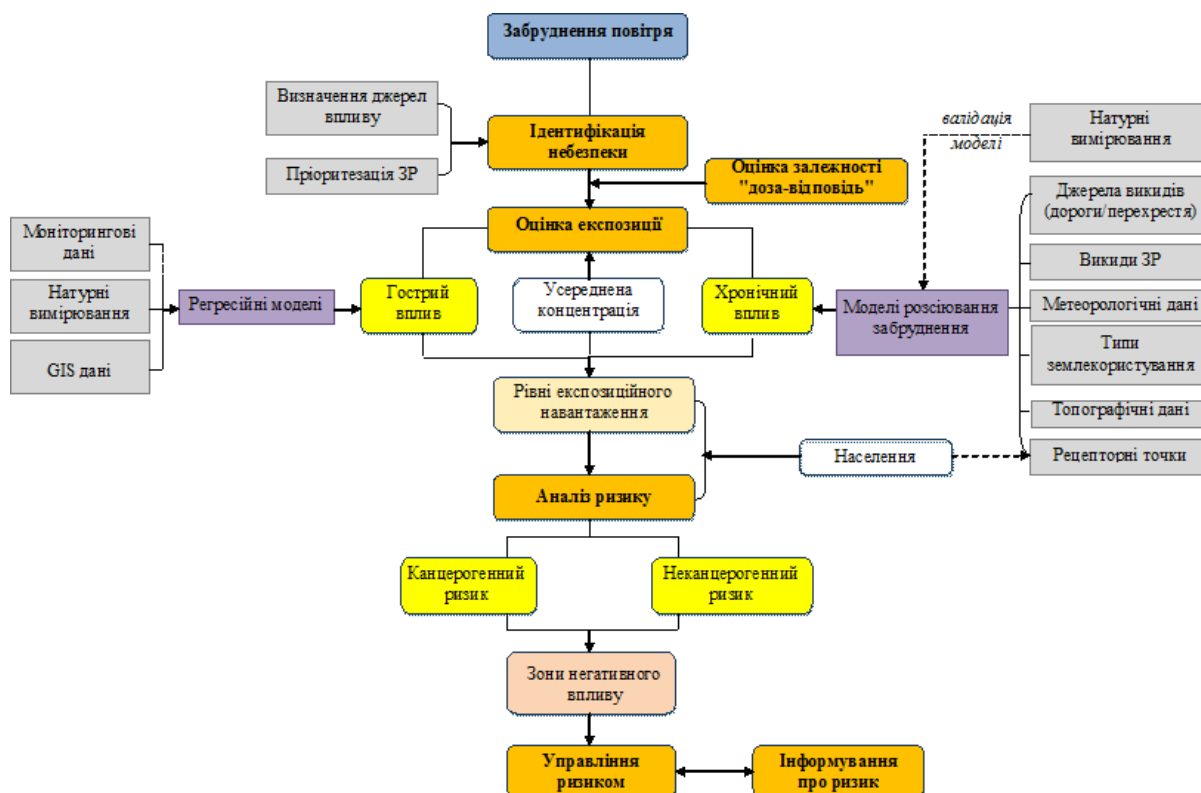


Рис. 3. Алгоритм оцінки впливу та мінімізації ризиків, обумовлених автотранспортним забрудненням атмосферного повітря



Запропонований підхід забезпечує реалізацію всіх 4-х основних етапів методології оцінки ризику, проте доповнюється розширеним етапом оцінки експозиції за рахунок застосування методів моделювання забруднення. Алгоритм дозволяє більш точно оцінити експозиційне навантаження та відповідні ризики для здоров'я з урахуванням небезпеки для гіперчутливих груп населення, які можуть бути в подальшому використані при розробці профілактичних заходів орієнтованих на захист громадського здоров'я та при прийнятті територіально-планувальних рішень містобудівного характеру.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі теоретичних, натурних та прикладних досліджень поглиблено розуміння щодо небезпеки забруднення атмосферного повітря пересувними джерелами викидів в сельбищних зонах міст та удосконалено методичні підходи щодо ймовірнісної оцінки впливу забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту на здоров'я населення.

1. Встановлено, що за даними натурних вимірювань, виконаних у межах сельбищних зон у Дарницькому та Дніпровському районах м. Києва, максимальні концентрації у приземному шарі атмосферного повітря для ряду речовин перевищували існуючі гігієнічні нормативи (ГДК<sub>м.р.</sub>): у 2012 р. оксиду вуглецю – у 1,7 рази (0,12 – 8,58 мг/м<sup>3</sup>); у 2014 р. сірки діоксиду – у 2,9 рази (0,0003 – 1,460 мг/м<sup>3</sup>), азоту діоксиду – у 2,8 рази (0,004 – 0,576 мг/м<sup>3</sup>), неметанових вуглеводнів – у 2,8 рази (0,003 – 2,810 мг/м<sup>3</sup>), оксиду вуглецю – у 1,2 рази (0,030 – 6,093 мг/м<sup>3</sup>).

2. Виявлено достовірний кореляційний зв'язок між концентраціями азоту діоксиду, оксиду вуглецю, РМ<sub>10</sub>, РМ<sub>2,5</sub> і РМ<sub>1</sub> та показниками, що описували величину та структуру транспортного потоку, характеристики доріг території дослідження, категорії землекористування, відносний індекс рослинності та метеорологічні параметри (відносна вологість, швидкість вітру).

3. Обґрунтовано доцільність застосування регресійних моделей та моделей розсіювання концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря (на прикладі ISC-AERMOD View, Lakes Environmental) для вирішення завдання кількісної оцінки експозиції населення забрудненням, обумовленим автотранспортом. Запропоновано спосіб прогнозування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту. Описано моделі прогнозування концентрацій забруднюючих речовин, на основі методу множинної лінійної регресії, які характеризувалися високим ступенем достовірності ( $p < 0,001$ ):  $R^2 = 0,90$  для NO<sub>2</sub>,  $R^2 = 0,77$  для CO,  $R^2 = 0,59$  для РМ<sub>10</sub>,  $R^2 = 0,79$  для РМ<sub>2,5</sub> і  $R^2 = 0,81$  для РМ<sub>1</sub>.

4. Розраховано усереднені 1-, 24-годинні та річні концентрації азоту діоксиду, оксиду вуглецю, сірки діоксиду, неметанових вуглеводнів, зважених часток РМ<sub>10</sub> і формальдегіду, що обумовлені викидами автомобілів. Встановлено зниження усереднених 1-, 24-годинних концентрацій азоту діоксиду до фонових рівнів на відстані 450 – 500 м від автодороги з середньою інтенсивністю руху, а для усереднених річних значень – починаючи з 200 м; різке зниження усереднених 1- та

24-годинних концентрацій оксиду вуглецю відмічено на відстані 200 м від проїзної частини, а річні концентрації сягали фонового рівня на відстані 300 м.

5. Визначено рівні неканцерогенного ризику (HQ) та побудовано відповідні карти ризиків. Виявлено перевищення допустимого рівня коефіцієнту небезпеки ( $HQ > 1$ ) за умов гострого впливу  $PM_{10}$  ( $HQ_{acute} = 1,10 - 1,36$ ); при хронічному впливі ( $HQ_{chronic}$ ) – для неметанових вуглеводнів (1,01 – 3,18), азоту діоксиду (1,10 – 2,07),  $PM_{10}$  (1,07 – 1,27).

6. Показано формування зон підвищеного аерогенного ризику ( $HI_{max} = 5,43$ ), обумовлених пріоритетним забрудненням повітря азоту діоксидом, неметановими вуглеводнями та  $PM_{10}$ , що свідчить про ймовірність зростання патологічних станів органів дихання у 1,5 – 5,4 рази.

7. Доведено, що для оцінки впливу пересувних джерел забруднення необхідно враховувати специфіку автомобільного транспорту як джерела викидів та особливості розсіювання забруднення у сельбищних зонах на етапі оцінки експозиції. Запропоновано відповідний алгоритм вирішення завдання кількісної оцінки впливу та мінімізації ризиків, що ґрунтується на методології оцінки ризику, і доповнюється розширеним етапом оцінки експозиції за рахунок застосування методів моделювання забруднення.

## **СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **у наукових фахових виданнях України:**

1. Турос О. І. Вдосконалення територіального самоуправління за допомогою аналізу ризику (на прикладі Солом'янського району м. Києва) / О. І. Турос, О. М. Картавцев, А. А. Петросян, О. В. Вознюк, Я. П. Маркевич, Г. М. Давиденко // Гігієна населених місць: зб. наук. праць. – К., 2008. – Вип. 52. – С. 38 – 45. *(Збір і обробка матеріалу щодо автотранспортного забруднення повітря, статистична обробка результатів, участь у написанні і оформленні статті).*

2. Картавцев О. М. Оцінка забруднення атмосферного повітря у контексті законодавства України, що регламентує прийнятний ризик / О. М. Картавцев, О. І. Турос, О. В. Вознюк // Довкілля та здоров'я. – К., 2009. – № 4 (51). – С. 33 – 36. *(Аналіз наукової літератури, збір і обробка матеріалу, узагальнення результатів, участь у написанні та оформленні статті).*

3. Турос О. І. Вдосконалення підходів до кількісної оцінки забруднення атмосферного повітря викидами автомобільних транспортних засобів / О. І. Турос, О. В. Ананьєва, А. А. Петросян // Гігієна населених місць: зб. наук. статей. – 2014. – С. 22 – 31. *(Збір і обробка матеріалу, виконання експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів, написання та оформлення статті).*

4. Турос О. І. Оцінка експозиції забрудненим повітрям у салоні пасажирських транспортних засобів / О. І. Турос, О. В. Ананьєва, А. А. Петросян // Актуальні проблеми транспортної медицини : навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія. – № 4. – Т. 2 (42-2). – 2015. – С. 25 – 31. *(Виконання натурних досліджень, збір і обробка матеріалу, аналіз та узагальнення результатів, написання і оформлення статті).*

**у наукових фахових виданнях інших держав та наукометричних виданнях України:**

5. Voznyuk O. Case study of human health risk assessment due to the transport related air pollution in Ukraine / O.Voznyuk, O.Turoc, O.Kartavtsev, A. Petrosian, Ya. Markevych and O. Gavrikova / WHO Newsletter. – Bonn, 2009. – No. 44. – P. 4 – 9. *(Збір та обробка матеріалу, виконання експериментальних досліджень, аналіз та узагальнення результатів, написання і оформлення статті).*

6. Турос Е. И. Исследование влияния выбросов автомобильного транспорта на здоровье населения на основании показателей риска (пример Соломенского района г. Киева) / Е. И. Турос, О. В. Ананьева, А. А. Петросян // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. трудов. – Минск: РНМБ, 2013. – Вип. 22. – С. 112 – 117. *(Збір і обробка матеріалу, виконання розрахунків забруднення повітря викидами автотранспорту, аналіз та узагальнення результатів, написання і оформлення статті).*

7. Ананьева О. В. Изучение закономерностей формирования загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта / О. В. Ананьева, А. А. Петросян // Здоровье и окружающая среда: сб. науч. трудов. – Минск: РНМБ, 2014. – Том 1 – Вип. 24. – С. 49 – 55. *(Виконання натурних і експериментальних досліджень, збір, обробка матеріалу, аналіз та узагальнення результатів, написання і оформлення статті).*

**в інших наукових виданнях:**

8. Убезпечення населення у критичних випадках хімічного забруднення атмосферного повітря / А. М. Сердюк, О. І. Турос, І. М. Ковтуненко, А. А. Петросян, О. М. Картавцев, О. В. Вознюк, Л. Ю. Гула, Я. П. Маркевич, Л. М. Черненко, В. В. Бичков // Наукові засади міжгалузевої комплексної програми «Здоров'я нації»: зб. наук. пр. : вип. 2. – К. : Фірма «Деркул», КЖД «Софія», 2009. – С. 338 – 350.

9. Турос О. І. Оцінка ризику для здоров'я населення як інструмент управління якістю повітря / О. І. Турос, А. А. Петросян, О. В. Ананьева, Т. П. Маремуха // Казантип Эко – 2013: сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции (3-7 июня 2013 г., Щелкино, АР Крым). – Том 2. – Щелкино, 2013. – С. 256 – 261.

10. Assessment of exposure to traffic-related air pollution in residential neighbourhood / O. Ananyeva, O. Turoc, A. Petrosian, L. Petruk, L. Mykhina, T. Maremukha // Environment and Health : proceedings of the ISEE, ISES and ISIAQ conference (Aug. 19-23, 2013, Basel, Switzerland). – Abstract's number: 4521

11. Дослідження забруднення повітря автомобільними викидами у Дарницькому районі м. Київ / О. В. Ананьева, А. А. Петросян, Л. В. Петрук, Т. П. Маремуха // Журнал Національної академії медичних наук України : матеріали конф. молодих вчених, присвяченої 20-річчю НАМНУ (5 березня 2013, Київ). – Т. 19, додаток 2013. – К. : НАМН України, 2013. – С. 16 – 17.

12. Турос О. І. Використання оцінки ризику для здоров'я населення в системі управління якістю повітря / О. І. Турос, А. А. Петросян, О. В. Ананьева, І. В. Кобзаренко // 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. – К.: Державна СЕС України, ДУ «ІГМЕ НАМНУ», ДП «Науково-практичний центр дезінфектології та профілактичної медицини держсанепідемслужби України», 2014. – С. 15 – 20.

13. Турос О. І. Вдосконалення гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту / О. І. Турос, О. В. Ананьєва, А. А. Петросян, Л. І. Михіна, Т. П. Маремуха, Д. С. Сухачов, І. В. Ліхобицький, І. В. Кобзаренко, Н. В. Брезіцька, К. Г. Парсаданян, В. В. Моргульова // Актуальні питання захисту довкілля та здоров'я населення України: результати наукових розробок 2014 р. – К., 2015. – С. 240 – 276.

14. Exposure assessment to traffic-related air pollution by land use regression in Kyiv, Ukraine / O. Ananyeva, O. Turos, A. Petrosian, L. Mykhina, T. Maremukha // Exposure science integration to protect ecological systems human wellbeing and occupational health (Oct. 12-16, 2014, Cincinnati, Ohio.) : abstract book of ISES 24<sup>th</sup> annual meeting. – P. 108 – 109.

15. Дослідження варіабельності забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту в сельбищних зонах міст / О. І. Турос, О. В. Ананьєва, А. А. Петросян, Т. П. Маремуха // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (десяті марзєєвські читання): збірка тез доповід. наук.-практ. конф. (9-10 жовтня 2014 р., м. Київ). – Вип. 14. – К., 2014. – С. 80 – 82.

16. A comparative analysis of modeled and measured traffic-related air pollution levels / O. Turos, O. Ananyeva, A. Petrosian, L. Mykhina, D. Sukhachov // Exposure in an Evolving Environment (Oct. 18-22, 2015, Henderson, NV, USA) : abstract book of ISES 25<sup>th</sup> annual meeting. – P. 139 – 140.

17. Assessment of health risks formed by traffic-related air pollution in Kyiv, Ukraine / O. Ananyeva, O. Turos, A. Petrosian // Proceedings of the 28<sup>th</sup> annual Conference of the ISEE (Sept. 1-4, 2016, Rome, Italy). – Mode of access : <http://ehp.niehs.nih.gov/isee/2016-p1-335-4277/>

18. Modeling exposure to traffic-related air pollutants for the residential human health risk assessment study in Kyiv, Ukraine / O. Ananyeva, O. Turos, A. Petrosian // Interdisciplinary Approaches for Health and the Environment (Oct. 9-13, 2016 Utrecht, the Netherlands) : proceedings of ISES 26<sup>th</sup> annual meeting. – P. 832.

## АНОТАЦІЯ

***Ананьєва О. В. Вдосконалення гігієнічної оцінки забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту. – Рукопис.***

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 14.02.01 – «гігієна та професійна патологія» – ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О. М. Марзєєва НАМН України», Київ, 2017.

Дисертація присвячена удосконаленню методів ймовірнісної оцінки впливу забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту на здоров'я населення у сельбищних зонах міст.

У результаті проведених досліджень доведено, що автомобільний транспорт як джерело забруднення атмосферного повітря характеризується своєю окремою специфікою і відзначається високою варіабельністю концентрацій хімічних

речовин. Описано особливості формування забруднення атмосферного повітря викидами автомобільного транспорту у сельбищних зонах міст. Обґрунтовано доцільність застосування регресійних моделей і моделей розсіювання концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря для вирішення завдання кількісної оцінки експозиції населення автотранспортним забрудненням, а також запропоновано спосіб прогнозування забруднення. Оцінено експозицію та відповідні ризики для здоров'я населення від хімічного забруднення атмосферного повітря автотранспортними викидами. Запропоновано алгоритм вирішення завдання кількісної оцінки впливу та мінімізації ризиків для здоров'я населення, обумовлених викидами автомобільного транспорту.

**Ключові слова:** атмосферне повітря, хімічні речовини, автомобільний транспорт, моделювання забруднення, оцінка ризику для здоров'я населення.

### АННОТАЦІЯ

*Ананьева О. В. Усовершенствование гигиенической оценки загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта. – Рукопись.*

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 14.02.01 – гигиена и профессиональная патология (биологические науки) – Государственное учреждение «Институт общественного здоровья им. А. Н. Марзеева НАМН Украины», г. Киев, 2017.

Диссертация посвящена совершенствованию методов вероятностной оценки влияния загрязнения атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта на здоровье населения в селитебных зонах городов.

В ходе выполненных натурных исследований (2012, 2014 гг.) установлены уровни загрязнения атмосферного воздуха выбросами азота диоксида, оксида углерода, серы диоксида, неметановых углеводородов, недифференцированной по составу пыли, взвешенных частиц с аэродинамическим диаметром до 10 мкм ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ,  $PM_1$ ), обусловленные автомобильным транспортом в селитебных зонах, примыкающих к автодорогам в Дарницком и Днепровском районах г. Киева. На основании полученных данных и корреляционного анализа показаны особенности формирования загрязнения в зависимости от интенсивности и структуры транспортных потоков на ближайшей автодороге, плотности автодорог на территории исследования, категорий землепользования и степени озеленения территории, а также отдельных метеорологических параметров.

В работе обоснована целесообразность применения регрессионных моделей и моделей рассеивания концентраций загрязняющих веществ в приземном слое атмосферного воздуха для решения задачи количественной оценки экспозиции населения выбросами автомобильного транспорта. Предложен способ прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха. Описаны модели прогнозирования концентраций загрязняющих веществ на основе метода множественной линейной регрессии, которые характеризовались высокой степенью достоверности ( $p < 0,001$ ) и соответствующими коэффициентами детерминации:  $R^2 = 0,77$  для  $CO$ ,  $R^2 = 0,90$  для  $NO_2$ ,  $R^2 = 0,59$  для  $PM_{10}$ ,  $R^2 = 0,79$  для  $PM_{2,5}$  и  $R^2 = 0,81$  для  $PM_1$ .

На основании смоделированных усредненных 1-, 24-часовых и годовых концентраций азота диоксида, оксида углерода, серы диоксида, неметановых углеводородов, формальдегида и  $PM_{10}$  оценена экспозиция населения автотранспортными выбросами, а также глубина проникновения загрязнения в условиях селитебной зоны. Показано распространение загрязнения воздуха азота диоксидом на расстояния от 200 м (усредненные годовые концентрации) до 450 – 500 м (усредненные 1-, 24-часовые значения), а оксида углерода от 200 м (усредненные 1- и 24-часовые концентрации) до 300 м (усредненные годовые значения). Рассчитано неканцерогенные риски (острое и хроническое воздействие) для здоровья экспонированного населения. Оценено суммарный неканцерогенный риск ( $HI_{max}=5,43$ ), обусловленный в основном выбросами азота диоксида, неметановых углеводородов и  $PM_{10}$ , что свидетельствует о соответствующей вероятности возрастания заболеваемости органов дыхания.

Обоснован и предложен алгоритм решения задания количественной оценки влияния и минимизации рисков для здоровья населения от автотранспортного загрязнения воздуха, который основан на методологии оценки риска и дополняется расширенным этапом оценки экспозиции за счет применения методов моделирования загрязнения.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, химические вещества, автомобильный транспорт, моделирование загрязнения, оценка риска для здоровья населения.

## ABSTRACT

*Ananyeva O. V. Development of an improved approach to hygienic assessment of traffic-related air pollution. – Manuscript.*

Dissertation for the candidate of biological sciences degree in specialty 14.02.01 – hygiene and occupational pathology. – SI «O. M. Marzeyev Institute for Public Health, National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, 2017.

Dissertation is devoted to the improvement of probabilistic assessment of the impact of traffic-related air pollution on human health within residential areas of cities.

The dissertation is based on combination of analytical, experimental and calculative methods of research. The study results proved that road transport as a source of air pollution is characterized by its separate specifics and high variability of pollutants concentrations, when compared to the stationary sources of emission. An interrelationship between variations of traffic-related air pollution levels and external parameters of study area were revealed. Based on the set of validation tests, land use regression (LUR) and air pollution dispersion models proved to be accurate and effective approach for estimating human exposure formed by motor vehicles, especially when limited monitoring data is available. An air pollution prediction method for modeling traffic-related air pollution was described. Additionally, human exposure and human health risks formed by road transport air pollution were estimated. The outcomes of the research allowed to develop a sound algorithm for accurate assessment of health impacts and minimization of corresponding health risk resulting from traffic-related air pollution.

**Key words:** air pollution, polluting substances, road transport, pollution modeling, human health risk assessment.