

БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-7-83-2>

УДК 614.71

Петросян А.А., Маремуха Т.П., Моргульова В.В.

Державна установа «Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзеєва
Національної академії медичних наук України»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОДЕЛЮВАННЯ УСЕРЕДНЕНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ПРИЗЕМНОМУ ШАРІ АТМОСФЕРИ

Анотація. На підставі проведених досліджень розраховано усереднені концентрації забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери від викидів різних груп промислових підприємств і автотранспорту, використовуючи програмний комплекс ISC-AERMOD View та додатково виконано порівняльний аналіз з максимально разовими концентраціями, що були смодельовані за допомогою програми EOL+ (законодавчо закріплена в дозвільній системі). Оцінено співвідношення усереднених концентрацій хімічних речовин між собою у загальному забрудненні атмосферного повітря промисловими підприємствами та визначено середній коефіцієнт співвідношення між середньодобовою та максимально разовою концентраціями; середньорічною та середньодобовою концентраціями. Показано неможливість використання законодавчо закріплених в Україні програмних комплексів при оцінках хронічних впливів на організм людини, що потребує внесення змін та доповнень до основних нормативно-методичних документів чинного санітарного і екологічного законодавства, які регламентують якість атмосферного повітря та потребують удосконалення з метою проведення подальших оцінок ризику для здоров'я експонованого населення.

Ключові слова: атмосферне повітря, моделювання, промислові підприємства, експозиція, усереднені концентрації, забруднюючі речовини, коефіцієнти співвідношень, оцінка ризику.

Petrosian Arina, Maremukha Tetiana, Morhulova Varvara

SI «O.M. Marzeiev Institute for Public Health of the
National Academy of Medical Science of Ukraine»

COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELING AVERAGED CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS IN THE ATMOSPHERIC SURFACE LAYER

Summary. Based on the conducted researches were calculated the average concentrations of pollutants in the atmospheric surface layer from emissions of various groups of industrial enterprises and motor transport. The study used the ISC-AERMOD View software package and additionally performed a comparative analysis with the maximum single concentrations, which were modeled using the EOL+ program (legally enshrined in the permitting system). The obtained data showed no fundamental differences in the calculated values of surface concentrations, although according to the data obtained in EOL+, there are higher figures, due to background pollution and confirmation of the most negative scenario for the spread of pollutants in the study areas, excluding estimates of the impact of meteorological, orographic and land use characteristics of the data, emphasizing the lack of variability in the scattering of concentrations at different distances in all directions. There was estimated ratio of chemicals average concentrations in the total air pollution by industrial enterprises. There has established the ranges of average ratios. The maximum single and average daily concentrations for the studied enterprises vary in the range from $4 \pm 0,08$ to $7 \pm 0,14$ (depending on the distance – $r = 0,98$, $p < 0,01$; depending on the direction – $r = 0,97$, $p < 0,01$). Maximum single and average annual concentrations vary from $12 \pm 1,73$ to $111 \pm 9,62$ (depending on the distance – $r = 0,93$, $p < 0,01$; depending on the direction – $r = 0,96$, $p < 0,01$), that contradicts Clause 8.1 of the OND-86 Methodology and indicates the influence of meteorological parameters on the scattering of chemicals in the atmospheric surface layer and the impossibility of estimating the average annual concentrations through the maximum one-time, using constant coefficients. Average daily and average annual concentrations vary from $8 \pm 0,09$ to $12 \pm 1,82$ (depending on the distance – $r = 0,97$, $p < 0,01$; depending on the direction – $r = 0,94$, $p < 0,01$). There was determined average ratio between: average daily and maximum single concentrations at the level – $0,17$ ($C_{ad} = 0,17 \cdot C_{ms}$); average annual and average daily concentrations at the level – $0,1$ ($C_{aa} = 0,1 \cdot C_{ad}$). It was shown that it is impossible to use the software packages established by law in Ukraine during assessing chronic effects on the human body. This issue requires changes and additions to the main regulatory and methodological documents of current sanitary and environmental legislation, which regulate air quality and need to be improved in order to conduct further risk assessments for the health of the exposed population.

Keywords: atmospheric air, modeling, industrial enterprises, exposition, average concentrations, pollutants, ratio coefficients, risk assessment.

Постановка проблеми. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), забруднення атмосферного повітря є одним з провідних факторів ризику, з яким пов'язано 4,2 млн. смертей в рік, що становить близько 7,6 % додаткових смертей у світі [1]. В Україні від забруднення атмосферного потерпає близько 80 % всього на-

селення, в регіонах, де стан забруднення повітря не відповідає гігієнічним нормативам [2].

Оцінка експозиції (усереднених концентрацій) хімічних речовин в атмосферному повітрі від викидів промислових підприємств та автотранспорту є одним з найважливіших етапів в системі гігієнічної оцінки якості повітря, який є складовою

частиною не тільки оцінок впливу забруднення атмосферного повітря на здоров'я населення, але й процесу управління ризику при прийнятті стратегічних програм медико-екологічного спрямування [3; 4]. Відповідно до загальноприйнятих рекомендацій ВООЗ, міжнародних агенцій з охорони довкілля та директив ЄС, оцінку вмісту усереднених концентрацій хімічних речовин в атмосферному повітрі проводять з використанням даних моніторингу та / або шляхом моделювання поширення і поведінки хімічних речовин у приземному шарі атмосферного повітря [5; 6; 7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом, ВООЗ, міжнародні агенції з охорони довкілля ЄС та США, у зв'язку з обмеженістю отриманих даних щодо просторового поширення хімічних речовин («джерело-рецептор»), недосконалістю існуючих систем моніторингу в різних країнах світу та неможливістю організації розгалужених мереж «коштовних» автоматизованих досліджень, рекомендують адаптувати та розробляти математичні моделі (дисперсійні, регресійні тощо) оцінок забруднення атмосфери за різні проміжки часу (година, доба, місяць, рік) [8]. На жаль, існуючі та законодавчо затверджені в Україні розрахункові програмні комплекси дозволяють розраховувати концентрації забруднюючих речовин в приземному шарі атмосферного повітря, лише за 20-хв період усереднення [9]. Такий підхід надає можливість оцінити лише гострий інгаляційний вплив на здоров'я населення, уникаючи хронічних оцінок, як того вимагає міжнародна спільнота (Директива ЄС 2008/50/ЄС) на відміну від аналогових моделей, рекомендованих ВООЗ та Агентством США з охорони довкілля (наприклад, AUSTAL View, ISC-AERMOD View, AEROPOL, CALPUFF тощо) [7; 10]. Науково доведено, що найбільш доцільним та обґрунтованим для вирішення задач щодо розрахунків експозиційних навантажень (усереднених концентрацій у ПША) від викидів промислових підприємств та автотранспорту є програмний комплекс AERMOD View, який використовується міжнародною спільнотою для оцінок гострого та хронічного інгаляційного впливу забруднюючих речовин на здоров'я експонованого населення, яке проживає в зонах впливу різних об'єктів народно-господарської діяльності [11; 12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На сьогодні в Україні, єдиним та законодавчо закріпленим програмним комплексом, що встановлює вимоги до розрахунків концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі під час проектування підприємств, нормуванні викидів в атмосферу реконструйованих і діючих підприємств, а також при проектуванні повітрязабірних та очисних споруд є розрахункові програмні комплекси (по типу ЕОЛ), що реалізують «Методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств». ОНД-86 (надалі – Методика). Методика призначена для визначення приземних концентрацій в двометровому шарі над поверхнею землі, вертикального розподілу концентрацій для стаціонарних джерел викидів та визначає лише максимальний рівень концентрації (разові концентрації за 20-30 хв інтервал усереднення)

найбільш несприятливих метеорологічних умов, якими є поєднання нестійкого стану атмосфери і небезпечної швидкості вітру (за одним фіксованим напрямком і швидкістю вітру) та використанням сталого безрозмірного поправочного коефіцієнту рельєфу місцевості (розділи 2,4 Методики). Таким чином, на противагу аналоговим моделям, таким як ISC-AERMOD View (включає модулі передпроцесінгу метеорологічних (AERMET), топографічних і характеристики землекористування даних (AERMAP) та PRIME), ОНД-86 використовує детерміновану модель, яка не враховує: ймовірнісний характер метеорологічних умов (стан атмосфери, напрям та швидкість вітру); місце розташування та висоту даних для кожного рецептора (топографія, землекористування); особливості типів та режимів роботи окремих джерел; швидкості витікання газу й атмосферної дифузії при нестаціонарних режимах, що суттєво впливає на визначення середнього рівня забруднення за певний період часу та розсіювання забруднюючих речовин у просторі на досліджуваних територіях. Вищесказане потребує створення програмних комплексів, додаткових модулів до Методики або визначення розрахункових коефіцієнтів співвідношень для можливості розрахунків усереднених концентрацій у приземному шарі атмосфери за різний період усереднення з метою оцінок ризику для здоров'я експонованого населення, яке проживає в зонах впливу різних об'єктів економічної системи [9; 11; 12].

Мета статті. Головною метою цієї роботи є порівняльний аналіз моделювання усереднених концентрацій забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери та оцінка їх співвідношень у загальному забрудненні атмосферного повітря.

Викладення основного матеріалу дослідження. Використовуючи програмні комплекси ISC-AERMOD View та ЕОЛ+ було проведено порівняльний аналіз максимально разових концентрацій забруднюючих речовин та представлено наочну ілюстрацію поширення забруднення (рис. 1, 2) навколо проммайdanчиків одного з маслоекстракційних заводів, розташованого у м. Дніпро (розсіювання концентрацій акролеїну) та підприємства по переробці нафти, розташованого у с. Яреськи Полтавської області (розсіювання вуглеводнів насичених С12-С19).

Представлені розрахунки демонструють зміщення факелу забруднення та варіабельність розсіювання концентрацій на різних відстанях (від 100 до 2000 м) в усіх напрямках за румбами сторін світу, проведених за допомогою ISC-AERMOD View. В першу чергу, це пояснюється уточненням вихідної інформації, що передбачає забезпечення урахування: атмосферних параметрів (метеорологічних даних, характеристик атмосферної турбулентності, змішування висот, швидкості тертя, довжин Моніна-Обухова поверхневих теплових потоків тощо); фізичного взаємозв'язку між особливостями місцевості та поведінкою шлейфів забруднення повітря; сухого та вологого осідання газів/частинок; ефектів скошу факелів забруднення під час обтікання перешкод (забудова, рельєф) тощо.

При цьому, розрахунки виконані в ЕОЛ+ показують сталий розподіл ізоліній концентрацій в усіх напрямках на різних відстанях від джерел

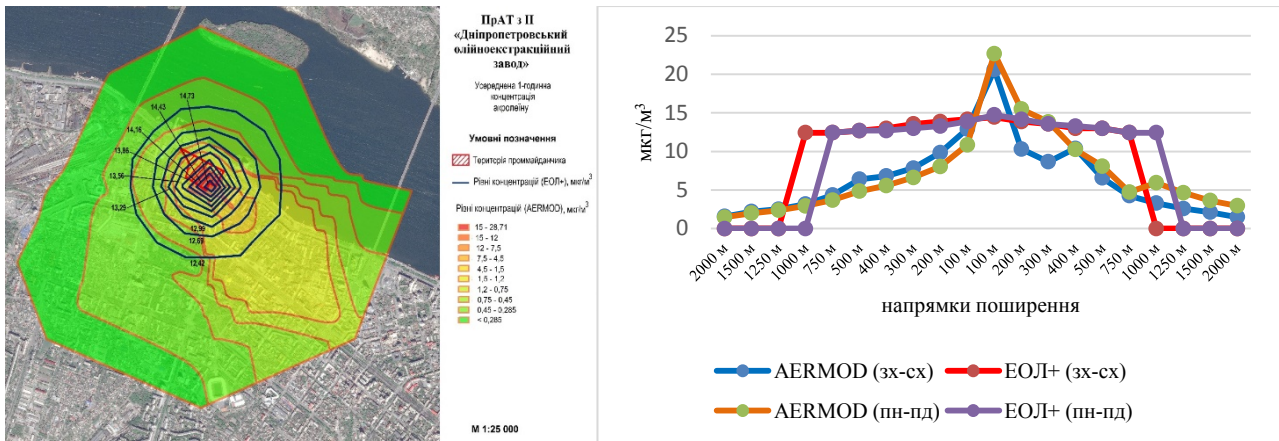


Рис. 1. Розсіювання концентрацій акролеїну навколо проммайdanчика підприємства за даними розрахунків ISC-AERMOD View та EOЛ+, м. Дніпро

Джерело: розроблено авторами

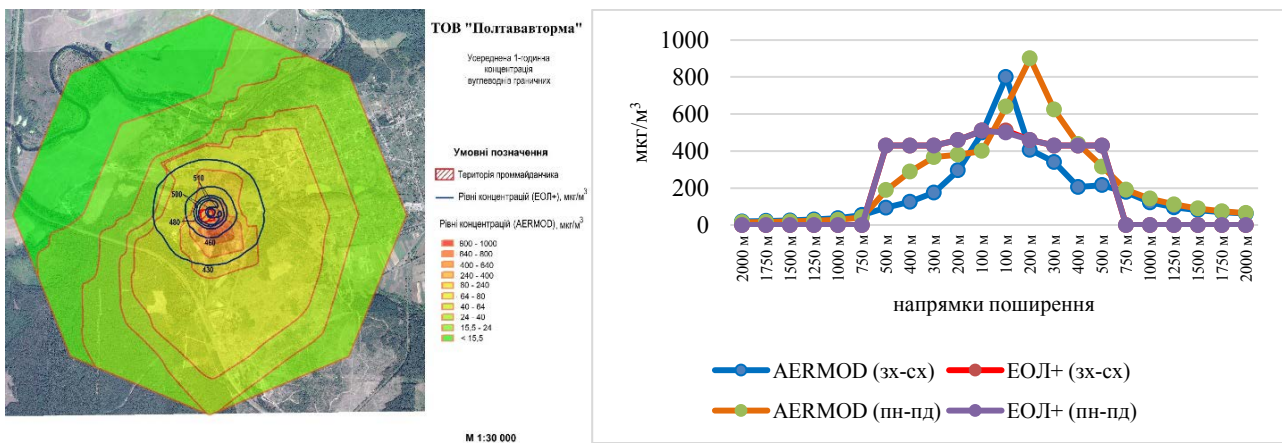


Рис. 2. Поширення концентрацій вуглеводнів насичених C12-C19 навколо проммайdanчика підприємства за даними розрахунків ISC-AERMOD View та EOЛ+, с. Ярьєски Полтавської області

Джерело: розроблено авторами

викидів підприємства, але при цьому наближені до максимально негативних. Це доводить існування одного з недоліків програми – розрахункова газова хмара має концентрацію газу, суттєво вище гранично-допустимої. Отже, у розрахунки закладений алгоритм нормування при метеорологічних параметрах за яких спостерігається максимальна концентрація 98 % забезпеченості та передбачається, що лише у 2 % випадків можливих метеоситуацій концентрації можуть перевищити розрахункове значення. Хоча, такий підхід найкращим чином відповідає схемі нормування викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря [13].

На підставі цього, був проведений порівняльний аналіз максимально разових концентрацій для деяких пріоритетних речовин (акролеїну, сірчаної кислоти та пилу НДЗС; вуглеводнів насичених C12-C19, азоту діоксиду та сірки діоксиду) досліджуваних підприємств, розрахованих за допомогою програмних комплексів ISC-AERMOD View та EOЛ+ у контрольних точках на межі нормативних СЗЗ та найближчої житлової забудови. Отримані дані показали відсутність принципових розходжень у розрахованих значеннях приземних концентрацій. Але за даними

отриманих розрахунків в EOЛ+, спостерігаються більш вищі рівні концентрацій, що пояснюється урахуванням фонового забруднення (особливо, характерно для концентрації пилу НДЗС у м. Дніпро, де фонові показники по місту перевищують нормативні рівні) та підтвердженням отримання максимально негативного сценарію щодо поширення забруднюючих речовин, які мають місце на досліджуваній території, виключаючи оцінки впливу метеорологічних, орографічних та характеристики землекористування даних.

Показано, що урахування фонових концентрацій при розрахунках дає значні похибки, особливо, коли пост спостережень знаходиться в зоні впливу промислового міста (в даному випадку, м. Дніпро) або впливу іншого більш потужного підприємства при цьому, дублюючи фонові забруднення самого ж підприємства. В подальшому це унеможливило валідні оцінки прогнозу щодо просторового поширення (розсіювання) забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери завідома, підвищуючи результати отриманих розрахунків в рецепторних точках, необхідних для проведення подальших оцінок ризику для здоров'я експонованого населення та епідеміологічних досліджень.

Проте, переваги використання ОНД-86 відносно вирішення задач нормування домішок по максимально разовим концентраціям, обертаються основним недоліком при вирішенні завдань прогнозування та аналізу концентрацій при довготривалих (хронічних) оцінках за різні проміжки часу (доба, місяць, рік), які необхідні при визначенні та розрахунках ризику для здоров'я населення, яке проживає в зонах впливу промислових підприємств або автотранспорту. У п. 8.1 Методики є посилання лише на приблизне співвідношення між максимальними значеннями разових та середньорічних концентрацій, що відносяться 10 до 1 (тобто, середньорічна концентрація в 10 разів менше максимально

разової). При цьому (згідно п. 8.1), нормування рекомендовано проводити за ГДК середньодобової концентрації, що суперечить принципам гігієнічного регламентування, де оцінки якості повітря необхідно проводити з відповідними за часом критеріями осереднення [9].

На підставі вищенаведеного, у зв'язку з відсутністю програмних продуктів та в подальшому неможливістю оцінок впливу та ризику для здоров'я населення експозицій за різні проміжки часу було проведено порівняльний аналіз максимально разових (одногодинних), середньодобових та річних концентрацій. До дослідження було включено 20 різних за народно-господарською діяльністю промислових підприємств, які

знаходяться у різних регіонах України (на півночі, сході, заході та півдні) та відрізняються спектром хімічних речовин, які викидаються в атмосферне повітря та параметрами джерел викидів. Крім того, розрахунки концентрацій були оцінені на різних відстанях від джерел викидів (від 25 до 12000 м) та за румбами сторін світу в усіх напрямках (північ, південь, захід, схід) з метою уникнення закономірностей, які можуть бути обумовлені просторовим поширенням хімічних речовин.

Таким чином, в рамках проведеного дослідження було оцінено коефіцієнти співвідношень: максимально разових і середньодобових концентрацій; максимально разових і середньорічних концентрацій; середньодобових і середньорічних концентрацій. Попередньо було виконано оцінки наявності зв'язку між розсіюванням вказаних концентрацій хімічних речовин за допомогою кореляційного аналізу в програмному пакеті STATISTICA (рис. 3, 4).

В результаті отриманих даних між розсіюванням концентрацій хімічних речовин було встановлено лінійний прямопропорційний зв'язок з відповідними достовірними коефіцієнтами кореляції. Це дало підстави дослідити можливість визначення коефіцієнта співвідношення максимально разових та середньодобових, максимально разових та середньорічних, а також середньодобових та середньорічних концентрацій хімічних речовин (табл. 1).

Встановлено, що середні коефіцієнти співвідношень: максимально разових та середньодобових концентрацій для досліджуваних підприємств змінюються в діапазоні від $4 \pm 0,08$ до $7 \pm 0,14$ (залежно від відстані – $r=0,98$, $p < 0,01$; залежно від напрямку – $r=0,97$, $p < 0,01$); максимально разо-

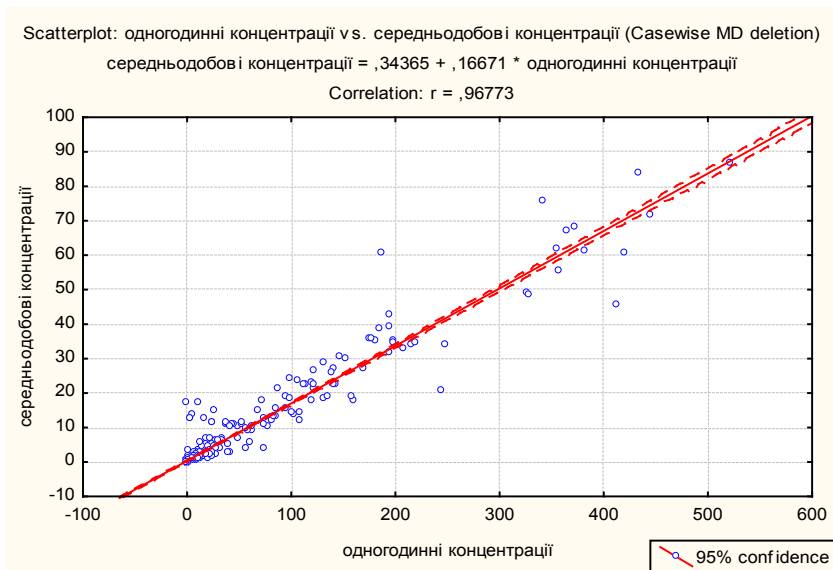


Рис. 3. Розсіювання максимально разових та середньодобових концентрацій за румбами сторін світу

Джерело: розроблено авторами

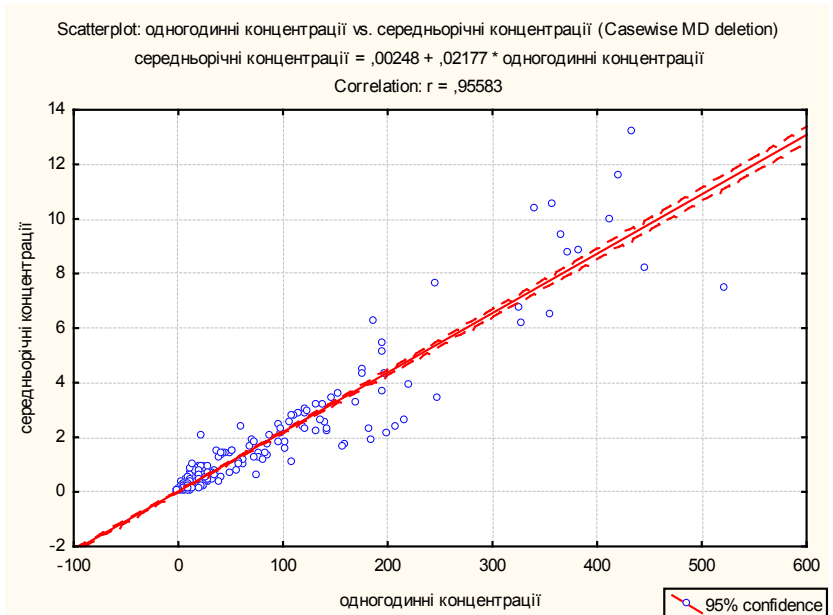


Рис. 4. Розсіювання максимально разових та середньорічних концентрацій за румбами сторін світу

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1

**Коефіцієнти співвідношень концентрацій забруднюючих речовин
в атмосферному повітрі досліджуваних підприємств**

| Промислове підприємство | Значення коефіцієнта співвідношення концентрацій | | |
|-------------------------|--|-------------------------|-------------------------|
| | $\frac{C_{mp}}{C_{сд}}$ | $\frac{C_{mp}}{C_{cp}}$ | $\frac{C_{сд}}{C_{cp}}$ |
| ПП № 1 | 7 ± 0,14 | 78 ± 3,27 | 11 ± 0,3 |
| ПП № 2 | 6 ± 0,42 | 73 ± 3,34 | 11 ± 0,34 |
| ПП № 3 | 4 ± 0,10 | 26 ± 2,84 | 10 ± 0,53 |
| ПП № 4 | 5 ± 0,17 | 12 ± 1,73 | 9 ± 0,31 |
| ПП № 5 | 4 ± 0,08 | 37 ± 0,9 | 8 ± 0,09 |
| ПП № 6 | 6 ± 0,09 | 53 ± 2,52 | 9 ± 0,32 |
| ПП № 7 | 6 ± 0,21 | 59 ± 4,35 | 10 ± 0,43 |
| ПП № 8 | 6 ± 0,18 | 63 ± 3,01 | 11 ± 0,22 |
| ПП № 9 | 5 ± 0,10 | 57 ± 1,32 | 10 ± 0,15 |
| ПП № 10 | 6 ± 0,59 | 91 ± 14,3 | 12 ± 1,31 |
| ПП № 11 | 6 ± 0,95 | 78 ± 21,81 | 12 ± 1,82 |
| ПП № 12 | 6 ± 0,06 | 73 ± 0,77 | 11 ± 0,07 |
| ПП № 13 | 5 ± 0,17 | 49 ± 5,09 | 9 ± 0,66 |
| ПП № 14 | 4 ± 0,08 | 43 ± 2,24 | 10 ± 0,37 |
| ПП № 15 | 4 ± 0,10 | 40 ± 3,88 | 10 ± 0,69 |
| ПП № 16 | 5 ± 0,12 | 62 ± 4,39 | 10 ± 0,43 |
| ПП № 17 | 6 ± 0,09 | 80 ± 2,64 | 11 ± 0,23 |
| ПП № 18 | 6 ± 0,08 | 61 ± 0,39 | 10 ± 0,16 |
| ПП № 19 | 6 ± 0,02 | 58 ± 4,64 | 9 ± 0,63 |
| ПП № 20 | 6 ± 0,27 | 111 ± 9,62 | 10 ± 0,65 |
| Середнє значення | 6 | 60 | 10 |

Джерело: розроблено авторами

вих та середньорічних концентрацій змінюються від $12 \pm 1,73$ до $111 \pm 9,62$ (залежно від відстані – $r = 0,93$, $p < 0,01$; залежно від напрямку – $r = 0,96$, $p < 0,01$), що суперечить п. 8.1 Методики ОНД-86 та свідчить про вплив метеорологічних параметрів на розсіювання хімічних речовин в приземному шарі атмосфери і неможливість оцінок середньорічних концентрацій через максимально разові, використовуючи сталі коефіцієнти; середньодобових та середньорічних концентрацій змінюються від $8 \pm 0,09$ до $12 \pm 1,82$ (залежно від відстані – $r = 0,97$, $p < 0,01$; залежно від напрямку – $r = 0,94$, $p < 0,01$).

Таким чином можна використовувати середній коефіцієнт співвідношення $\frac{C_{mp}}{C_{сд}}$ на рівні 6 (табл. 1) і розраховувати середньодобові концентрації за формулою:

$$C_{сд} = 0,17 \times C_{mp}; \quad (1)$$

де $C_{сд}$ – середньодобова концентрація, C_{mp} – максимально разова концентрація.

Середньорічну концентрацію на основі середньодобової пропонується розраховувати за формулою:

$$C_{cp} = 0,1 \times C_{сд}; \quad (2)$$

де C_{cp} – середньорічна концентрація, $C_{сд}$ – середньодобова концентрація.

Наявність лінійного кореляційного зв'язку між розсіюванням концентрацій хімічних речовин як за напрямками, так і за відстанями від джерел викидів промислових об'єктів є підста-

вою для використання встановлених коефіцієнтів співвідношення при розрахунку необхідних концентрацій у всіх необхідних рецепторних точках, незалежно від відстані та напрямку з метою оцінок ризику для здоров'я населення.

Висновки і пропозиції. На підставі проведених досліджень розраховано усереднені концентрації забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери від викидів різних груп промислових підприємств і автотранспорту, використовуючи програмний комплекс ISC-AERMOD View та додатково виконано порівняльний аналіз з максимально разовими концентраціями, що були змодельовані за допомогою програми ЕОЛ+ (законодавчо закріплена в дозвільній системі). Оцінено співвідношення усереднених концентрацій хімічних речовин між собою у загальному забрудненні атмосферного повітря промисловими підприємствами та визначено середній коефіцієнт співвідношення між середньодобовою та максимально разовою концентраціями; середньорічною та середньодобовою концентраціями. Показано неможливість використання законодавчо закріплених в Україні програмних комплексів при оцінках хронічних впливів на організм людини, що потребує внесення змін та доповнень до основних нормативно-методичних документів чинного санітарного і екологічного законодавства, які регламентують якість атмосферного повітря та потребують удосконалення з метою проведення подальших оцінок ризику для здоров'я експонованого населення.

Список літератури:

1. Ambient air pollution: Health impacts. URL: <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/ru/> (дата звернення: 12.03.2020).
2. Турос О.І., Петросян А.А., Михіна Л.І. Гігієна повітря. *Досвід та перспективи наукового супроводу проблем гігієнічної науки та практики* : зб. наук. пр. Київ, 2011. С. 133–149.
3. Human health risk assessment. URL: <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment> (дата звернення: 04.04.2020).
4. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря : методичні рекомендації / МОЗ ; наказ № 184 від 13.04.2007 р. Київ, 2007. 28 с.
5. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP: technical report. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2013. 302 p.
6. Air quality guidelines – global update 2005. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2006. 484 p.
7. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe. Official Journal of the European Union. 2008. Vol. 51. L 152. 44 p.
8. Janssen N., Mehta S. Human exposure to air pollution // Air quality guidelines for Europe. World Health Organization, 2006. P. 61-85.
9. ОНД-86 «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий», затверджена Головою Держкомгидромету СРСР від 4 серпня 1986 р. № 192. URL: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294853/4294853873.pdf> (дата звернення: 29.06.2020).
10. AERMOD: Description of Model Formulation, Alan J. Cimorelli, Steven G. Perry, Akula Venkatram, Jeffrey C. Weil, Robert J. Paine, Robert B. Wilson, Russell F. Lee, Warren D. Peters, Roger W. Brode, James O. Paumier / EPA-454/R-03-004 September, 2004. URL: https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf (дата звернення: 29.03.2020).
11. User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET). EPA-454/B-03-002. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC., 2004. 252 p. URL: <https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermetugb.pdf> (дата звернення: 27.03.2020).
12. Cimorelli A. J., Perry S. G., VenkatramA., Weil J. C., Paine R. J. et al. AERMOD: Description of Model Formulation, EPA-454/R-03-004. U.S. Environmental Protection Agency, 2004. 92 p. URL: https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf (дата звернення: 09.04.2020).
13. Г. Горячев, М. Гаврилюк. Моделирование распространения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе с использованием ГИС-технологий по методике ОНД-86. Научные труды Винницкого национального технического университета, вып. 3, 1. URL: <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/157> (дата звернення: 10.05.2020).

References:

1. Ambient air pollution: Health impacts. URL: <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/ru/>
2. Turós, O.I., Petrosian, A.A., & Mykhina, L.I. (2011). Air hygiene. *Dosvid ta perspektyvy naukovooho suprovodu problem hihienichnoi nauky ta praktyky* [Experience and prospects of scientific support of problems of hygienic science and practice]. Kyiv, pp. 133–149 (accessed 12.03.2020).
3. Human health risk assessment. URL: <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment> (accessed: 04.04.2020).
4. Otsinka ryzyku dlia zdorovia naseleennia vid zabrudnennia atmosfernoho povitria: metodychni rekomendatsii [Assessment of the risk to public health from air pollution: guidelines]. Ministry of Health ; order № 184, 13.04.2007. Kyiv, 2007. 28 P.
5. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP: technical report. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2013. 302 p.
6. Air quality guidelines – global update 2005. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2006. 484 p.
7. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe. Official Journal of the European Union. 2008. Vol. 51. L 152. 44 p.
8. Janssen N., Mehta S. Human exposure to air pollution // Air quality guidelines for Europe. World Health Organization, 2006. P. 61–85.
9. ОНД-86 «Методика расчета концентрации вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий» [ОНД-86 "Methodology for calculating the concentration of harmful substances in the atmospheric air contained in the emissions of enterprises"], approved Chairman of the State Committee for Hydrometeorology of the USSR from 4.08.1986 № 192. URL: <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294853/4294853873.pdf> (accessed 29.06.2020).
10. AERMOD: Description of Model Formulation, Alan J. Cimorelli, Steven G. Perry, Akula Venkatram, Jeffrey C. Weil, Robert J. Paine, Robert B. Wilson, Russell F. Lee, Warren D. Peters, Roger W. Brode, James O. Paumier / EPA-454/R-03-004 September, 2004. URL: https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf (accessed 29.03.2020).
11. User's Guide for the AERMOD Meteorological Preprocessor (AERMET). EPA-454/B-03-002. U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC., 2004. 252 p. URL: <https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermetugb.pdf> (accessed 27.03.2020).
12. Cimorelli A. J., Perry S. G., VenkatramA., Weil J. C., Paine R. J. et al. AERMOD: Description of Model Formulation, EPA-454/R-03-004. U.S. Environmental Protection Agency, 2004. 92 p. URL: https://www3.epa.gov/scram001/7thconf/aermod/aermod_mfd.pdf (accessed 09.04.2020).
13. G. Horiachev, M. Havryliuk. Modelirovanie rasprostraneniya zagryaznyayuschih veschestv v atmosfernom vozduhe s ispolzovaniem GIS-tehnologiy po metodike ОНД-86 [Modeling the spread of pollutants in the air using GIS technologies according to the ОНД-86 method]. Scientific works of Vinnitsa National Technical University, vol. 3, 1. URL: <https://trudy.vntu.edu.ua/index.php/trudy/article/view/157> (accessed 10.05.2020).