

## ЕКОЛОГІЯ АТМОСФЕРИ

УДК 504.3.054(477-25)

*Р. В. Сінаков, О. С. Волошкіна,  
Ю. О. Березницька, І. В. Клімова  
Київський національний університет  
будівництва та архітектури*

### ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВІД ВИКИДІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ У М. КИЄВІ

В роботі, на підставі запропонованої авторами математичної моделі оцінки вторинного забруднення формальдегідом від викидів автомобільного транспорту, отримана формула визначення концентрації СНОН в атмосферному повітрі над автомобільними шляхопроводами. Проведені розрахунки середньомісячних концентрацій формальдегіду та індекси неканцерогенної небезпеки. Ризик для здоров'я населення за існуючою нормативною класифікацією визначено, як середній. Дослідження показали необхідність додаткових пунктів контролю в системі моніторингу атмосферного повітря та запровадження відповідних заходів по зменшенню забруднення від автомобільних викидів.

**Ключові слова:** концентрація формальдегіду, забруднення атмосферного повітря, автомобільні шляхопроводи, математична модель, ризик неканцерогенного забруднення.

In the work, based on the mathematical model of the estimation of secondary contamination by formaldehyde from the emissions of road transport, proposed by the authors, the formula for determining the concentration of HFC in the atmospheric air over automobile overpasses is obtained. Conducted calculations of average monthly concentrations of formaldehyde and indexes of uncarcinogenic danger. Risk for the health of population after existent normative classification certainly, as middle. Researches rotined the necessity of additional points of control in the system of monitoring of atmospheric air and introduction of the proper measures on diminishing of contamination from motor-car extrass.

**Keywords:** concentration of formaldehyde, atmospheric air pollution, road overpasses, mathematical model, risk of non-carcinogenic pollution.

**Актуальність проблеми.** Атмосферне повітря великого мегаполіса, зазвичай, характеризується вмістом шкідливих домішок, серед яких особливу загрозу для організму людини створює формальдегід – токсичний безбарвний газ з різким задушливим запахом, який належить до летючих органічних сполук. Основним джерелом надходження формальдегіду в атмосферне повітря великого міста, крім промисловості (з використанням або виробництвом формальдегіду), є автомобільний транспорт і, відповідно, основним впливом формальдегіду на населення є його поглинання в процесі дихання забрудненим повітрям в містах великого скупчення автомобільних засобів (так звані «автомобільні затори»).

Як показують дані метеоспостережень на постах, забруднення атмосферного повітря в великих містах України, концентрації формальдегіду в приземному шарі атмосферного повітря можуть в декілька разів перевищувати рівень максимально допустимої референтної дози [3, 6, 8].

**Аналіз існуючих досліджень та публікацій.** Дослідженням впливу викидів від автомобільного транспорту на якість атмосферного повітря на урбанізованих територіях присвячено останнім часом ряд робіт вітчизняних та закордонних авторів [4, 7, 8, 11, 13 та

ін.]. В роботах ряду авторів [2, 4, 6, 8] це питання розглядалося на основі аналізу багаторічних моніторингових даних, інші автори застосовували підходи, які ґрунтуються на законах хімічної кінетики [12, 13]. Нині найбільш відомими та поширеними вважаються методики, що засновані на реалізації математичних моделей, які базуються на рівняннях математичної фізики з залученням методів статистичної обробки [5]. В якості приклада можна привести модель локального прогнозу формальдегідного забруднення атмосфери для умов м. Томськ [4], моделі забруднення м. Усть-Каменогорськ [14], модель забруднення атмосфери Land Use Regression [15]. Але існуючі на даний час методики моделювання як просторового розподілу забруднення, так і моделі атмосферної дифузії не можуть бути уніфіковані, оскільки існують суттєві відмінності мікроклімату та соціально-економічних умов розвитку великих міст. Крім цього, сучасні методики оцінки та прогнозу дають змогу реалізувати чисельно забруднення атмосферного повітря міського середовища від стаціонарних та пересувних джерел без належної оцінки кожного джерела окремо. Питання оцінки вкладу особистого автотранспорту в загальні викиди вуглеводнів міста не розглядалося взагалі.

Питання впливу забруднення формальдегідом атмосферного повітря великих міст на здоров'я населення висвітлені в роботах [2, 3, 10].

В роботі [3] розглянуто індекси неканцерогенної небезпеки HQ за 2011 рік за даними постів метеоспостережень. Але поблизу всіх великих автошляхів міста розрахунки ще не проводились. За програмою ООН ХАБИТАТ по населеним пунктам, в країнах, що розвиваються спостерігається підвищена залежність від особистого транспорту, яка має збільшитися до 2050 року на 50% порівняно з 2011р.

Враховуючи загальне підвищення температури внаслідок процесів глобальних кліматичних змін та залежність від температурних умов ступеня забруднення атмосферного повітря міста, виникає нагальна потреба в оцінці ризику для здоров'я населення вторинного забруднення формальдегідом та появи фотохімічного смогу над автотранспортними шляхопроводами.

В м. Києві значення забруднюючих речовин вимірюється на 16 постах спостережень Центральної Геофізичної Обсерваторії з періодичністю відбору проб 6 разів на тиждень. Концентрації пріоритетних забруднювачів (по кратності ГДК) в атмосферному повітрі по різних рецепторних точках дають досить мінливі результати: від 0,8 до 3 разів по формальдегіду; від 0,5 до 3,5 - діоксиду азоту; від 0,5 до 1,2 - пилу; від 0,5 до 2 – оксиду вуглецю [3]. При цьому, максимальні концентрації формальдегіду реєструються поблизу великих автомобільних шляхопроводів, де маємо постійні автомобільні затори. Цей факт підтверджує думку багатьох дослідників [7,12,13 та ін.], що індикатором прояву фотохімічного смогу в великих транспортних містах, в м. Києві зокрема, є вторинне формальдегідне забруднення.

**Мета і задачі досліджень.** Мета роботи – визначити забруднення формальдегідом атмосферного повітря на автомобільних шляхопроводах в залежності від метеоумов та оцінити ризик для здоров'я населення для забезпечення сталого розвитку м. Києва .

Для реалізації цієї мети були поставлені наступні завдання:

- розробити математичну модель вторинного забруднення формальдегідом на автотранспортних шляхопроводах;

- зробити порівняльний аналіз розрахункових даних з моніторинговими даними постів стаціонарних спостережень за якістю атмосферного повітря м. Києва;

За існуючими методиками оцінити неканцерогенний ризик на здоров'я населення від викидів автомобільного транспорту на шляхопроводах.

В проведених авторами дослідженнях [7] запропоновано математичну модель вторинного забруднення формальдегідом при перетворенні викидів вуглеводнів від автомобільного транспорту. Модель була апробована на автомобільних шляхопроводах м. Києва.

**Методика та результати досліджень.** Математична модель складається з динамічного та кінетичного блоку.

В першому блоці моделі на основі рівнянь конвективного струменя над теплою поверхнею проводимо розрахунок концентрацій викидів вуглеводнів від загальної кількості автотранспорту на шляхопроводі та визначаємо параметри забрудненого струменя та кількість теплоти, яка виходить з теплої джерела в навколишнє середовище (розсіяна та пряма сонячна радіація, тепло, яке виділяється від автотранспортних засобів в «автомобільній пробці»).

Динамічний блок представлено системою рівнянь, які описують конвективне тепло, яке підіймається над нагрітою поверхнею автотранспортного вузла в повітрі:

$$\begin{aligned} V_y &= 0,56 \left( \frac{Q_k}{y - y_0} \right)^{0,33} \\ \Delta t_{y_{cp}} &= \frac{41 \cdot Q_k^{2/3}}{(y - y_0)^{2/3}} \\ Q_k &= (R_p + R_c + R_a) \end{aligned} \quad (1)$$

де  $R_p$ ,  $R_c$ ,  $R_a$  – відповідно сума розсіяної, прямої радіації для м. Києва та теплота від автомобільних викидів на транспортній розв'язці, мДж/м<sup>2</sup>;

$\Delta t_{y_{cp}}$  – середня температура у перехідному перерізі конвективного струменя, град, на відстані  $y_0$  від поверхні землі (приблизно 2 умовних діаметри теплої поверхні, м);

$V_y$  – середня по площі швидкість теплої повітря, яке підіймається вгору, м/с.

Кінетичний блок моделі дозволяє знайти коефіцієнт швидкості перетворення етену у формальдегід (вторинне забруднення) в найвужчому перерізі конвективного струменя. Саме на цій висоті від поверхні землі проходять фотохімічні реакції утворення смогу при відповідних сталих метеороумовах.

Знайшовши концентрацію етену в вертикальному конвективному струмені над поверхнею шляхопроводу, знаходимо частку перетворення його у формальдегід при певних метеороумовах. Концентрація формальдегіду (вторинне забруднення) в загальному вигляді визначається наступним чином:

$$C_{CНОН} = k \cdot C_{CН} \quad (2)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що залежить від температури повітря, часового проміжку, інтенсивності сонячного світла і т.п.,  $C_{CНОН}$ ,  $C_{CН}$  – відповідно концентрації утвореного формальдегіду та вуглеводнів від автотранспорту, мг/м<sup>3</sup>.

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

$$C_{\Phi} = \left[ \frac{A \cdot n}{D(R_p + R_n + R_a)} \right]^{0,33} \cdot \exp(8,959 - 3784/T) \quad (3)$$

В формулі (3):  $D$  – умовний діаметр площ теплої поверхні, м;  $R_p$ ,  $R_n$ ,  $R_a$  – 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>.

На основі запропонованої моделі було отримано програмний продукт та зроблені розрахунки по основних автомобільних шляхопроводах м. Києва.

Проведений порівняльний аналіз характеру середньомісячних змін концентрацій формальдегіду за даними моніторингових спостережень за 2014-2016 рр. та за розрахунковими даними за запропонованою методикою показав великий ступінь збігу значень за максимальними концентраціями (не перевищує 5%); що стосується середньомісячних концентрацій, розрахункові значення дають порівняно з експериментальними дещо завищені результати, особливо в літній період. Завищені розрахункові дані пояснюються тим фактом, що моніторинг на постах спостережень ведеться в приземному шарі атмосферного повітря, тоді як розрахунок вторинного забруднення ведеться у перехідному перерізі забрудненого теплового струменя на відстані більш як 200м від поверхні. Останній при стабільних метеоумовах на відстані 3-х умовних діаметрів від теплої поверхні перетворюється в купол забрудненого повітря, який опускається з розтіканням в приземний шар атмосфери на площу земної поверхні, яка згідно теорії конвективного струменя не перевищує величини орієнтовно  $2D$ ; але при близькому розташуванні житлових будівель від шляхопровода може накривати їх.

Роблячи припущення про «розрахунок в запас» та зважаючи на мінливі умови атмосферного повітря з подальшим осіданням забрудненого купола та перенесенням утвореного формальдегіду процесами турбулентної дифузії, розглянемо оцінку ризику для здоров'я населення, яке проживає або постійно перебуває поблизу автошляхопроводів та великих перехрестів м. Києві.

Розрахунок ризику розвитку неканцерогенних ефектів визначається шляхом розрахунків індексу небезпеки [1].

В табл. 1 представлені дані розрахунку концентрацій вторинного забруднення формальдегідом від автомобільного транспорту та індекси небезпеки для населення м. Києва біля основних шляхопроводів, які були розраховані за отриманими максимальними місячними концентраціями.

Згідно класифікації рівнів ризику [9, 16] та у відповідності до даних табл. 1, розрахункові дані перевищення концентрацій формальдегідом знаходяться в межах 2,5-5,0 ГДК, що складає середнє значення рівнів ризику, що за умов впливу на все населення, потребує необхідного динамічного контролю і поглибленого вивчення джерел і можливих наслідків шкідливих впливів на населення.

**Висновки.** Визначені за запропонованою методикою із застосуванням теорії конвективного струменя з теплої поверхні значення концентрацій формальдегіду в місцях основних шляхопроводів м. Києва показують, що максимальні їх рівні спостерігаються в літні місяці біля Центрального Автовокзалу, станцій метро «Шулявка», «Либідська» та Поштової площі. Розраховані за стандартною методикою індекси неканцерогенної небезпеки становлять їх середнє значення, що потребує подальшого удосконалення системи моніторингу атмосферного повітря в районі автотранспортних шляхопроводів та великих перехрестів м. Києва органами Державної гідрометеорологічної служби України та Державної санітарно-епідеміологічної служби МОЗ України.

Проведені дослідження потребують подальшої оцінки визначення канцерогенного ефекту за рахунок інгаляційного впливу формальдегіду на населення з врахуванням розташування житлової забудови.

### Література

1 Методичні рекомендації МР 22.12-142-2007 «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря». -2007.-40с. Режим доступу до елект.ресурсу: <http://Zakon.nau.ua/doc>.

2 Ушакова І.О., Катасонова І.О. Нечіткій підхід до прогнозування екологічних ризиків від забруднення атмосферного повітря// Системи обробки інформації, ХНЕУ, -Харків,- 2010, -№5(86)-246-251с.

3 Руденко Н.В. Анализ риска заболеваемости населения в зависимости от качества атмосферного воздуха // Экосистемы, их оптимизация и охрана. НТУ, Симферополь, 2012,-вып.6.-269-275с.

**Ризик неканцерогенного ефекту забруднення атмосферного повітря формальдегідом  
по основних шляхопроводах в м. Києві**

Таблиця 1

№ п/п	Назва перехрестя	Розрахункова концентрація СНОН, мг/м <sup>3</sup> середньомісячна Значення перевищення концентрації СНОН (С/Rf=0,003)												Середньорічне значення перевищення концентрації СНОН
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	вул. Богатирська - вул. Лугова - проспект Маршала Тимошенка	0,0064 2,13	0,00544 1,81	0,00656 2,19	0,0088 2,93	0,0111 3,7	0,0209 6,93	0,0139 4,63	0,0134 4,46	0,0125 4	0,0097 3,23	0,0076 2,53	0,0074 2,47	3,417 5
2	Проспект Паладіна - вул. Стеценка	0,0081 2,7	0,00678 2,26	0,012 4	0,01499 5	0,015 5	0,0157 5,23	0,0158 5,27	0,014 4,67	0,0108 3,6	0,00786 2,62	0,0095 3,17	0,0092 3,7	3,935
3а	вул. Лугова - Паладіна - проспект Степана Бандери	0,0081 2,7	0,00678 2,26	0,012 4	0,01499 5	0,015 5	0,0157 5,23	0,0158 5,27	0,014 4,67	0,0108 3,63	0,00786 2,62	0,0095 3,16	0,0092 3,07	3,935
3б		0,0091 3,02	0,00754 2,47	0,00908 3,03	0,0121 4,03	0,0154 5,16	0,0166 5,53	0,0191 6,37	0,0185 6,17	0,0172 5,73	0,0134 4,47	0,0106 3,53	0,0102 3,4	4,41
4	вул. Електротехнічна - вул. Братиславська	0,0085 2,82	0,00789 2,51	0,00848 2,83	0,01135 3,78	0,0144 4,8	0,0155 5,17	0,0178 5,93	0,0173 5,77	0,0161 5,37	0,0112 3,73	0,0082 2,72	0,0095 3,17	4,05
5	вул. Щербаківського - вул. Стеценка - вул. М.Гречка	0,0108 3,6	0,00905 3,2	0,0108 3,6	0,0146 4,87	0,0185 6,17	0,0199 6,63	0,0229 7,63	0,0223 7,43	0,023 7,67	0,0161 5,37	0,0127 4,23	0,022 7,33	5,64
6	вул. Олени Теліги - проспект С. Бандери - Куренівка	0,0099 3,3	0,00829 2,76	0,0099 3,3	0,0133 4,43	0,017 5,67	0,0182 6,07	0,021 7	0,02 6,67	0,019 6,33	0,0148 4,93	0,0166 3,89	0,0112 3,73	4,84
7	вул. Шусева - вул. Олени Теліги - вул. Мельникова	0,0111 3,7	0,0092 3,07	0,0111 3,7	0,0148 4,93	0,0189 6,3	0,0203 6,76	0,0233 7,76	0,0227 7,57	0,0211 7,03	0,0164 5,46	0,0129 4,3	0,0125 4,17	5,4
8	вул. Щербаківського - проспект Перемоги (М. Нивки)	0,0079 2,63	0,0066 2,2	0,00729 2,43	0,009953 3,2	0,0134 4,47	0,0148 4,9	0,0222 7,4	0,0181 3,6	0,017 5,67	0,01185 3,95	0,0093 3,1	0,009 3	3,89

Продовження таблиці 1

9	Проспект Перемоги - М. Василенко (М. Берестейська)	0,0063 2,1	0,0054 1,8	0,0067 2,23	0,0085 2,83	0,0108 3,6	0,0209 6,97	0,0252 8,4	0,013 4,33	0,0123 4,1	0,0094 3,13	0,0074 2,47	0,0071 2,37	3,69
10	Проспект Броварський - вул. Братиславська (М. Чернігівська)	0,0063 2,08	0,0057 1,9	0,0066 2,2	0,00886 2,95	0,0113 3,78	0,0122 4,07	0,014 4,67	0,0136 4,53	0,0126 4,2	0,0098 3,27	0,0078 2,6	0,0075 2,5	3,23
11	Проспект Перемоги (М. Святошин)	0,0046 1,53	0,0041,3 3	0,004791 ,6	0,00642, 13	0,0079 2,63	0,0085 2,83	0,0098 3,27	0,01023, 4	0,00892, 97	0,006955 2,32	0,00541, 8	0,0053 1,77	2,3
12	Проспект Паладіна - Кільцева	0,0049 1,63	0,00412 1,37	0,0049 1,63	0,0066 2,2	0,0085 2,83	0,0091 3,03	0,0105 3,5	0,0102 3,4	0,0094 3,13	0,0074 2,47	0,0058 1,93	0,0056 1,87	2,42
13	Проспект Перемоги - вул. Довженка - вул. В.Гетьмана (М.Шулявська)	0,009 3	0,0075 2,5	0,009 3	0,0121 4,3	0,0154 5,13	0,017 5,67	0,0253 8,44	0,0246 8,2	0,0172 5,73	0,0134 4,47	0,011 3,67	0,0107 3,57	4,81
14	Проспект Броварський - вул. М.Раскової (М. Лівобережна)	0,01 3,03	0,0083 2,77	0,01 3,03	0,0134 4,47	0,017 5,67	0,0183 6,1	0,0211 7,03	0,0205 6,83	0,0191 6,37	0,0148 4,93	0,0117 3,9	0,0113 3,77	4,82
15	Пр. Повітрофлотський - пр. Перемоги (Повітрофлотський міст)	0,0056 1,87	0,0047 1,57	0,00566 1,89	0,00759 2,53	0,0096 3,22	0,0103 3,43	0,0119 3,97	0,0116 3,87	0,0107 5,67	0,0084 2,8	0,0066 2,2	0,0064 2,13	2,93
16	Проспект Перемоги (площа Перемоги)	0,0056 1,87	0,0047 1,57	0,00566 1,89	0,00759 2,53	0,0096 3,22	0,0103 3,43	0,0119 3,97	0,0116 3,87	0,0107 5,67	0,0084 2,8	0,0066 2,2	0,0064 2,13	2,93
17	вул. Борщівка - вул. Індустріальна (Індустріальний міст)	0,0055 9 1,86	0,0046 1,53	0,0056 1,87	0,0075 2,53	0,0094 3,13	0,0127 4,23	0,0118 3,93	0,0115 3,83	0,01066 3,55	0,0083 2,76	0,0065 2,17	0,0061 2,02	2,78
18	Поштова площа (міст Дніпро)	0,012 3,33	0,0108 3,6	0,012 3,33	0,0161 5,37	0,0206 6,83	0,0221 7,37	0,0026 8,79	0,0028 9,53	0,0024 8,0	0,0179 5,96	0,014 4,67	0,0132 4,4	5,7
19	Ленінградська (Дарницька) площа	0,012 3,3	0,0108 3,6	0,012 4	0,0088 2,93	0,0124 4,13	0,0125 4,17	0,0138 4,6	0,0134 4,47	0,0117 3,9	0,0097 3,23	0,0077 2,55	0,0079 2,39	3,61
20	вул. Воз'єднання - Академіка Шліхтера (Русанівка)	0,009 3	0,0075 2,5	0,00903 3,01	0,0121 4,3	0,0153 5,1	0,0165 5,5	0,019 6,33	0,0185 6,17	0,0172 5,73	0,0134 4,47	0,0105 3,5	0,0101 3,37	4,62
21	Бульвар Дружби Народів (озеро Глинка)М. Либідська	0,0076 2,63	0,00642, 13	0,007712 ,57	0,01033, 34	0,0136 4,53	0,0141 4,7	0,0264 8,8	0,01565, 2	0,04615, 33	0,01143, 8	0,0093 2,8	0,0084 2,8	4,9
22	Проспект 40-річчя жовтня (Автоказал)	0,0046 1,53	0,008 2,67	0,0119 3,97	0,0149 4,97	0,0196 6,53	0,0247 8,23	0,024 8	0,0174 5,8	0,0146 4,87	0,0085 2,83	0,0055 1,83	0,0058 1,93	4,4
23	Севастопольська площа	0,0091 3,02	0,00788 2,63	0,009 3	0,0121 4,3	0,0154 5,13	0,0166 5,53	0,0191 6,3	0,0185 6,17	0,0172 5,73	0,0094 3,13	0,0196 6,53	0,0099 3,3	4,56

4 Селегей Т.С. Формальдегидное загрязнение городской атмосферы и его зависимость от метеорологических факторов /Селегей Т.С., Филоненко Н.Н., Шлычков В.А., Леженин А.А., Ленковская Т.Н.// «Оптика атмосферы и океана», 26, № 5 (2013), - 422-426.

5 Марчук Г.И. Динамика и кинетика газовых примесей и аэрозолей в атмосфере и их значение для биосферы / Марчук Г.И., Алоян А.Е.// Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера», т. 1, № 1. – 48-57

6 Шевченко О.Г. Рівень забруднення атмосферного повітря міста Києва формальдегідом/ Шевченко О.Г., Кульбіда М.І., Сніжко С.І., Щербуха Л.С., Данілова Н.О.// Український гідрометеорологічний журнал, 2014, № 14. – 26 с.

7 Sipakov R.V Assessment and forecast for the creation of photochemical smog over transport overpasses in Kyiv/Sipakov R.V., Trofimovich V.V., Voloshkina O.S., Bereznitskaya Y.O.//Prob. Scientificworks "Ecologicalsafetyandnaturemanagement", KNUBA, ITGIP NANU, K., 2018.-issue 25 p. 44-51

8 Мислюк О.О. Оцінка екологічної безпеки функціонування автотранспорту в умовах промислового міста/ Мислюк О.О., Шейкіна О.Ю.// Вісник ЖДТУ №3 (46), -1-9.

9 Lu H. Development and application of computer simulation tools for ecological risk assessment/ Haiyi Lu, Lisa Axea, Trevor A. Tyson// Environmental Modeling and Assessment.-2003.- V.8.-P.311-322

10 The Air Toxics Hot Spot Program Guidance Manual for Preparation of Health Risk Assessment/ Ed.by Robert Blaisdell et al.-Oakland,Cal.:ОЕННА, 2003.-302p.

11 Atmosphere protection from industrial pollutions: ed.S. Kalvert and G.M. Inglund.- M,1988. -760p.

12 John H. Seinfeld, Spiros N. Pandis /Atmospheric chemistry and physics/ A Wiley-Interscience Publication, Printed in the USA, QC879.6. S45 1997.-1356 P.

13 Howard Brigman/ Globalairpollution, problemsforthe 1990s., CBS Publishers&Distributors - 1992.- P.261.

14 Темирбеков А.Н. Изучение развития атмосферных процессов промышленного города с учетом фотохимических превращений/ Вестник КазНПУ, серия физико-математические науки, 2014. – 199-208.

15 Air pollution modeling in a small industrial city: The case study of NewCastle, New South Wales, Australia /Leanne Graham, Howard Bridgman, University of Newcastle, Newcastle, Australia University Drive, Callaghan, NSW 2308 Australia.

16 Оцінка екологічного ризику. Вплив на здоров'я людини: Навчальний посібник / С.М. Орел, М.С. Мальований, Д.С. Орел.- Херсон: ОЛДІ ПЛЮС, 23014.- 232с.

© Р. В. Сіпаков,  
О .С. Волошкіна,  
Ю. О. Березницька,  
І. В. Клімова

*Надійшла до редакції 03 травня 2018 р.  
Рекомендував до друку  
докт. техн. наук Я. О. Адаменко*