

Волошкіна Олена, Анпілова Євгенія, Клімова Ірина

## ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВНАСЛІДОК ПІДВИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В М. КИЄВІ

### Анотація

Зростання чисельності автомобільного транспорту (як легкового, вантажного та ін.) у великих містах України обумовлює підвищений рівень забруднення атмосферного повітря, що на фоні глобальних кліматичних змін суттєво впливає на здоров'я населення. В даній статті, на прикладі м. Києва зроблено аналіз основних шляхів формування емісії забруднення від викидів автомобільного транспорту. Запропоновано математичні моделі та методики розрахунку забруднень, включаючи вторинні фотохімічні перетворення при сталих метеорологічних умовах атмосфери. Показано, що в місцях великого скупчення автомобілів (шляхопроводи, великі перехрестя), де поширені пробки та затори, або де він рухається з невеликою швидкістю, концентрація вторинного забруднення перевищує гранично допустимі референтну дозу за основними забруднювачами. Приведені розрахунки неканцерогенного ризику для здоров'я населення від концентрацій вторинного забруднення формальдегідом від автомобільного транспорту біля основних шляхопроводів, які були розраховані за отриманими максимальними місячними концентраціями. Розрахункові дані перевищення концентрацій формальдегіду знаходяться в межах 2,5 - 5,0 ГДК. Значення канцерогенного ризику для здоров'я населення від формальдегідного забруднення в літні місяці при температурі 20 – 30 °C становить 5 - 10<sup>-4</sup>. Отримані значення ризику для здоров'я населення складають середнє значення рівнів, що за умов впливу на все населення потребує необхідного динамічного контролю і поглибленого вивчення джерел і можливих наслідків шкідливих впливів на населення. В дослідженні показано зростання значень екологічного ризику в залежності від підвищення температурних умов атмосферного повітря. Зроблено висновок щодо впливу забруднення атмосферного повітря від автотранспортних викидів на випадіння кислотних опадів на території міста та області. Приведені дослідження доводять необхідність дієвих заходів щодо підвищення екологічності транспортних засобів та зменшення шкідливого впливу на здоров'я населення міста.

**Ключові слова:** забруднення атмосферного повітря, автомобільний транспорт, математична модель, викиди вуглеводнів, формальдегід.

Voloshkina Olena, Anpilova Yevheniia, Klimova Iryna

## DEFINITION OF RISK FOR THE PUBLIC HEALTH AS A CONSEQUENCE OF THE AMBIENT AIR POLLUTION INCREASE IN THE CITY OF KYIV

### Annotation

The increase in the number of road transport (such as passenger, freight, etc.) in large cities of Ukraine causes the increased level of ambient air pollution, which has a significant impact on the public health in the context of the global climate change. In this article, on the example of Kyiv, the analysis of the main ways of pollution emissions formation from road transport emissions is made. The mathematical models and methods of calculation of pollution are suggested, including secondary photochemical transformations under stable weather conditions of the atmosphere. Excess of the secondary pollution concentration over the maximum permissible reference dose for major pollutants is shown in areas of large traffic congestion (overpasses, large intersections), where traffic jams are widespread, or where it moves at low speeds. The calculations of non-carcinogenic risk to the public health from the concentrations of secondary formaldehyde contamination by road transport near the main overpasses, which were calculated by the maximum monthly concentrations obtained, are presented. Estimates of formaldehyde concentrations excess are in the range of 2.5 - 5.0 MAC. The value of carcinogenic risk to the public health from formaldehyde contamination in the summer months at a temperature of 20 - 30 °C is 5 - 10<sup>-4</sup>. The obtained values of the risk to the public health represent the average value of levels, which under the conditions of impact on the whole population requires the necessary dynamic control and in-depth study of the sources and possible consequences of the harmful effects on the population. The study shows an increase in environmental risk values, depending on the increase in ambient air temperature. The conclusion is made concerning the effect of air pollution from road transport emissions on acid precipitation in the city and region. These studies prove the need for effective measures to increase the environmental friendliness of transport and reduce the adverse impact on the health of the city population.

**Keywords:** atmospheric air pollution, road transport, mathematic model, hydrocarbon emission, formaldehyde.

### 1. Постановка проблеми

За кількістю великих міст (населення більше 1 млн. чол.) наша держава посідає одне з провідних місць серед країн світу (17 з 95), міст-мільйонерів у світі налічується близько 350 (за різними джерелами від 470 до 335), Київ серед них, за кількістю мешканців біля 2млн 900 тис чоловік, займає 67 місце. За останні 30 років частка міського населення в Україні зросла в 2,3 рази та склала близько 70% від загальної кількості населення. Попри переваги міського життя, міське середовище для людей є штучним і небезпечним. Велике місто споживає життєві ресурси, які створюються природою на величезних просторах. Місто «виробляє» чимало токсичних та шкідливих промислових відходів та побутового сміття. Усе це не в змозі асимілювати

міське та приміське природне середовище, оскільки його екологічна місткість набагато менша від антропогенних навантажень на нього. Тому забрудненість міста постійно підвищується через зростаючу токсичність промислових та побутових відходів. Найбільш значимі складові екосистеми: повітряний басейн міста, міські і приміські джерела води, ґрунти міста. Міжнародні експерти провели дослідження в 215 містах світу. Київ в міжнародному рейтингові займає 29 місце по забрудненню.

Можна представити моніторингові дані по забрудненню повітря у відсотковому відношенні вмісту найвагоміших шкідливих речовин по районах міста табл. 1

**Таблиця 1 Моніторингові дані по забрудненню повітря у відсотковому відношенні вмісту найвагоміших шкідливих речовин по районах міста**

Район	Шкідливі речовини, %							
	Пил	Формальдегід	Хлор. водень	Фенол	Двоокис азоту	Окис вуглецю	Двоокис сірки	Бензапирен
Деснянський		20	5	25	45	5		
Дніпровський	5	20	5	19	45	20		15
Дарницький	5	5	5		30	30	10	15
Оболонський		15		5	30	5		45
Подільський		15		10	30	15		30
Святошинський		15		15	25	15		30
Солом'янський	5	15		20	45	10		5
Печерський	5	10		5	25	5		55
Шевченківський	5	9			45	6		35
Голосіївський	5	25			45	5	5	15

Населення сучасних міст має підвищений ризик розвитку як канцерогенних, так і не канцерогенних ефектів. Встановлено, що тільки за рахунок дії 4-ти ідентифікованих у повітрі сполук можна очікувати зростання захворювань органів дихання, імунної системи, вроджених вад розвитку тощо табл. 2 [1].

**Таблиця 2 Критичні органи та системи людини, які в першу чергу зазнають впливу забруднюючих речовин за інгаляційного шляху надходження**

Хімічні сполуки	Критичні органи та системи
бенз/а/пірен (БП)	органи дихання, імунна система, вроджені вади розвитку
формальдегід	органи дихання, імунна система, очі
бензол	імунна система, вроджені вади розвитку, кров, ЦНС, ССС,
нітрозаміни (НДЕА, НДМА)	нирки, печінка, органи дихання,

Для оцінки небезпеки ймовірного впливу шкідливих хімічних речовин, що ідентифікуються в атмосферному повітрі великих українських міст за Міністерством енергетики та навіколишнього природного середовища були розраховані канцерогенні ризики для здоров'я населення табл. 3.

**Таблиця 3 Канцерогенний ризик забруднення атмосферного повітря міст [1]**

Канцерогенні сполуки	Міста України			
	Дніпропетровськ	Кременчук	Київ	Черкаси
бенз/а/пірен	$4,5 \times 10^{-6}$	$3,1 \times 10^{-6}$	$2,0 \times 10^{-6}$	$2,3 \times 10^{-6}$
формальдегід	$1,0 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$6,3 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$
бензол	$4,4 \times 10^{-4}$	$3,7 \times 10^{-3}$	$3,7 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-4}$
нітрозодиметиламін	$1,3 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$9,4 \times 10^{-4}$	$7,2 \times 10^{-4}$
нітрозодіетиламін	$2,7 \times 10^{-3}$	$2,1 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-3}$	$7,1 \times 10^{-4}$
<b>Сумарний ризик</b>	$4,5 \times 10^{-3}$	$7,3 \times 10^{-3}$	$3,1 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-3}$

Загалом сумарний канцерогенний ризик для здоров'я населення населених пунктів, що створюється ідентифікованими сполуками, у 2014 році досяг показників 1,8-7,3 випадків раку на 1 тис. чоловік, який обумовлює щорічний приріст екологічно пов'язаної онкологічних захворювань до 10,4 випадків на 100 тис. населення. Такий рівень ризику суттєво перевищило міжнародні прийнятні показники ризику і потребує заходів до його зниження. Але слід зазначити, що на протязі останніх років екологічний ризик для здоров'я населення продовжує зростати і це пов'язано, як зі зміною глобальних природних змін, так і антропогенним тиском на міське середовище.

Приведені дані є відносним показником небезпеки, яка буде зростати тим активніше чим більша чисельність населення зазнаватиме впливу забрудненого атмосферного повітря. Так, найбільший рівень популяційного канцерогенного ризику припадає на мешканців м. Києва, а найменший - на мешканців м. Черкаси.

Що стосується безпосередньо м. Києва, то тут одним з основних джерел забруднення атмосферного повітря є автотранспортні засоби, кількість яких з кожним роком продовжує зростати. Так, наприклад, згідно даних ЦГО ім. Б. Срезневського по м. Києву за грудень 2019 року у порівнянні з груднем 2018р. загальний рівень забруднення повітря в Києві підвищився. Зафіксовано значне зростання вмісту фенолу та підвищення вмісту діоксиду сірки. Поряд з цим відмічалось деяке зниження вмісту формальдегіду та окислів азоту; 80% забруднення атмосферного повітря складають викиди з автотранспортних засобів [2]. Загалом по місту, тільки у грудні 2019 року відмічались підвищені середньомісячні концентрації чотирьох забруднювальних речовин (другого та третього класу небезпеки): фенолу – на рівні 2,7 ГДК с.д., діоксиду азоту – 2,3 ГДК с.д., діоксиду сірки – 1,9 ГДК с.д., формальдегіду – 1,7 ГДК с.д.

Вміст діоксиду азоту за середньомісячними концентраціями перевищував рівень ГДКс.д. на всіх постах, крім ПСЗ № 5 (пр. Науки). Найбільші з них відмічені: на вулиці Каунаській – 3,8 ГДКс.д., на Бессарабській площі – 3,5 ГДК с.д., на вулиці Семена Скляренка – 3,3 ГДКс.д., на Деміївській площі та вулиці Інженера Бородіна – 3,0 ГДК с.д. На інших постах середній вміст діоксиду азоту був у межах 1,8-2,8 ГДК с.д., на проспекті Науки – 0,3 ГДК с.д. Максимальний вміст цієї домішки на рівні 1,4 ГДК м.р. зафіксовано на Бессарабській і Деміївській площах та вулиці Каунаській. Ще на п'яти постах максимальний вміст діоксиду азоту досягав 1,0 - 1,3 ГДК м.р. Найбільша кількість випадків перевищення ГДК м.р. з діоксиду азоту спостерігалась на вулиці Каунаській та Бессарабській площі – 32% і 28% відповідно; загалом по місту вона становила 6,9% (в минулому місяці – 7,6%).

Середньомісячні концентрації формальдегіду майже на всіх 13-ти постах, де проводились спостереження, перевищували рівень ГДК с.д. у 1,7-2,0 рази. Середньомісячні концентрації формальдегіду на рівні 2,0 ГДК с.д. були зафіксовані на Бессарабській та Деміївській площах, Оболонському проспекті, вулиці Скляренка.

Ця сумна статистика говорить про зростаючий вклад автомобільних засобів у забруднення атмосферного повітря в м. Києві в умовах очевидних кліматичних змін. При використанні бензинових та дизельних двигунів внутрішнього згорання утворюється велика кількість з'єднань, які, вступаючи в хімічні реакції з окремими компонентами атмосферного повітря, здатні трансформуватися з утворенням різних хімічних з'єднань, як наприклад, вторинного забруднення повітря, так і кислот.

Крім зростаючого вторинного забруднення атмосферного повітря урбоценозів, проблема формування кислотних опадів в атмосферному повітрі Землі, а від автотранспортних засобів, зокрема, є також актуальною та мало вивченою. При цьому процес утворення кислотних опадів, які спроможні досягнути земної поверхні в процесі седиментації, до даного часу мало вивчений, як теоретично, так і експериментально.

Аналіз забруднення атмосферних опадів домішками на вулицях міста та вплив цього забруднення вивчався вітчизняними та іноземними вченими. Так, в роботі [3], автори на основі експериментальних досліджень та аналізу даних моніторингових спостережень за забрудненням атмосферного повітря міста локальними осередками забруднення приходять до висновку їх взаємозв'язку з формуванням хімічного складу опадів.

В роботах авторів [4,5] на основі досліджень мікроелементного складу опадів та результатів математичного моделювання, показано вплив викидів промислових підприємств на випадіння кислотних опадів на територіях, прилеглих до потенційно небезпечних об'єктів.

Оцінка та прогнозування впливу автотранспортних засобів на стан атмосферного повітря урбоценозів з подальшим впливом на здоров'я населення потребує створення практичної та дієвої теорії щодо утворення вторинного забруднення та смогових ситуацій над автотранспортними шляхопроводами. Також потребує детального вивчення перетворення в кислоти антропогенних викидів від автотранспортних засобів міста та подальшого випадіння кислотних опадів як на території міста, так і за його межами.

## 2. Виклад основного матеріалу дослідження

Аналіз сучасного стану теоретичних та експериментальних даних процесу розповсюдження в атмосферному повітрі міста антропогенних домішок та на основі банка моніторингових спостережень за станом атмосферного повітря в м. Києві 2013-2017рр., дозволив визначити основні тенденції середнього рівня забруднення атмосферного повітря за останні 5 років, що характеризується зростанням вмісту діоксиду сірки і формальдегіду, зниженням або стабільністю більшості взаємних домішок. А також незначним, але зменшенням показника рН атмосферного повітря. Дані щодо середньомісячних показників кислотності атмосферного повітря за 2013-2017 роки та температури атмосферного повітря мають коефіцієнт лінійної кореляції  $K_{\text{корел.}} = 0,696925$ . Але по окремих роках залежності  $t^0 = F(\text{pH})$  за середньомісячними показниками дають значно нижчі коефіцієнти кореляції, що можна наочно бачити на прикладі даних 2017 року, де маємо  $K_{\text{корел.}} = 0,3627$  і це залежить від конкретних метеоумов даного року.

Навність лінійного кореляційного зв'язку, з задовільним коефіцієнтом кореляції, пояснюється шляхами перенесень та перетворень природних і антропогенних емісій в атмосферному повітрі міст. Саме ці шляхи наведено авторами в роботі [6], але вперше схематизація шляхів перетворень та перенесень природних та антропогенних емісій в залежності від метеоумов місцевості дана в роботі Howard .A.Brigman (1990) [7].

Шляхи перенесень та перетворень природних та антропогенних емісій в атмосфері складаються з зони осадження при метеоумовах нестабільних за показником турбулентності атмосфери та градієнта розподілення температури по висоті. В цій зоні працюють закони сухого осадження забруднення, які

детально описані в роботі Берлянда [8]. Емісію в зону підхмарного вимивання опадами та емісію в хмаринний покрив можна описати рівняннями турбулентного тепломасопереносу при відповідних метеоумовах. Емісії по цих шляхах зумовлюють подальше забруднення та закислення хмар, з яких, нарешті, відбувається випадіння опадів, які часто мають понижений показник рН.

Основна частина емісії вуглеводнів від викидів автомобільного транспорту над окремим джерелом (шляхопровід, перехрестя, місця великого скупчення транспорту, який рухається з невеликою швидкістю у так званих «пробках» або «тягнучках») іде по шляху емісії у відкриту сонячну атмосферу і підлягає фотохімічним перетворенням. Також в подальших дослідженнях слід розглянути серед шляхів перенесень та перетворень природних та антропогенних емісій в атмосфері випадіння опадів з закислених хмар та піднімання з перетворенням крапель. Тепловий купол забрудненого повітря над джерелом емісії формується саме в цій зоні.

Задача утворення теплового куполу над автотранспортними шляхопроводами та в місцях великого скупчення від автотранспортних засобів запропонована авторами для вирішення у вигляді конвективної моделі «теплої струмени» з поверхні автомобільного перехрестя, де автомобільний транспорт перебуває в так званих «тягнучках та заторах» [9]. Авторами на підставі рішення математичної моделі було створено калькулятор щодо оцінки та прогнозування утворення вторинного забруднення формальдегідом навколо шляхопроводів та великих перехрестів (на прикладі м. Києва). Експериментальне вивчення основних закономірностей виникнення процесів вторинного забруднення навколишнього середовища антропогенними продуктами згоряння від автотранспортних двигунів практично неможливо. Представлена авторами математична модель складається з двох блоків що описує динаміку і кінетику даного процесу. Перший блок враховує кількість забрудненого повітря в конвективному струмені над перехрестям з певною концентрацією викидів вуглеводнів, другий - ґрунтується на відомих законах хімічної кінетики.

В результаті рішення даної системи отримано спрощену формулу для попередньої оцінки концентрації формальдегіду в найвужчому перерізі конвективної струмени, що передує утворенню забрудненого купола атмосферного повітря та утворення фотохімічного смогу над шляхопроводами:

$$C\phi = \left[ \frac{An}{D(Rp + Rn + Ra)^{0.33}} \right] \exp \left( \frac{8.959 - 3784}{T} \right) \quad (1)$$

де D - умовний діаметр площ теплої поверхні, м;

Rp, Rn, Ra - відповідно розсіяна, пряма радіація на площі теплої поверхні, S =  $\pi D^2/4$ , та теплота від загальної кількості автомобільного транспорту на площі S, КДж/м<sup>2</sup>;

T - температура приземного шару атмосферного повітря в К;

A - переводний коефіцієнт, який характеризує кількість одиниць забруднення і теплоти з 1 м<sup>2</sup> теплої поверхні за одиницю часу. Для умов м. Києва він дорівнює A = 73,7 мг/ (КДж/м<sup>2</sup>) з 1 м<sup>2</sup>.

Слід зазначити, що значення коефіцієнту A було розраховано на підставі середньорічних даних моніторингових досліджень 2014-2016 рр.

На основі запропонованої моделі в середовищі Excel 2016 було отримано програмний продукт на зроблені розрахунки по основних автомобільних шляхопроводах м. Києва. Він дозволяє оперативно визначати утворення вторинного формальдегідного забруднення на автомобільних шляхах міста та в місцях великого скупчення автотранспортних засобів.

Згідно запропонованого підходу та за Методичними рекомендаціями «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря», затвердженими наказом МОНУ від 13.04.2007 № 184, авторами було розраховано оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря формальдегідом при розвитку неканцерогенних ефектів. Результати розрахунку по найбільш завантаженим автомобільним шляхопроводам міста представлені в табл 4.

Неканцерогенний ризик розраховувався як відношення розрахункової концентрації формальдегіду до його референтної дози (R=C/Rf). Згідно нормативів Rf = 0,003мг/м<sup>3</sup>.

Що стосується значень канцерогенного ризику для здоров'я населення від цієї токсичної речовини, то їх значення знаходиться в літні місяці при температурі 20-30С□ межах середнього ( біля 5· 10<sup>-4</sup> ), що характеризує рівень ризику як середній – і за умови впливу на все населення потребує динамічного контролю та поглибленого вивчення джерел та можливих наслідків для вирішення питання про заходи з управління ризиком.

Слід зазначити про суттєвий вклад температурної складової при сталих метеоумовах при утворенні вторинного формальдегідного забруднення в атмосфері в місцях великого скупчення автомобільного транспорту.

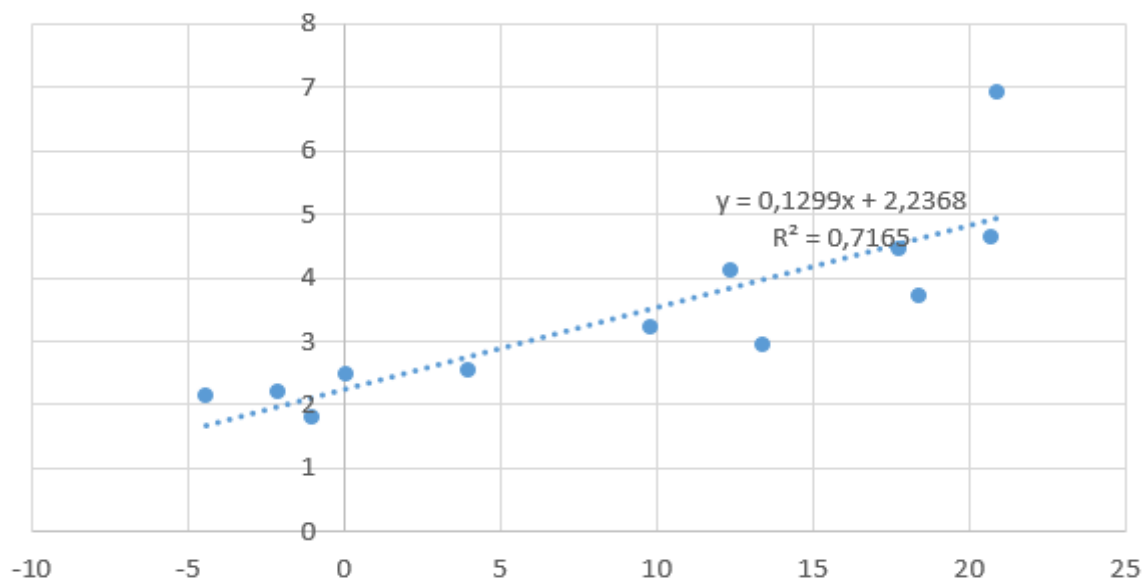
Так на Рис. 1 представлено графіки залежності екологічного неканцерогенного ризику для здоров'я населення по основним перехрестям м. Києва в залежності від температурних показників при сталих метеоумовах (умовах формування куполу забруднення повітря над тепловими плямами).

Враховуючи вищенаведене, можна зробити висновки що в умовах глобальних кліматичних змін рівень ризику для здоров'я населення від автомобільного транспорту з бензиновими та дизельними двигунами поступово зростає.

Використовуючи даний програмний інструмент, можливо отримати сумарний викид парникових газів на шляхопроводі за визначений період часу, що дозволяє оцінити вклад автомобільного транспорту при інвентаризації парникових викидів міста.

**Таблиця 4 Розрахункова концентрація ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) та ризик неканцерогенного ефекту забруднення атмосферного повітря СНОН по основних шляхопроводах м. Києва з травня по вересень**

№	Назва шляхопроводу	травень	червень	липень	серпень	вересень
1.	вул. Щусева - вул. Олени Теліги- вул. Мельникова	0,0189 6,3	0,0203 6,76	0,0233 7,76	0,0227 7,57	0,0211 7,03
2.	вул. Щербаківського - проспект Перемоги (м. Нивки)	0,0134 4,47	0,0148 4,9	0,0222 7,4	0,0181 3,6	0,017 5,67
3.	Проспект Перемоги - М. Василенко (м. Берестейська)	0,0108 3,6	0,0209 6,97	0,0252 8,4	0,013 4,33	0,0123 4,1
4.	проспект Броварський - вул. Братиславська (м. Чернігівська)	0,0113 3,78	0,0122 4,07	0,014 4,67	0,0136 4,53	0,0126 4,2
5.	проспект Перемоги (м. Святошин)	0,0079 2,63	0,0085 2,83	0,0098 3,27	0,0102 3,4	0,0089 2,97
6.	проспект Палладіна - Кільцева	0,0085 2,83	0,0091 3,03	0,0105 3,5	0,0102 3,4	0,0094 3,13
7.	проспект Перемоги - вул. Довженка - вул. Вадима Гетьмана (м. Шулявська)	0,0154 5,13	0,017 5,67	0,02533 8,44	0,0246 8,2	0,0172 5,73
8.	проспект Броварський - вул. Марини Раскової (м. Лівобережна)	0,017 5,67	0,0183 6,1	0,0211 7,03	0,0205 6,83	0,0191 6,37
9.	проспект Повітрофлотський - проспект Перемоги (Повітрофлотський міст)	0,00966 3,22	0,0103 3,43	0,0119 3,97	0,0116 3,87	0,0107 5,67
10.	проспект Перемоги (площа Перемоги)	0,00966 3,22	0,0103 3,43	0,0119 3,97	0,0116 3,87	0,0107 5,67
11.	Борщагівка - вул. Індустріальна (Індустріальний міст)	0,0094 3,13	0,0127 4,23	0,0118 3,93	0,0115 3,83	0,01066 3,55
12.	проспект 40-річчя жовтня (Автовокзал)	0,0196 6,53	0,0247 8,23	0,024 8	0,0174 5,8	0,0146 4,87
13.	проспект Науки- Саперно-Слобідська	0,0154 5,13	0,0166 5,53	0,0191 6,37	0,0185 6,17	0,0172 5,73
14.	Кіквідзе - Саперно-Слобідська	0,09787 3,3	0,0114 3,8	0,0131 4,37	0,0127 4,13	0,01188 3,96
15.	Саперно-Слобідська - Наддніпрянське шосе (м. Видубичи)	0,0196 6,53	0,0247 8,23	0,0213 7,1	0,0174 5,8	0,0146 4,87



**Рис.1 Залежність рівня неканцерогенного ризику від температурних умов 2017 року на автотранспортному перехресті вул. Богатирська - вул. Лугова - проспект Маршала Тимошенка**

Як зазначалося вище, також актуальною науково-практичною задачею, що має суттєве значення для стратегічних планів міста, є розробка математичних моделей та методів вирішення задач прогнозу умов та характеристик процесу утворення кислих опадів з врахуванням навантаження на автотранспортні шляхопроводи.

В роботах авторів дається оцінка взаємозв'язку між окремими компонентами забруднення атмосферного повітря, показником рН та температурними умовами [10 -13]. Питання впливу температурних умов атмосферного повітря на показник кислотності рН на основ аналізу моніторингових даних багаторічних спостережень досить детально розглянуто в роботі [11]. Дослідження даних авторів свідчать про збереження тенденції зміни показника рН в розрізі останнього десятиріччя в сторону зростання кислих опадів.

Дослідження основних закономірностей процесу конденсації та закислення хмар, формування процесів седиментації в залежності від таких факторів, як:

- початкової температури та концентрації антропогенних з'єднань, які утворюються при роботі бензинових та дизельних двигунів;
- пори року;
- розміру ядер конденсації;
- швидкості вітру.

Роблячи припущення, що емісія в зону підхмарного вимивання опадами та хмаринний покрив проходить в залежності від наявних метеоумов (швидкості вітру та відповідного пониження тиску) авторами проведені теоретичні дослідження трансформації кислото формуючих речовин в зоні випадіння опадів з закислених хмар на поверхню Землі. Процес емісії в атмосфері в зону підхмарного вимивання опадами та емісія в хмаринний покрив здійснюється внаслідок безпосередньої взаємодії цих речовин з повітрям. Це дозволяє використовувати коефіцієнти бінарної дифузії для суміші «повітря-забруднююча речовина».

При розробці математичної моделі слід враховувати наступні допущення:

1. Перенос газоподібних продуктів згоряння від газових двигунів в атмосфері, які підіймаються на висоту  $H$ , м внаслідок емісії в зону підхмарного вимивання та емісії в хмаринний покрив;
2. Зміна хімічного складу повітря при піднятті «теплого куполу» повітря вгору і в результаті - вторинне забруднення атмосфери;
3. Характер залежностей між компонентами забруднення, які не приймають участь у створенні вторинного формальдегідного забруднення в зонах підхмарного вимивання та емісії в хмаринний покрив залишаються незмінними.

Постановка задачі формування кислих опадів в атмосферному повітрі, яке прилягає до шляхопроводу повинна формулюватися математичною моделлю, яка враховує емісію забруднень в зону підхмарного вимивання (двомірне рівняння масопереносу) та кінетику процесу конденсації. При цьому слід зазначити, що для отримання концентрацій оксидів азоту та сірки в верхній частині куполу теплового забруднення в якості граничних умов, робимо припущення про незмінний характер залежностей між їх концентрацією в атмосферному повітрі приземного шару та концентрацією молекул формальдегіду. Ці значення можуть бути отримані експериментальним шляхом, або взяті осереднені дані моніторингових спостережень на даному автомобільному шляхопроводі.

Рішення даної задачі дозволить отримати осереднений вплив на здоров'я населення від випадіння кислотних опадів великих транспортних міст.

## Висновки

Як показали дослідження авторів статті та аналіз літературних даних, одним з основних впливових метеофакторів на стан забруднення атмосферного повітря є температура навколишнього середовища. Розрахунки екологічного ризику для здоров'я населення згідно діючим нормативним документам дають значення поступового зростання, як канцерогенних, так і неканцерогенних значень. Це підвищення обумовлено зростаючим забрудненням викидами автомобільного транспорту міста, що провокує появу смогових ситуацій над автомобільними шляхопроводами від вторинного забруднення атмосфери внаслідок фотохімічних перетворень та закислення хмар з подальшим випадінням кислих опадів.

Для подолання цієї негативної тенденції в подальшому виникла необхідність у підвищенні моніторингової системи спостережень в районах автомобільних шляхопроводів, екологічності транспортних засобів та прийняття ряду управлінських рішень щодо підвищення управління трафіку руху та нормативно-правових актів.

## Список використаних джерел та літератури

- [1] Про стан забруднення навколишнього природного середовища у Києві та Київській області у грудні 2019 року за даними спостережень ЦГО ім. Б. Срезневського. <http://cgo-sreznevsky.kiev.ua>
- [2] Інформація про стан забруднення навколишнього природного середовища у м. Києві і Київській області за даними спостережень ЦГО ім. Бориса Срезневського [http://cgo-sreznevsky.kiev.ua/index.php?fn=k\\_zabrud&f=kyiv](http://cgo-sreznevsky.kiev.ua/index.php?fn=k_zabrud&f=kyiv)
- [3] Аналіз забруднення атмосферних опадів домішками на вулицях міста/ Г.М. Гецерун, Ю.Г. Масікевич, Р. А. Гольонко // Науковий вісник НЛТУ України, 2019, т.19, №1. – 66-69с.

- [4] Mirzaei, S., Hashemi, H., & Hoseini, M. (2018). Concentration and potential source identification of trace elements in wet atmospheric precipitation of Shiras, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 16, 229-237. <https://doi.org/10.1007/s40201-018-0310-x>
- [5] Гвоздяков Д. В. О влиянии конвекции на формирование капель серной кислоты в атмосфере, прилегающей к району расположения тепловой электрической станции / Д. В. Гвоздяков, В. Е. Губин // *Известия ТПУ*. 2013. – Т. 323 – №4. – С. 52–58.
- [6] Трофімович В. В., Волошкіна О. С., Фандікова М. М., Клімова І. В., Журавська Н. Є., (2012). Моніторинг атмосферного повітря. Проблеми моделювання і прогнозування. Екологічна безпека та природокористування: Збірник наукових праць — Випуск 10. — С. 102-120.
- [7] Howard Brigman/ *Global air pollution, problems for the 1990s.*, CBS Publishers & Distributors - 1992.- P.261.
- [8] Manual on the control of atmospheric pollution / M. E. Berlyand, G. I. Sidorenko. - L.: Gidrometeoizdat, 1979.-448p.
- [9] Pollution of atmospheric air above the city highways O. Voloshkina, R. Sipakov, D. Varavin, Y. Anpilova, T. Kryvomaz, J. Bereznitska // *USEFUL online journal*, vol. 2, no. 4, pp. 09–25, December 2018. DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-2-4-2018-0002>
- [10] Klimova I., Sipakov R. Influence of meteorological factors on the secondary contamination of atmospheric air by formaldehyde (on example of city of Kyiv) / *Scientific Letters of Academic Society of Baludansky*, #7.2019.- P.75-86.
- [11] Качановский, Ф. В. Связь кислотности атмосферных осадков, выпадающих в Твери, с температурой воздуха / Ф. В. Качановский // *Вестник Тверского государственного технического университета*. Тверь: ТвГТУ. 2013. Выпуск 2(24). С. 28–31.
- [12] Korchenko, O., Pohrebennyk, V., Kreta, D., Klymenko, V., Anpilova, Y. [2019] GIS and remote sensing as important tools for assessment of environmental pollution. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Extended Abstracts, 19, (2.1), 297-304.
- [13] Trofymchuk, O., Yakovliev, Y., Klymenko, V., Anpilova, Y. [2019] Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the Earth remote sensing. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Extended Abstracts, 19, (1.4), 197-204.

## References

- [1] *Pro stan zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha u Kyievi ta Kyivskoi oblasti u hrudni 2019 roku za danymy sposterezhen TsHO im. B. Sreznjevskoho*. // <http://cgo-sreznjevsky.kiev.ua>
- [2] *Informatsiia pro stan zabrudnennia navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha u m. Kyievi i Kyivskii oblasti za danymy sposterezhen TsHO im. Borysa Sreznjevskoho* // [http://cgo-sreznjevskiy.kiev.ua/index.php?fn=k\\_zabrud&f=kyiv](http://cgo-sreznjevskiy.kiev.ua/index.php?fn=k_zabrud&f=kyiv)
- [3] *Analiz zabrudnennia atmosfernykh opadiv domishkamy na vulytsiakh mista/ H. M. Hetserun, Yu. H. Masikevych, R. A. Holonko* // *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 2019, t.19, №1. – 66-69s.
- [4] Mirzaei, S., Hashemi, H., & Hoseini, M. (2018). Concentration and potential source identification of trace elements in wet atmospheric precipitation of Shiras // *Iran. Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 16, 229-237. <https://doi.org/10.1007/s40201-018-0310-x>
- [5] Gvozdyakov D. V. O vliyanii konvekczii na formirovanie kapel sernoj kisloty v atmosfere, prilegayushhej k rajonu raspolozheniya teplovoj e'lektricheskoy stanczii / D. V. Gvozdyakov, V. E. Gubin // *Izvestiya TPU*. 2013. – Т. 323 – №4. – С. 52–58.
- [6] Trofimovych V. V., Voloshkina O. S., Fandikova M. M., Klimova I. V., Zhuravska N. Ie., (2012). *Monitorynh atmosferneho povitria. Problemy modeliuвання i prohnozuvannya*. // *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya: Zbirnyk naukovykh prats* — Vypusk 10. — S. 102-120.
- [7] *Howard Brigman/ Global air pollution, problems for the 1990s.*, CBS Publishers & Distributors - 1992.- P.261.
- [8] *Manual on the control of atmospheric pollution / M.E. Berlyand, G.I. Sidorenko*. - L.: Gidrometeoizdat, 1979.-448p.
- [9] Pollution of atmospheric air above the city highways O. Voloshkina, R. Sipakov, D. Varavin, Y. Anpilova, T. Kryvomaz, J. Bereznitska // *USEFUL online journal*, vol. 2, no. 4, pp. 09–25, December 2018. DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-2-4-2018-0002>
- [10] Klimova I., Sipakov R. Influence of meteorological factors on the secondary contamination of atmospheric air by formaldehyde (on example of city of Kyiv) / *Scientific Letters of Academic Society of Baludansky*, #7.2019.- P.75-86.
- [11] *Kachanovskij, F. V. Svyaz kislotnosti atmosfernykh osadkov, vy padayushhikh v Tveri, s temperaturoj vozdukha / F. V. Kachanovskij* // *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. Tver': TvGTU. 2013. Vy`pusk 2(24). S. 28–31.
- [12] Korchenko, O., Pohrebennyk, V., Kreta, D., Klymenko, V., Anpilova, Y. [2019] GIS and remote sensing as important tools for assessment of environmental pollution. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Extended Abstracts, 19, (2.1), 297-304.

- [13] *Trofymchuk, O., Yakovliev, Y., Klymenko, V., Anpilova, Y. [2019] Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the Earth remote sensing. 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Extended Abstracts, 19, (1.4), 197-204.*

**Voloshkina Olena** - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Occupational and Environmental Protection, Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, 31, prosp. Povitroflotsky, Kyiv, Ukraine, 03037, **e-mail:** e.voloshki@gmail.com. **Where and when she graduated:** Moscow Engineering and Construction Institute, 1977. **Professional orientation or specialization:** hydraulic engineering. **The most relevant publication outputs:** 1. Voloshkina O., Sipakov R., Zhukova O., Tkachenko T. Risks of atmospheric air pollution by formaldehyde in urban areas from motor vehicles International May Conference on Strategic Management – IMCSM19. - May 24 – 26, 2019, Volume XV, Issue (1), (2019). - Bor, Serbia. – P. 302-310.2, 2. Voloshkina O. S. Konvektyvna model rozpovsyudzhennya emisiyi vykydiv na avtotransportnomu shlyaxoprovodi pry neytralnyx meteoumovax (Convective model of emissions emission on a motorway overpass in neutral meteorological conditions) / O. S. Voloshkina, V. V. Trofimovych, I. V. Klimova, R. V. Sipakov, T. M. Tkachenko // Ventylyaciya, osvittlennya ta teplogazopostachannya. – K.: KNUBA, 2018. - #27. s. 23-30. 3. Voloshkina O., Gunchenko O. Research of the use of “ecological niche” model for definition of production risk indicator. / O. Voloshkina, O., Gunchenko // Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya: zb. Nauk. Prats / M-vo osvity i nauky Ukrainy, Kyiv, nats. Un-t bud-va i arkhitekt., NAN Ukrainy, In-t telekomunikatsiy i hlobal. In form. prostoru. – K., 2018. – Vyp. 25. – S.5-11.



**Anpilova Yevheniia** – PhD (Candidate of Technical Sciences), Senior Researcher, Department of Natural Resources of the Institute of Telecommunications and Global Information Space, National Academy of Sciences of Ukraine, 13, Chokolivsky Boulevard, 03087, Kyiv, Ukraine, **e-mail:** anpilova@ukr.net. **Where and when she graduated:** Kyiv Institute of Management and Information Technology of the National Aviation University, Kyiv, 2002. **Professional orientation or specialization:** The Geographic Information Science and Technology, Cartographic modeling, Data analysis, Environmental protection. **The most relevant publication outputs:** 1. Morozova, T. V., Lukianova, V. V., Anpilova, Y. S. [2019] Conceptualization of latent ecosystem services. *Environmental safety and natural resources*, 1, (29), 54-64. 2. Monitorynh mineralno-syrovynnoi bazy Ukrainy ta ekolohichnoho stanu terytorii yii hirnychodobuvnykh rehioniv u konteksti zabezpechennia yikh staloho rozvytku / S. O. Dovhyi, O. M. Trofymchuk, M. M. Korzhniev (nauk. red.), Ye. O. Yakovliev, Ye. S. Anpilova ta in. / NAN Ukrainy, Instytut telekomunikatsii i hlobalnoho informatsiinoho prostoru. Kyiv: Nika-Tsentr, 2019, 148. 3. Trofymchuk, O., Yakovliev, Y., Klymenko, V., Anpilova, Y. [2019] Geomodeling and monitoring of pollution of waters and soils by the Earth remote sensing. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019, Extended Abstracts, 19, (1.4), 197-204.*

**Klimova Iryna** - Candidate of Technical Sciences, associate Professor, associate Professor of Department of Occupational Safety and Environment, Kyiv National University of Construction and Architecture, 31, prosp. Povitroflotskiy, Kyiv, Ukraine, 03037, **e-mail:** iklimova@i.ua. **Where and when he(he) graduated:** Kyiv National University of Construction and Architecture, 1986. **Professional orientation or specialization:** heating, gas supply and ventilation. **The most relevant publication outputs:** 1. Trofimovich V.V. Monitoring of atmospheric air. Problems of modeling and forecasting / V.V. Trofimovich, O.S. Voloshkina, M.M. Fandikova, I.V. Klimova, N.E. Zhuravska // Prob. Scientific works "Ecological safety and nature management". - K.: KNUBA, ITGIP NANU, 2012. - #10. - p.102-120. 2. Sipakov R.V. Ocinka ryzyku dlya zdorovya naseleennya vid vykydiv avtomobilnogo transportu u m. Kyievi (Risk assessment for population health from road transport emissions in Kyiv) / R.V. Sipakov, O.S. Voloshkina, Y.O. Bereznyczka, I.V. Klimova // Naukovo-texnichnyj zhurnal «Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya». - Ivano-Frankivsk, 2018. - #1(17). - s. 4-20. 3. Klimova I., Sipakov R. Influence of meteorological factors on the secondary contamination of atmospheric air by formaldehyde (on example of city of Kyiv) /Scientific Letters of Academic Society of Baludansky, #7.2019.- P.75-86.

