

ОЦІНКА ГАРАНТОВАНОЇ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ДЛЯ РОСЛИН НА ПРИКЛАДІ ПАРКА ІМ. Т. Г. ШЕВЧЕНКА, М. ДНІПРО

Фалько В.В.

Сумський державний університет
вул. Римського-Корсакова, 2, 40000, м. Суми
vera_falko@ukr.net

У статті розглянуті питання ролі зелених насаджень у вирішенні проблем сучасного міста. В умовах промислового забруднення довкілля міські зелені насадження, затримуючи і осаджуючи атмосферний пи́л, сприяють значному покращенню і оздоровленню навколишнього середовища, але при цьому токсичні речовини впливають на анатомічну будову і функції рослин. Однією з найгостріших і актуальних для зелених насаджень проблем є забруднення атмосферного повітря, особливо це питання стоїть в промислових містах України. В Україні для оцінки рівня екологічної безпеки природних об'єктів використовують значення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. Ці нормативи є первинними, постійно діючими стандартами якості навколишнього природного середовища. Порівняльний аналіз ГДК забруднюючих речовин для рослин і людини дає змогу зробити висновок, що рослини в цілому і деревні породи більш чутливі до забруднень атмосферного повітря забруднюючими речовинами, ніж людина, і забруднення атмосферного повітря безпосередньо впливає на всі форми міських зелених насаджень. Ступінь атмосферного впливу на рослини залежить від забезпечення гарантованої якості атмосферного повітря. У проблемі екологічної безпеки введено нове поняття: гарантована якість атмосферного повітря для рослин, яке ми розуміємо як таку якість, за досягнення якої з високою імовірністю гарантується відсутність перевищення концентраціями забруднюючих речовин своїх допустимих величин, за яких вплив забруднень на рослини відсутній. При досягненні такої якості з високою імовірністю гарантується відсутність негативного впливу забруднень атмосферного повітря на рослини. Для характеристики та аналізу гарантованої якості введені її складові. Розроблено науковий підхід для побудови математичних моделей з метою визначення гарантованої якості атмосферного повітря для рослин та управління нею в прогностичних дослідженнях та на основі показників досліджень. У статті наведено результати оцінки гарантованої якості атмосферного повітря для рослин, що проводилась для парку ім. Т. Г. Шевченка, м. Дніпро. *Ключові слова:* зелені насадження, забруднення, повітря, гарантована якість.

Assessment of guaranteed air quality for plants (case of the park named after T. Shevchenko in Dnipro). Falko V.

The article examines the role of green areas in solving the problems of the modern city. In the conditions of industrial pollution of the environment, urban green areas retain and settle atmospheric dust, contributing to a significant environmental improvement. However, at the same time, toxic substances affect plants' anatomical structure and functions. Air pollution is one of the most acute and relevant problems for green areas, especially in industrial cities of Ukraine. The maximum permissible concentrations of pollutants are used to assess the level of environmental safety of natural objects in Ukraine. These regulations are the primary, permanently valid environmental quality standards. A comparative analysis of MPCs of pollutants for plants and humans allows concluding that plants and trees are more sensitive to atmospheric air pollution than humans, and atmospheric air pollution directly affects all forms of urban green spaces. The degree of atmospheric influence on plants depends on ensuring the guaranteed quality of atmospheric air. In the problem of environmental safety, a new concept has been introduced: the guaranteed quality of atmospheric air for plants, which we denote as quality, that achieve, highly guarantees the pollutants concentrations stay in their permissible values, at which there is no impact of pollutants on plants. When achieved, this quality guarantees the absence of air pollution's negative impact on plants with a high probability. The components of the characterization and analysis of the guaranteed quality are introduced. A scientific approach has been developed for elaborating mathematical models to determine the guaranteed quality of atmospheric air for plants and its management in predictive studies based on research indicators. The article presents the results of the guaranteed quality assessment of atmospheric air for plants implemented for the park named after T. Shevchenko, Dnipro. *Key words:* green areas, pollution, air, guaranteed quality.

Постановка проблеми. За прогнозами вчених до середини ХХІ століття в містах буде жити 80% населення планети. Міста займають лише два відсотки світової площі. Але навіть зараз більше половини всіх людей у світі проживає в містах і міських агломераціях, і ця тенденція зростає. Через безперервний процес урбанізації останніми роками особливо гостро постало питання оптимізації міського середовища. У великих містах сконцентрована значна кількість інфраструктурних об'єктів, вони характеризуються високою щільністю населення і таке

поєднання можна розглядати як небезпеку. Велика скупченість людей на порівняно невеликі площі, промислові виробництва, підприємства енергетики, транспорт створюють на території міста несприятливу екологічну ситуацію. Досягненням Україною Цілей Сталого Розвитку є виконання стратегічного завдання Цілі 11 – зменшити негативний екологічний вплив міст у перерахунку на одну особу населення, в тому числі шляхом приділення особливої уваги якості повітря і видаленню міських та інших відходів [1]. Для поліпшення екологічного стану

міст важливе місце посідає озеленення з використанням рослин з високими сануючими властивостями, що гарантує створення екологічно безпечного природного середовища для життя і здоров'я населення, і відіграє суттєву роль у вирішенні складного спектру проблем розвитку сучасного міста [2].

Актуальність дослідження. Зелені насадження міст включають всі форми зелених насаджень і зелених будівель: парки, наділи, перелоги, ігрові та дитячі майданчики, спортивні зони, вулична зелень та вуличні дерева, міські зелені насадження, зелені насадження на громадських будівлях, природоохоронні території, ліси та інші відкриті простори, що облаштовані для структурування та проектування міста, і потребують додаткового догляду. В умовах промислового забруднення довкілля стає актуальним оцінка впливу забруднення атмосферного повітря на зелені насадження міст та забезпечення його гарантованої якості для рослин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати окремих досліджень присвячені ролі рослин в покращенні мікроклімату міського середовища, збагаченню атмосферного повітря киснем, в них детально розглянуто ступінь атмосферного впливу на рослини в залежності від різних факторів [3-6]. Проте аналіз наукової літератури показав відсутність досліджень щодо забезпечення гарантованої якості атмосферного повітря для рослин та її оцінки, що є важливим елементом сталого розвитку промислових міст.

Новизна. Вперше введено нове поняття: гарантована якість атмосферного повітря для рослин, забезпечення якої виключає з високою ймовірністю вплив забруднень атмосферного повітря на рослини і досягнення необхідного рівня екологічної безпеки природних об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Функції та вплив міських зелених насаджень різноманітні: окрім надання естетичності міським територіям, зелені насадження міст регулюють температуру, очищують повітря, зменшують шум, позитивно впливаючи на міський клімат і здоров'я жителів. Вони забезпечують середовище проживання для флори та фауни, підтримуючи біологічне різноманіття міста.

Беручи до уваги постійне збільшення кількості жителів міст, «зелена інфраструктура» набуває усе більшого значення. Загальноновизнано, що розвинута система зелених насаджень сприяє підвищенню якості життя та відпочинку, підтримці здорового клімату, збереженню біорізноманіття. Окрім того, зелена інфраструктура є важливим фактором для підтримки чистоти повітря, регенерації підземних вод і захисту ґрунтів міста.

Провідної ролі в збагаченні киснем повітря міст набувають вічнозелені дерева. Хвойні дерева на 1 т фітомаси виділяють кисню на 12%, а поглинають вуглекислого газу на 20% більше, на відміну від листяних порід [3]. Вічнозелені рослини покращу-

ють мікроклімат міського середовища, оберігають від надмірного перегріву ґрунт, поверхню будівель, дорожні покриття, створюють комфортні умови для перебування на відкритому повітрі. Для порівняння, порівняно з озеленими територіями, температура повітря серед міської забудови влітку вища на 2–5 °С [4].

Проте, взаємозв'язок «рослина – міське середовище» передбачає не лише вплив рослин на навколишнє середовище, а й зворотній вплив довкілля на рослини. Стан атмосферного повітря є одним з чинників навколишнього середовища, який в значній мірі впливає на якість довкілля, здоров'я населення та тваринний і рослинний світ [5]. Саме тому однією з найактуальніших проблем для зеленої інфраструктури постало забруднення атмосферного повітря, яке особливо гостро стосується промислових міст України [6]. В атмосферному повітрі промислових міст зазвичай спостерігається перевищення допустимих концентрацій одночасно кількох забруднюючих речовин. Вплив їх спільної або послідовної дії на рослини є відмінними від дії кожної окремої речовини.

В Україні для оцінки рівня екологічної безпеки природних об'єктів використовують значення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин. Ці нормативи є первинними, постійно діючими стандартами якості навколишнього природного середовища, єдиними для всієї території України. Гранично допустима концентрація (ГДК), найпоширеніший індикатор екологічної ситуації – така маса шкідливої речовини в одиниці об'єму (в мг на 1 м³ повітря, 1 л рідини чи 1 кг твердої речовини) окремих компонентів біосфери, періодичний чи постійний, цілодобовий вплив якої на організм людини, тварин і рослин не викликає відхилень у нормальному їх функціонуванні протягом усього життя нинішнього та майбутніх поколінь. Гранично допустимі максимально разові концентрації забруднюючих речовин в повітрі для людини і рослин наведені в таблиці 1, гранично допустимі середньодобові концентрації забруднюючих речовин в повітрі для людини і деревних рослин в таблиці 2 відповідно [7].

В умовах промислового забруднення довкілля міські зелені насадження, затримуючи і осаджуючи атмосферний пил, сприяють значному покращенню і оздоровленню навколишнього середовища. Проте, результатом цього процесу вплив токсичних речовин на анатомічну будову рослин та їх функції. Ступінь атмосферного впливу на рослини залежить від низки факторів, серед яких: зміна оптичних властивостей листя, закупорювання продихів та гальмування біосинтетичних процесів, подразнення і гальмування росту рослин тощо [8]. До всього, відбувається скорочення тривалості життєвого циклу рослин, а у дерев з'являються ознаки старіння та зниження життєздатності.

Таблиця 1

**Гранично допустимі максимально разові концентрації забруднюючих речовин в повітрі
для людини і рослин**

Речовина	ГДК максимальні разові, мг/м ³		
	Рослини в цілому	Деревні породи	Людина
Азоту оксид	0,02	0,04	0,2
Аміак	0,05	0,1	0,2
Бензол	0,1	0,2	0,3
Метанол	-	0,2	1,0
Промисловий пил (цемент)	-	0,2	0,5
Сірководень	-	0,008	0,008
Сірчана кислота	-	0,1	0,3
Сірки діоксид	0,02	0,03	0,5
Сполуки фтору газоподібні (В перерахунку на F)	-	0,02	0,02
Формальдегід	0,02	0,02	0,035
Хлор	0,25	0,025	0,1

Таблиця 2

**Гранично допустимі середньодобові концентрації забруднюючих речовин в повітрі
для людини та деревних рослин**

Речовина	ГДК середньодобові, мг / м ³	
	Деревні породи	Людина
Азоту оксид	0,02	0,04
Ангідрид сірчистий	0,015	0,05
Аміак	0,04	0,04
Бензол	0,05	0,1
Промисловий пил (цемент)	0,05	0,05
Метанол	0,1	-
Оксид вуглецю	3,0	3,0
Пари сірчаної кислоти	0,03	0,1
Сірководень	0,008	0,008
Сполуки фтору газоподібні (В перерахунку на F)	0,003	0,005
Формальдегід	0,003	0,003
Хлор	0,015	0,03

У ході виконання дослідження було встановлено, що під дією промислових газів у рослин з'являються порушення регулюючої функції продихів, руйнується протоплазма і хлоропласти, спостерігається потовщення стінок у клітинах палисадної паренхіми, збільшується проникливість клітинних оболонок, відбувається деформація клітин мезофілу, пригнічується процес поділу і розтягання клітин. Також відчутно знижується інтенсивність транспірації, пригнічується фотосинтез (в 1,5–2 рази). Надалі у рослин спостерігаються пригнічення росту та розвитку надземної частини і кореневої системи. Під впливом токсичних речовин у рослин спостерігається некроз, побуріння або скручування листя, зменшення розмірів, часткове або повне опадання хвої та листя. Загалом перелік негативних наслідків є досить різноманітним та неспецифічним, оскільки одна шкідлива речовина здатна викликати у різних видів рослин різні

ефекти, тоді як один ефект може бути спричиненим різними речовинами.

Токсична дія SO₂ проявляється в ушкодженні поверхні листя або хвої через руйнування в них хлорофілу. Рослинність, яка щорічно скидає листя, менше піддається впливу SO₂, ніж хвойна. За умови вмісту SO₂ в повітрі 0,23–0,32 мг/м³ відбувається порушення процесів фотосинтезу, що призводить до загибелі рослинності. Двооксид азоту в концентрації 4–6 мг/м³ зумовлює значні пошкодження рослин. Тривала дія NO₂ за концентрації, меншої, ніж 2 мг/м³, призводить до хлорозу рослин. Менші концентрації хоч і не завдають рослинам помітної шкоди, проте гальмують їхній ріст. За дослідженнями автора [9] дія забруднюючих речовин призводить до пошкодження асиміляційних органів, зниження біологічної продуктивності рослин, скорочення періоду вегетації та тривалості життя міських зелених насаджень.

Беручи до уваги усе вищезазначене, проблема запобігання забруднення атмосфери густонаселених промислових міст потребує нагального вирішення. За існуючого підходу до контролю й управління якістю атмосферного повітря питання забезпечення високої гарантованої якості атмосферного повітря в населених місцях для рослин все за залишається без розв'язання. Важливо зазначити, що за досягнення достатньої якості з високою імовірністю гарантується відсутність негативного впливу забруднень атмосферного повітря на рослини.

Вплив забруднення атмосферного повітря на рослини характеризується концентраціями в повітрі шкідливих для них речовин. Ці концентрації розглянуті як випадкові величини, розподіл їх в приземному шарі атмосфери описується випадковим векторним полем, що в заданій точці місцевості перетворюється у векторну випадкову величину C^* . Аналогічно векторними випадковими величинами розглядаються і допустимі концентрації C_d .

Тоді для досягнення високої якості повітря необхідно забезпечити з високою імовірністю P відсутність перевищення концентраціями забруднень допустимих за нормативами для рослин величин.

Таким чином, для рішення задачі необхідно визначити імовірність P і способи управління нею, де

$$P = P(C^* < C_{дон}) = P(C^* - C_{дон} < 0).$$

Для визначення імовірностей P з використанням дослідження даних вимірів використано визначення статистичної імовірності деякої події:

$$P = m / n, \quad (1)$$

де m – число появи деякої події; n – число випробувань.

У задачі, що розглядається, подія – це не перевищення концентрацією забруднюючої речовини (ЗР) своєї гранично допустимої концентрації (ГДК), а величина n – число вимірів концентрацій.

В [10] введено поняття імовірності якості приземного шару атмосферного повітря в населених місцях, в якому буде відсутнє з імовірністю P перевищення максимальною або середньодобовою концентрацією хоча б однієї ЗР своєї ГДК_{мр} або ГДК_{сд}. Якщо імовірність P близька до 1, то таку якість по показникам ГДК_{мр} та ГДК_{сд} будемо називати гарантованою. Виходячи з цього, рівень гарантованої якості буде визначатися величиною імовірності P .

Для характеристики та аналізу гарантованої якості введені її складові:

а) гарантована якість по окремим j -тим речовинам:

– з максимальними концентраціями $C_{мрj}$ в повітрі, що по величині мають імовірність $P_{мрj}$ не перевищення ГДК_{мрj};

– з середньодобовими концентраціями $C_{сдж}$ в повітрі, що по величині мають імовірність $P_{сдж}$ перевищення ГДК_{сдж};

б) гарантована якість по системі $j=1, 2, \dots, n$ ЗР речовин:

– з максимальними концентраціями ($C_{мр1}, C_{мр2}, \dots, C_{мрn}$) у повітрі, що по величині мають імовірність $P_{мр}$ не перевищення концентрацією хоча б однієї ЗР своєї ГДК_{мрj};

– з середньодобовими концентраціями ($C_{сд1}, C_{сд2}, \dots, C_{сдn}$) у повітрі, що по величині мають імовірність $P_{сд}$ не перевищення концентрацією хоча б однієї ЗР своєї ГДК_{сдж}.

Гарантовану якість повітря з імовірністю P та її складовою з ймовірностями $P_{мрj}, P_{сдж}, P_{мр}, P_{сд}$ визначимо за даними вимірів на стаціонарних постах Гідрометцентру. Для визначення гарантованої якості повітря будемо оцінювати шукані ймовірності, виходячи з наступного:

$$P = \frac{m_\Sigma}{4n}, \quad (2)$$

де m_Σ – число не перевищень максимальною або середньодобовою концентрацією хоча б однієї ЗР своєї ГДК_{мр} або ГДК_{сд}, n – число діб, за які проводиться дослідження, 4 – число вимірів за добу.

Решта ймовірностей буде мати вигляд:

$$P_{мрj} = \frac{m_{mj}}{4n}, \quad (3)$$

де m_{mj} – число не перевищень j -тою максимальною концентрацією своєї ГДК_{мрj};

$$P_{сдж} = \frac{m_{cj}}{n}, \quad (4)$$

де m_{cj} – число не перевищень j -тою середньодобовою концентрацією своєї ГДК_{сдж};

$$P_{мр} = \frac{m_m}{4n}, \quad (5)$$

де m_m – число не перевищень максимальною концентрацією хоча б однієї ЗР своєї ГДК_{мрj};

$$P_{сд} = \frac{m_c}{n}, \quad (6)$$

де m_c – число не перевищень середньодобовою концентрацією хоча б однієї ЗР своєї ГДК_{сдж}.

Якщо імовірність P близька до 1 (дорівнює не менше 0,993–0,997), то така якість повітря буде гарантованою в протилежному випадку – ймовірною якістю.

Якщо імовірність P близька до 1 (дорівнює не менше 0,993–0,997), то така якість повітря буде гарантованою в протилежному випадку – ймовірною якістю.

Матеріали і методи досліджень. Дослідження проводились з використанням наукового пошуку та узагальнення даних літературних джерел – при аналізі впливу забруднювачів повітря на здоров'я рослини, теоретичних основ екології, теорії ймовірностей та математичної статистики, обчислювальних методів.

Результати. Оцінка гарантованої якості атмосферного повітря проведена з використанням середньодобових концентрацій ЗР над територією парку ім. Т. Г. Шевченка, м. Дніпро. Оцінка була проведена за даними спостережень на стаціонарному

посту № 10 міста, що проводились Лабораторією Гідрометцентру, м. Дніпро. Оцінка проводилась за вимірами середньодобових концентрацій забруднюючих речовин: пилу $C_{\text{сд1}}$, діоксиду сірки $C_{\text{сд2}}$, оксиду вуглецю $C_{\text{сд3}}$, діоксиду азоту $C_{\text{сд4}}$, формальдегіду $C_{\text{сд5}}$. Величини ГДК $_{\text{сдj}}$ для цих ЗР відповідно надані в таблиці 3.

Таблиця 3

Величини ГДК $_{\text{сдj}}$ для забруднюючих речовин

ГДК $_{\text{сдj}}$	ГДК $_{\text{сд1}}$	ГДК $_{\text{сд2}}$	ГДК $_{\text{сд3}}$	ГДК $_{\text{сд4}}$	ГДК $_{\text{сд5}}$
мг/м ³	0,15	0,05	3	0,04	0,003

Величини середньодобових концентрацій розглянуті для 147 діб, тобто в нашому випадку $n=147$. У результаті обробки даних спостережень і розрахунків за формулами (4), (6) ймовірностей $P_{\text{сдj}}$, $P_{\text{сд}}$, що наведені в таблиці 4, $P_{\text{сд1}}=0,053$ (при $m_{\text{сд1}}=5$); $P_{\text{сд2}}=1$ (при $m_{\text{сд2}}=147$); $P_{\text{сд3}}=0,986$ (при $m_{\text{сд3}}=145$); $P_{\text{сд4}}=0,047$ (при $m_{\text{сд4}}=7$); $P_{\text{сд5}}=0,163$ (при $m_{\text{сд5}}=24$).

Таблиця 4

Результати оцінки величин $P_{\text{сдj}}$

$P_{\text{сд1}}$	$P_{\text{сд2}}$	$P_{\text{сд3}}$	$P_{\text{сд4}}$	$P_{\text{сд5}}$
0,053	1	0,986	0,047	0,163
$m_{\text{сд1}}$	$m_{\text{сд2}}$	$m_{\text{сд3}}$	$m_{\text{сд4}}$	$m_{\text{сд5}}$
5	147	145	7	24

Ймовірність від сумарної дії від усіх ЗР дорівнює $P=0$, так як не за одну добу не спостерігалась відсутність перевищення концентраціями хоча б однієї ЗР своєї ГДК $_{\text{сдj}}$. Із цих даних слідує, що локальну гарантовану якість атмосферного повітря досягнуто тільки для забруднення діоксиду сірки, SO_2 і оксиду вуглецю, CO .

Досить низькі ймовірності не перевищення своїх ГДК $_{\text{сдj}}$ пилом, діоксидом азоту і формальдегідом

привели до того, що сумарна для середньодобових концентрацій гарантована якість атмосферного повітря над територією парку ім. Т. Г. Шевченко не досягається. Це не гарантує відсутності можливості впливу забруднення атмосфери на рослини у парку ім. Т. Г. Шевченко, м. Дніпро, і ймовірності значного пошкодження рослин та їх захворювання.

Головні висновки. Визначено, що рослинам властива висока чутливість до забруднення атмосферного повітря. Вказано, що їх стан відображає наявність викидів чи вмісту пріоритетних забруднювачів атмосфери, хоча найхарактерніші ознаки їх впливу на рослини проявляються переважно при високих концентраціях.

У проблемі екологічної безпеки введено нове поняття: гарантована якість атмосферного повітря для рослин, яке ми розуміємо як таку якість, за досягнення якої з високою імовірністю гарантується відсутність перевищення концентраціями забруднюючих речовин своїх допустимих величин, за яких вплив забруднень на рослини відсутній.

Розроблено науковий підхід для побудови математичних моделей з метою визначення гарантованої якості атмосферного повітря для рослин та управління нею в прогностичних дослідженнях та на основі показників досліджень.

Перспективи використання результатів дослідження. Для підвищення екологічності умов життя населення рослини в міській забудові виконують багато функцій: очищають забруднене повітря, зменшують рівні шуму та пилу, зволожують повітря, впливають на мікроклімат міста, створюють гарні умови для відпочинку. Для підтримки необхідного рівня сталості зелених насаджень у міській забудові необхідно забезпечення гарантованої якості атмосферного повітря для рослин, оцінка якої може застосовуватися для вирішення проблем міського середовища.

Література

1. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року: Указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019> (дата звернення: 14.02.2021).
2. Городские зеленые зоны: краткое руководство к действию / Европейское региональное бюро Всемирной организации здравоохранения. 2017. 24 с.
3. Bytnerowicz A., Omara K., Paoletti E. Integrated effects of air pollution and climate change on forests: A northern hemisphere perspective. *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 147. P. 438–445. Doi: 10.1016/j.envpol.2006.08.028
4. Nowak D.J., Hirabayashi S., Bodine A., Greenfield E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*. 2014. 193. P. 119–129. DOI: 10.1016/j.envpol.2014.05.028
5. Ren, Y. et al. Air quality and health effects of biogenic volatile organic compounds emissions from urban green spaces and the mitigation strategies. *Environmental Pollution*. 2017. Vol. 230. P. 849–861.
6. Горова А. І., Бучайчук Ю. В. Оцінка ступеня озеленення санітарнозахисних зон промислових підприємств Дніпропетровська. *Екологія та здоров'я*, 2016. № 2. С. 35–38.
7. Непошивайченко Н.О. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 70 с.
8. Ганаба Д. Пилове навантаження на деревні насадження міста Хмельницького. *Вісник Черкаського університету*. Сер.: Біол. науки. 2015. № 19. С. 55–60.
9. Рудь Н. В. Оцінка екологічного ризику впливу забруднення навколишнього середовища на рослинність Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України. *Інтродукція рослин*. 2013. № 1. С. 98–101.
10. Білик Є. Ю., Поліщук С. З., Полторацька В. М., Фалько В. В., Гильов В. В. Поняття гарантованої якості атмосферного повітря та її оцінка. Енергетика, екологія, безпека життєдіяльності та комп'ютерні технології у будівництві: колективна монографія. ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»; під загальною редакцією д.т.н., проф. М. В. Савицького. Дніпро, 2018. С. 23–29.