

УДК (UDC): 502/504

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-02>

**О. М. ПАСТЕРНАК<sup>1</sup>**, канд. хім. наук, доц., **С. В. ДАНИЛОВА<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Маріупольський державний університет,*  
проспект Будівельників, 129-а, м. Маріуполь, 87500, Україна

e-mail: [o.pasternak@mdu.in.ua](mailto:o.pasternak@mdu.in.ua)  
[s.danylova@mdu.in.ua](mailto:s.danylova@mdu.in.ua)

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

**Мета.** Проаналізувати міжнародний досвід визначення стану атмосферного повітря, провести порівняльний аналіз інтегральних показників якості атмосферного повітря на прикладі міста Маріуполь.

**Методи.** Обробка та аналіз даних моніторингу атмосферного повітря проводились розрахунковими, статистичними та графічними методами.

**Результати.** Дослідження якості атмосферного повітря міста Маріуполь проводиться на 2-х постах Автоматизованої системи моніторингу довкілля у Донецькій області та 13-ти автоматичних постах спостереження (АПС) на кордонах санітарно-захисних зон (СЗЗ) підприємств міста. В результаті аналізу даних розраховано середній відсоток забруднюючих речовин, підіндекси та індекси якості атмосферного повітря за нормативами України, ЕЕА, ЕРА в 2020 році. Використовуючи дані Автоматизованої системи моніторингу довкілля Донецької області розраховано середньомісячні концентрації забруднюючих речовин за даними регіональних постів та автоматичних постів спостереження на межі санітарно-захисних зон. Для оцінки якості атмосферного повітря використано набір даних: зважені частинки, озон, нітроген та сульфур діоксиди, які використовуються для розрахунку світових показників якості повітря. Виявлена тенденція збільшення зміни концентрації формальдегіду в атмосфері міста протягом 2017 – 2020 рр.

**Висновки.** Розраховано середній відсоток забруднюючих речовин, підіндекси та індекси якості атмосферного повітря м. Маріуполь за нормативами України, ЕЕА, ЕРА. Отримані результати відрізняються за кількісними значеннями, але за шкалою якості повітря подібні.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** атмосферне повітря, індекс забруднення атмосфери, санітарно-захисна зона, формальдегід, Air Quality Index

**Pasternak O. M.<sup>1</sup>, Danylova S. V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Mariupol State University, 129a, Budivelnkyiv Ave., Mariupol, 87500, Ukraine*

### COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA OF ATMOSPHERIC AIR MONITORING SYSTEMS

**Purpose.** To analyze the international experience in determining the state of atmospheric air, to conduct a comparative analysis of integrated indicators of atmospheric air quality on the example of the city of Mariupol.

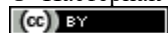
**Methods.** Processing and analysis of atmospheric air monitoring data were performed by calculation, statistical and graphical methods.

**Results.** The study of the air quality of the city of Mariupol is carried out at 2 posts of the Automated Environmental Monitoring System in the Donetsk region and 13 automatic monitoring posts (AMP) at the borders of sanitary protection zones (SPZ) of the city enterprises. As a result of data analysis, the average percentage of pollutants, sub-indices and air quality indices according to the standards of Ukraine, EEA, EPA in 2020 were calculated. The obtained results differ in quantitative values, but on the scale of air quality are similar. Using the data of the Automated Environmental Monitoring System of Donetsk region, the average monthly concentrations of pollutants were calculated according to the data of regional posts and automatic monitoring posts on the border of sanitary protection zones. To assess the quality of atmospheric air, a data set was used: suspended particles, ozone, nitrogen and sulfur dioxide, which are used to calculate global air quality indicators. There is a tendency to increase the change in the concentration of formaldehyde in the atmosphere of the city during 2017 - 2020.

**Conclusions.** The average percentage of pollutants, sub-indices and indices of air quality in Mariupol according to the standards of Ukraine, EEA, EPA are calculated. The obtained results differ in quantitative values, but on the scale of air quality are similar.

**KEY WORDS:** atmospheric air, air pollution index, sanitary protection zone, formaldehyde, Air Quality Index

© Пастернак О. М., Данилова С. В., 2021



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Пастернак Е. Н.<sup>1</sup>, Данилова С. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Мариупольський державний університет, проспект Строителей, 129-а, г. Мариуполь, 87500, Україна

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

**Цель.** Проаналізувати міжнародний досвід визначення стану атмосферного повітря, провести порівняльний аналіз інтегральних показників якості атмосферного повітря на прикладі міста Мариуполь.

**Методи.** Обробка і аналіз даних моніторингу атмосферного повітря проводились розрахунковими, статистическими і графіческими методами.

**Результати.** Исследования качества атмосферного воздуха города Мариуполь проводится на 2-х постах Автоматизированной системы мониторинга окружающей среды в Донецкой области и 13-ти автоматических постах наблюдения (АПН) на границах санитарно-защитных зон (СЗЗ) предприятий города. В результате анализа данных рассчитан средний процент загрязняющих веществ, подиндексы и индексы качества атмосферного воздуха по нормативам Украины, ЕЕА, ЕРА в 2020 году. Используя данные Автоматизированной системы мониторинга окружающей среды Донецкой области рассчитаны среднемесячные концентрации загрязняющих веществ по данным региональных постов и автоматических постов наблюдения на границе санитарно-защитных зон. Для оценки качества атмосферного воздуха использован набор данных: взвешенные частицы, озон, оксид и диоксиды серы, которые используются для расчета мировых показателей качества воздуха. Выявлена тенденция увеличения изменения концентрации формальдегида в атмосфере города в течение 2017 - 2020 гг.

**Выводы.** Рассчитан средний процент загрязняющих веществ, подиндексы и индексы качества атмосферного воздуха г. Мариуполь по нормативам Украины, ЕЕА, ЕРА. Полученные результаты отличаются по количественным значениям, но по шкале качества воздуха подобны.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** атмосферный воздух, индекс загрязнения атмосферы, санитарно-защитная зона, формальдегид, Air Quality Index

## Вступ

Зміна клімату є однією з найбільших екологічних проблем, що стоять сьогодні перед суспільством. Збільшення кількості в атмосфері парникових газів штучного та природного походження (карбон діоксид, метан, нітроген оксиди, сульфур оксид та інші сполуки) і аерозольних частинок внаслідок людської діяльності змінило клімат із глибокими наслідками для суспільства. За даними Всесвітньої метеорологічної організації (2019 р.) середня глобальна температура Землі обумовлена природним парниковим ефектом зросла на 1,1 °С з доіндустріальної ери (1880 – 1900 рр.) [1].

Зміни температури зумовлені збільшенням викидів парникових газів, включаючи карбон діоксид, метан, нітроген оксиди та озон. Парникові гази поглинають інфрачервоне випромінювання, і збільшення їхнього вмісту в приземних шарах атмосфери внаслідок людської діяльності спричинило порушення теплового балансу атмосфери, що називається радіаційним впливом [2-3].

В роботі [4] показано, що контроль концентрації метану та карбон діоксиду може зменшити середнє глобальне потепління приблизно до 0,5 °С до 2050 року.

Початкова увага була зосереджена на метані, тропосферному озоні та карбон оксиді. Крім того, метан є попередником озону тропосфери, а озон і карбон оксиді забруднення повітря. Зменшення атмосферного надлишку цих короткочасних забруднень було би корисно для покращення якості повітря.

Тверді частинки – також відомі як частки атмосферних аерозолів, атмосферні тверді частинки, тверді частинки або зважені тверді частинки (ТЧ або РМ) – є мікроскопічними частинками з твердої або рідкої речовини зваженої в повітрі. Вони впливають на клімат та опади, що негативно позначається на здоров'ї людини, крім прямого вдихання.

Повітря на сьогоднішній день являє собою провідний об'єкт довкілля, з яким пов'язано найбільша частина всіх негативних впливів навколишнього середовища на здоров'я людини [5-7].

Спостереження за забрудненням атмосфери, що проводяться як складова частина державного моніторингу довкілля, здійснюються суб'єкти державної системи моніторингу довкілля, зокрема, представниками Міністерства природи та охорони довкілля (Державна екологічна інспекція), Державна служба

надзвичайних ситуацій (Державна гідрометеорологічна служба), Міністерство охорони здоров'я (санітарно-епідеміологічна служба), Центральної геофізичної обсерваторії та громадськістю [8].

Географічне розташування Маріуполя обумовлює особливі кліматичні умови. Протягом року вводять режим несприятливих метеорологічних умов, який заважає розсіюванню шкідливих домішок в повітрі, так званий режим «смогу». Масштаби негативного впливу на атмосферне повітря регулюються та контролюються на всіх рівнях, але якість атмосферного повітря не покращується. Тривалі викиди забруднюючих речовин, чинять негативний вплив на здоров'я людини, на екологічну систему міста.

Згідно даних комплексного індексу забруднення атмосферного повітря міст України у першому півріччі 2020 р. у м. Маріуполь рівень забруднення повітря оцінювався як дуже високий (КІЗА = 14,3). За значенням ІЗА

можна судити про ступінь забруднення атмосферного повітря та його динаміку [9].

Кожна країна світу стикається з проблемами забруднення атмосферного повітря, тому виникає необхідність не тільки вирішення цієї проблеми, а й приведення міжнародних комплексних показників забруднення атмосферного повітря до державних стандартів. Крім статистичних характеристик в різних країнах світу існує також безліч інтегральних та комплексних показників забруднення атмосферного повітря, наприклад, комплексний індекс забруднення атмосфери (КІЗА) [10-11], індекс якості атмосферного повітря AQI (Air Quality Index) [12-14], AQHI (Air Quality Health Index) [15-17], індекси BELATMO [18]. Для подальшого порівняльного аналізу вибрано КІЗА та AQI, який відбиває європейський досвід комплексного моніторингу атмосферного повітря та може бути адаптований до державних показників.

### Методика дослідження

В Україні для сумарної оцінки широко використовується комплексний індекс забруднення атмосфери (1), який враховує не тільки концентрації різних речовин, але і їх вплив на здоров'я людей:

При розрахунку КІЗА:

$$КІЗА = \sum_{i=1}^n \left( \frac{c_i}{ГДК_i} \right)^{k_i} \quad (1)$$

де  $n$  - число забруднюючих атмосферу речовин, що враховуються при визначенні індексу (зазвичай 5),

$c_i$  - середньодобова (річна) концентрація  $i$ -ої домішки в повітрі, мг/м<sup>3</sup>;

$k_i$  - показник шкідливості  $i$ -ої домішки, що залежить від класу небезпеки речовини (для речовин 1-го класу небезпеки дорівнює 1,5; для речовин 2-го - 1,3; третього - 1,0; четвертого - 0,85).

Сумарний ІЗА використовується для порівняння ступеня забруднення атмосфери в різних містах, проте це можливо лише в разі якщо вимірюються концентрації однакового набору речовин. Як показує практика, набір вимірюваних забруднюючих речовин в різних містах, більш того на різних постах одного міста, може розрізнятися [19-20]. В такому випадку розраховується ІЗА для кожної речовини, а потім складається

регресний варіаційний ряд отриманих величин. Вибираються речовини з найбільшими значеннями індексів, по яких і проводиться розрахунок, а за тим і порівняння сумарного індексу забруднення атмосфери.

ІЗА передбачається, що всі забруднюючі речовини, які не перевищують гранично допустимі концентрації, однаково впливають на організм людини, але із збільшенням їх концентрацій збільшується і ступінь їх шкідливості зростає з різною швидкістю, яка залежить від класу небезпеки речовини.

Для подальшого порівняльного аналізу вибрано КІЗА, AQI<sub>EU</sub> - який відбиває європейський досвід комплексного моніторингу атмосферного повітря та може бути адаптований до державних показників, а також модель світового індексу якості повітря AQI<sub>EPA</sub>.

Розрахунок AQI (формула 2) включає в себе етапи: визначити максимальні концентрації по всіх вимірах для кожної контрольованої території і округлити величини; знайти інтервал, в який потрапляє дана концентрація; обчислити числове значення індексу по формулі AQI за формулою:

$$I = \frac{I_{high} - I_{low}}{C_{high} - C_{low}}(C - C_{low}) + I_{low} \quad (2)$$

$I$  – значення індексу забруднення;  
 $C$  – усереднена концентрація забруднювальної речовини;  
 $C_{high}$  – межа інтервала, більша або рівна  $C$  ;  
 $C_{low}$  – межа інтервала, менша  $C$  ;  
 $I_{high}$  – значення AQI, яке відповідає  $C_{high}$ ;  
 $I_{low}$  – значення AQI, яке відповідає  $C_{low}$

Напрямку співставляти кількісні дані європейської AQI<sub>EU</sub> та американської моделі індексу якості повітря AQI<sub>EPA</sub> неможливо, тому що вони використовують різні стандарти. Для порівняння необхідно перевести значення концентрацій державного нормативу з  $\text{мкг}/\text{м}^3$  в  $\text{ppb}$  (*parts per billion*, одиниця

вимірювання концентрації, становить одну мільярдну частину). Конвертацію в  $\text{ppb}$  проведено для кожного конкретного значення (температура 20 °C, тиск 760 мм рт.ст.) за формулою (3) [21]:

$$C_{\text{EPA}} = C \cdot 24,05526 / M_r$$

або

$$C_{\text{EPA}} = C / K \quad (3)$$

$C_{\text{EPA}}$  – концентрація забруднювальної речовини за стандартом EPA,  $\text{ppb}$ ;

$C$  – концентрація забруднювальної речовини за європейським стандартом,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;

$M_r$  – молекулярна маса речовини;

$K$  – коефіцієнт конвертації, який дорівнює  $K(\text{NO}_2) = 1,25$ ;  $K(\text{SO}_2) = 2,66$ ;  $(\text{O}_3) = 2$ ;  $K(\text{CO}) = 1,17$ .

### Результати досліджень

Проаналізовано інформацію щодо вмісту в атмосферному повітрі в межах м. Маріуполь основних та деяких специфічних забруднюючих речовин: амоніак, пил, нітроген діоксид, сульфур діоксид, карбон діоксид, фенол, формальдегід [22]. Обласні автоматизовані пости спостереження проводять вимірювання за забрудненнями: тверді частки розміром 2,5 та 10  $\text{мкм}$ , карбон оксид, нітроген оксиди, сульфур діоксид, озон, фенол, формальдегід. Всі ці речовини відносяться до списку забруднюючих речовин, що підлягають моніторингу згідно «Порядку організації та проведення моніторингу атмосферного повітря» 2019 року.

Для моніторингу стану атмосферного повітря в м. Маріуполь використовувались дані з постів Автоматизованої системи моніторингу довкілля у Донецькій області за 2020 рік [9] (пости розташовані за адресою ОАПС-02 пр. Металургів, 112, ОАПС-03 пр. Перемоги, 21), також мережі автоматичних постів спостереження (АПС) на кордонах санітарно-захисних зон (СЗЗ) підприємств міста. Кількість постів на кордонах санітарно-захисних зон: ММК ім. Ілліча – 5, ПрАТ МК «Азовсталь» – 4, ДП «Маріупольський морський торговельний порт» (сміттєспалювальна піч), ПрАТ «Азовелектросталь» по 1, СЗЗ ТОВ «Сателіт» – 2.

Проведено аналіз відстані між обласними автоматизованими постами спостереження та постами на кордоні СЗЗ підприємств. Для подальшого аналізу обрано пости

відстань між якими мінімальна: ОАПС-03 та АПС-43 – 650 м; ОАПС-02 та АПС-44 – 1900 м.

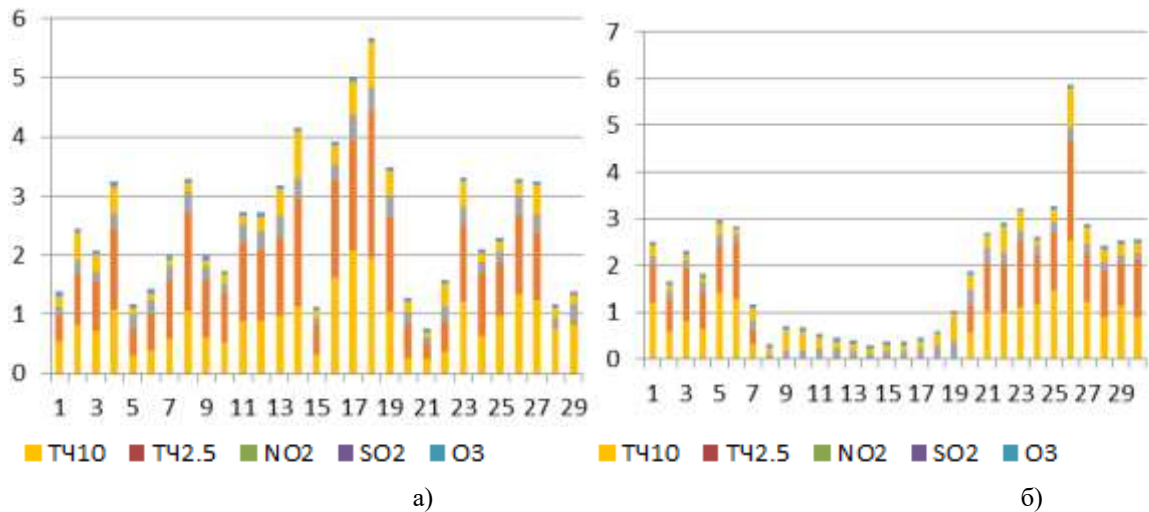
Для розрахунку ІЗА використовувались показники: тверді частинки 2,5 та 10  $\text{мкм}$ , нітроген діоксид, озон, сульфур діоксид. Такий набір вихідних даних обрано для узгодження державних та європейських комплексних показників, бо саме такий набір використовується для розрахунку індексу якості повітря згідно Європейського екологічного агентства. На основі ІЗА складових за формулою розраховано середньодобові значення комплексного індексу забруднення атмосфери (КІЗА).

Аналіз даних зміни середньомісячних концентрацій ЗР, показав що по  $\text{NO}_2$  і  $\text{SO}_2$  рівень забруднення в цілому не перевищує ГДКсд. Вміст  $\text{TCH}_{10}$ ,  $\text{TCH}_{2.5}$ ,  $\text{O}_3$  в атмосферному повітрі стабільно перевищував ГДКсд в 2-3 рази.

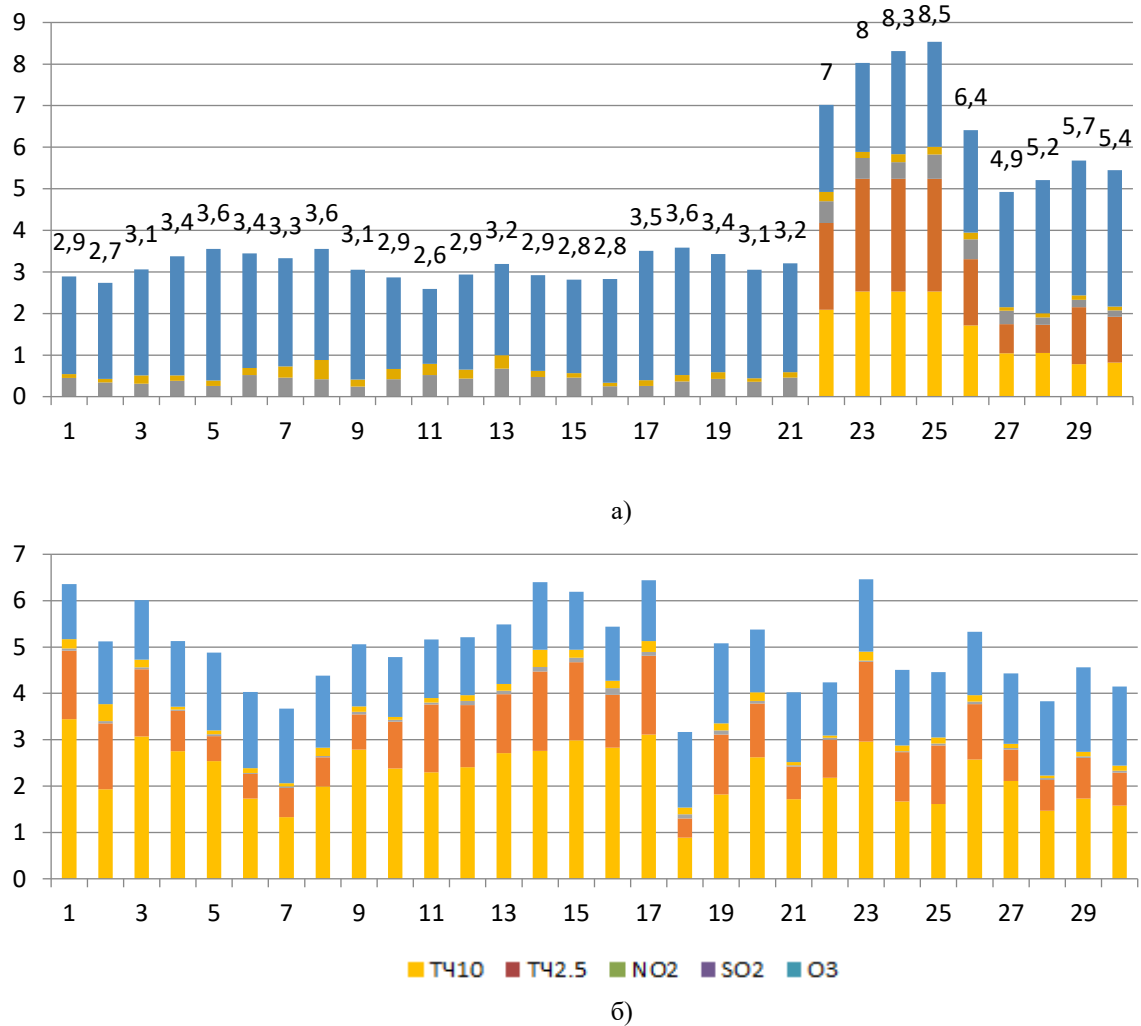
Аналіз отриманих величин ІЗА показує, що кожне забруднення дає свій внесок в величину КІЗА. Значення перебувають у діапазоні, що варіюється від низького до високого рівню забруднення атмосфери.

Розрахункові значення КІЗА представлені на графіках динаміки змін на рис. 1, 2.

Аналіз даних показав що КІЗА змінюється від 1 до 8. Показники динаміки зміни КІЗА в м. Маріуполі з 2000-2016 р. [23] визначив значення показника в межах від 7 – 20, що характеризується як високий рівень забруднення. Аналіз динаміки зміни комплексного ІЗА м. Маріуполь за період дослідження (рис. 1, 2) показав що в 2020 році



**Рис. 1** – Динаміка зміни КІЗА за даними ОАПС-03 м. Маріуполь за твердими частками, нітроген діоксидом, сульфур діоксидом, озонем: а) лютий 2020; б) травень 2020  
**Fig. 1** – Changes of IAQI according to RAOP-03 (Regional Automatic Observation Posts) Mariupol on solid particles, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, ozone: a) February 2020; b) May 2020



**Рис. 2** – Динаміка зміни КІЗА за даними ОАПС-03 м. Маріуполь за твердими частками, нітроген діоксидом, сульфур діоксидом, озонем: а) серпень 2020; б) листопад 2020  
**Fig. 2** – Changes of IAQI according to RAOP-03 of Mariupol on solid particles, nitrogen dioxide, sulfur dioxide, ozone: a) August 2020; b) November 2020

середній відсоток («внесок») забруднюючих речовин в КІЗА становить (табл. 1): ТЧ10 – 33 %; ТЧ2.5 – 28 %; NO<sub>2</sub> – 9 %, SO<sub>2</sub> – 10 %; O<sub>3</sub> – 20 %. Основними забруднювальними речовинами є тверді частинки та озон. Середнє значення КІЗА = 3,9 згідно шкали характеризується, як низький рівень забруд-

нення. Отриманий результат не узгоджується з результатами розрахунку КІЗА = 14,3 за I півріччя 2020 року за даними мережі спостережень Національної гідрометслужби України згідно [24]. Розбіжність пояснюється вибором підіндексів.

**Таблиця 1**  
**Середній відсоток («внесок») забруднюючих речовин в КІЗА ОАПС-03**

**Table 1**

**The average percentage ("contribution") of pollutants in IAQI RAOP-03**

Місяць	ТЧ10	ТЧ2.5	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	КІЗА
січень	43	29	11	13	4	2,7
лютий	36	37	12	12	3	2,4
березень	30	40	11	15	4	2,7
травень	25	23	20	24	8	1,8
серпень	7	8	10	5	70	4,2
вересень	33	40	6	2	19	6,5
жовтень	45	29	3	2	21	5,5
листопад	45	21	1	3	30	5,0
Ср.знач	33	28	9	10	20	3,9

З даних визначено (табл. 1), що основний внесок в КІЗА вносять тверді частки та озон. Максимальний внесок ІЗА озон влітку (70 %), що пояснюється фізико-хімічними процесами атмосфери.

Також значний інтерес представляє собою динаміка зміни вмісту в атмосферному повітрі формальдегіду. Аналіз попередніх років [25] показав перевищення середньорічних концентрацій забруднюючих речовин у Маріуполі: протягом 2019 року завісили речовини – 1,06 ГДКс.д., діоксид азоту – 1,5 ГДКс.д., фенол – 2,0 ГДКс.д., формальдегіду – 7,0 ГДКс.д.; протягом 2018 року: завісили речовини – 1,3 ГДКс.д., діоксид азоту – 1,75 ГДКс.д., фенол – 2,0 ГДКс.д., формальдегіду – 6,0 ГДКс.д. Значні перевищення

формальдегіду до 10 ГДК в повітрі міста в весняно-осінній період, які пояснюються температурним та режимом сонячного випромінювання.

Кількісні значення динаміки перевищення середньомісячних гранично допустимих концентрацій формальдегіду протягом 2017 – 2018р. в м. Маріуполь представлені в таблиці 2.

За даними Автоматизованої системи моніторингу значного перевищення концентрацій формальдегіду, які могли би привести до збільшення КІЗА, не спостерігається: протягом 2020 року абсолютні концентрації або не перевищують ГДК, або не вимірюються внаслідок проведення технічних робіт.

**Таблиця 2**  
**Перевищення (кількість разів) середньомісячних ГДК формальдегіду на постах Донецького регіонального центру з гідрометеорології [26]**

**Table 2**

**Exceeding (times) the average monthly MPC of formaldehyde at posts Donetsk Regional Center for Hydrometeorology [26]**

Рік	I	II	III	IV	V	VI	VII	IX	X	XI
2018	4,3	3,4	2,6	4,8	8,9	7,7	8,5	8,4	6,1	–
2017	3,9	4,9	5,5	–	–	9,1	9,1	7,8	6,8	5,2

Аналіз усіх даних показує, що в загальному спостерігаємо 12 перевищень з загальної вибірки, що складає приблизно 25 – 30 %. Перевищення ГДК спостерігається в

більшості за зваженими частинками. Середнє значення комплексного індексу забруднення повітря за досліджений період 4,1 (табл. 3).



Таблиця 3  
Середньомісячні концентрації забруднюючих ( $C_{с.д.}$  (мкг/м<sup>3</sup>)) речовин, розраховані значення ІЗА та КІЗА за 2020 рік за даними ОАПС-03 м.Маріуполь

Table 3  
Average monthly concentrations of pollutants (SSD ( $\mu\text{g} / \text{m}^3$ )) of substances calculated by ISA values and IAQI for 2020 according to RAOP-03Mariupol

Місяць	$C_{с.д.}$ (мкг/м <sup>3</sup> )					$C_{с.д.}$ /ГДК					КІЗА
	ТЧ <sub>10</sub>	ТЧ <sub>2,5</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	ТЧ <sub>10</sub>	ТЧ <sub>2,5</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	
січень	39,9	14,61	10,16	17,12	5,81	1,1	0,9	0,3	0,3	0,2	2,7
лютий	30,71	17,46	10,39	14,55	5,14	0,9	1	0,3	0,3	0,2	2,6
березень	36,25	19,13	8,42	14,39	5,25	1	1,1	0,2	0,3	0,2	2,7
травень	22,59	10,51	8,05	13,77	5,28	0,6	0,6	0,2	0,3	0,2	1,8
серпень	17,7	8,93	15,44	8,47	56,55	0,5	0,5	0,4	0,2	1,9	4,2
вересень	61,56	45,79	13,92	6,6	56,97	1,8	2,7	0,3	0,1	1,9	7,5
жовтень	84,58	26,49	5,59	4,97	45,5	2,4	1,6	0,1	0,1	1,5	6
листопад	79,33	18,22	2,14	7,11	38,27	2,3	1,1	0,1	0,1	1,3	5,1
срзнач	45,3	19,8	12,7	15,2	27,6	1,3	1,2	0,2	0,2	0,9	4,1

Таблиця 4  
Індекс якості повітря європейський (AQI<sub>EU</sub>) м. Маріуполь 2020 р.

European Air Quality Index (AQIEU) Mariupol 2020

Місяць	$C_{с.д.}$ (мкг/м <sup>3</sup> )					AQI <sub>EU</sub>
	ТЧ <sub>10</sub>	ТЧ <sub>2,5</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	
січень	39,90	14,61	10,16	17,12	5,81	40
лютий	30,71	17,46	10,39	14,55	5,14	31
березень	36,25	19,13	8,418	14,39	5,25	36
травень	22,59	10,51	8,05	13,77	5,28	23
серпень	17,70	8,93	15,44	8,47	56,55	57
вересень	61,56	45,79	13,92	6,60	56,97	62
жовтень	84,58	26,49	5,59	4,97	45,50	85
листопад	79,33	18,22	2,14	7,11	38,27	80

Результати зіставлення комплексного ІЗА з пороговими значеннями згідно шкали європейського індексу якості повітря AQI<sub>EU</sub>, представлені в таблиці 4. AQI заснований на стандартах якості повітря і приймає до уваги як охорону здоров'я людини так і стан навколишнього середовища, він повідомляє про єдину, найнебезпечнішу із забруднюючих речовин. Отримані результати оцінюються як добрі за нітроген, сульфур оксидами та озоном. За зваженими частинками достатньо добрий, помірно, небезпечний стан повітря.

Комплексний показник в 1 з 8 випадків визначається, концентрацією озону, в усіх інших випадках концентрацією зважених частинок. В 3 з 8 випадків, спостерігається небезпечний стан повітря.

Процес зіставлення комплексного ІЗА з моделлю світового індексу якості повітря

AQI<sub>ЕРА</sub> в м. Маріуполь проводився за даними сайту з 15-ти пунктів моніторингу, за розташуванням більшість співпадає з автоматизованими пунктами спостереження. На всіх пунктах присутні показники: PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub>, дані за вмістом O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO не представлені.

Напряму співставляти кількісні дані європейської AQI<sub>EU</sub> та американської моделі індексу якості повітря AQI<sub>ЕРА</sub> неможливо, тому що вони використовують різні стандарти. Конвертацію здійснено мг/м<sup>3</sup> → ppb для O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>. Концентрації PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub> використано в мг/м<sup>3</sup> згідно формули AQI<sub>ЕРА</sub> для оцінки підіндексу необхідно округлити до цілих значень. Отримані результати наведено в таблиці 5.

Розрахунок підіндексу AQI<sub>ЕРА</sub> через концентрацію виконувався через калькулятор підіндексу якості атмосферного повітря [27], що аналогічно розрахунку за робочою формулою. Таким чином для кожного

конкретного значення всередині кожної вибірки визначався інтервал і розраховувалась величина за формулою для розрахунку  $AQI_{EPA}$ .

З даних таблиці 5 визначено, що підіндекси забруднюючих речовин переважно знаходяться в безпечному інтервалі, зокрема

сумарний показник  $\Sigma AQI_{EPA}$  обумовлений поточними концентраціями зважених часток  $PM_{2,5}$

Результати зіставлення розрахованих інтегральних показників якості повітря за 2020 рік м. Маріуполь наведені в табл. 6.

Таблиця 5

Індекс якості повітря світовий ( $AQI_{EPA}$ ) м. Маріуполь 2020 р.

Table 5

World Air Quality Index ( $AQI_{EPA}$ ) Mariupol 2020

	C <sub>с.д.</sub> (мкг/м <sup>3</sup> )		C <sub>с.д.</sub> , ppb			(AQI <sub>EPA</sub> ) <sub>i</sub>					AQI <sub>EPA</sub>
	ТЧ <sub>10</sub>	ТЧ <sub>2,5</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	ТЧ <sub>10</sub>	ТЧ <sub>2,5</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>	
січень	40	15	5,75	6,38	3,0	37	57	6	9	3	57
лютий	31	17	5,75	5,63	2,5	29	61	6	9	3	61
березень	36	19	4,18	5,26	2,5	33	66	4	7	3	66
травень	23	11	4,18	5,26	2,5	21	46	4	7	3	46
серпень	18	9	7,84	3,0	29	17	38	8	3	27	38
вересень	62	46	7,32	2,63	29	54	127	7	3	27	127
жовтень	85	26	3,14	1,88	23	66	166	3	3	21	166
листопад	79	18	1,05	2,63	19	63	163	1	3	18	163

Таблиця 6

Інтегральні показники якості повітря за 2020 рік за даними ОАПС-03 м. Маріуполь

Table 6

Integrated indicators of air quality for 2020 according to RAOP-03 Mariupol

	C <sub>с.д.</sub> (мкг/м <sup>3</sup> )					КІЗА	AQI <sub>EU</sub>	AQI <sub>EPA</sub>
	ТЧ <sub>10</sub>	ТЧ <sub>2,5</sub>	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>			
січень	39,9	14,61	10,16	17,12	5,81	2,7	40	57
лютий	30,71	17,46	10,39	14,55	5,14	2,6	31	61
березень	36,25	19,13	8,42	14,39	5,25	2,7	36	66
травень	22,59	10,51	8,05	13,77	5,28	1,8	23	46
серпень	17,7	8,93	15,44	8,47	56,55	4,2	57	38
вересень	61,56	45,79	13,92	6,6	56,97	7,5	62	127
жовтень	84,58	26,49	5,59	4,97	45,5	6	85	166
листопад	79,33	18,22	2,14	7,11	38,27	5,1	80	163

Аналіз забруднюючих речовин, який використовується майже в усіх реалізованих моделях якості повітря, обумовлює однакові якісні результати, не дивлячись на різні кількісні результати. За даним набором забруднюючих речовин не можливо комплексно судити про якість повітря, зв'язок між основними джерелами викидів з атмосферою,

дослідження складу атмосфери, наукові проблеми, що мають суспільне значення, і подальший вибір суспільства та сфери впливу. Дослідження в галузі оцінки якості атмосфери допомагають створити прогнозуючу здатність щодо майбутніх умов довкілля, що може вказувати на ймовірний вплив різних видів промисловості на суспільство.

### Висновки

Індекс забруднення атмосферного повітря є комунікаційним інструментом, який використовується державними та громадськими органами для сповіщення населення про поточний стан якості повітря.

Необхідність подібного показника полягає в тому, що абсолютні концентрації забруднюючих речовин в масових одиницях мг/м<sup>3</sup> в атмосферному повітрі можуть бути зрозумілими вузькому колу фахівців. Більшість



населення не зрозуміє прямих результатів вимірювання, ще менша кількість людей може зробити висновок про очікувані наслідки. Саме тому, необхідно перетворювати поточні концентрації забруднення в показник, який відбиває взаємозв'язок між даними моніторингових спостережень і наслідками для здоров'я людини.

У різних країнах по-різному розраховують індекс якості повітря. Абсолютних способів його обчислення не існує. Показники якості повітря інформує про регульовані забруднення та їх ймовірний вплив на здоров'я.

Проаналізувавши дані Автоматизованої системи моніторингу довкілля Донецької області розраховано середньомісячні концентрації забруднюючих речовин за даними регіональних постів та автоматичних постів спостереження на межі санітарно-захисних зон. Для оцінки якості атмосферного повітря

використано набір даних: зважені частинки, озон, нітроген та сульфур діоксиди, які використовуються для розрахунку світових показників якості повітря.

Розраховано середній відсоток забруднюючих речовин, підіндекси та індекси якості атмосферного повітря м. Маріуполь за нормативами України, ЕЕА, ЕРА. Отримані результати відрізняються за кількісними значеннями, але за шкалою якості повітря подібні. Врахування в вихідному наборі даних по формальдегіду, значно збільшує кількісне значення ІЗА.

Виявлена тенденція збільшення особливості зміни концентрації формальдегіду в атмосфері міста протягом 2017 – 2020 рр. Підвищення концентрації домішки в атмосфері пов'язано з підвищенням хімічної активності атмосфери в теплий період року та підвищенням загальної кількості викидів в атмосферу.

### Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

### Література

1. NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019, published online January 2020, <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513>
2. Bonan, G. B. Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*. 2008. № 320. P. 1444 – 1449. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1155121>
3. Hoegh-Guldberg, O., Bruno J. F. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*. 2010. № 328. P. 1523 – 1528. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1189930>
4. Shindell, D., Kuylensstierna J. C. I., Vignati E. Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security. *Science*. 2012. № 335. P. 183 – 189
5. Branco P.T.B.S. Alvim-Ferraz M.C.M., Martins F.G., Sousa S.I.V. The microenvironmental modelling approach to assess children's exposure to air pollution. *Environmental Research*. 2014. № 135. P. 317 – 332. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.10.002>
6. Rich D. Q. Accountability studies of air pollution and health effects: lessons learned and recommendations for future natural experiment opportunities. *Environment International*. 2017. № 100. P. 62 – 78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.019>
7. Davalos A. D. T. J. Luben, A. H. Herring, J. D. Sacks Current approaches used in epidemiologic studies to examine short-term multipollutant air pollution exposures. *Annals of Epidemiology*, 2017. № 27. P. 145 – 153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2016.11.016>
8. Моніторинг якості атмосферного повітря: український та міжнародний досвід. [Аналітична записка]. Київ: ГО «Фундація «Відкрите Суспільство», 2018. 13 с.
9. Департамент екології та природних ресурсів Донецької обласної державної адміністрації. URL: <https://ecology.donoda.gov.ua/stan-dovkilliya/>
10. Какарека С. В. Оценка суммарного загрязнения атмосферного воздуха. *География и природные ресурсы*. 2012. № 2. С. 14 – 20. URL: <http://www.izdatgeo.ru/pdf/gipr/2012-2/14.pdf>
11. Какарека С.В. Методические подходы к оценке суммарного загрязнения атмосферного воздуха. *Природопользование*. Минск. 2014. Вып. 25. С. 61 – 69. URL: [http://nature-nas.by/resources/journals/default/PRI-RODA\\_25\\_2014.pdf](http://nature-nas.by/resources/journals/default/PRI-RODA_25_2014.pdf)
12. UK Daily Air Quality Index. URL: <https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daq?view=more-info>
13. AQI EEA URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>

14. Стандарти якості повітря ЕЕА. URL: <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
15. Air quality Health index. URL: [https://weather.gc.ca/airquality/pages/index\\_e.html](https://weather.gc.ca/airquality/pages/index_e.html)
16. Air Quality Index. A Guide to Air Quality and Your Health, 2014(2009). URL: [https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/aqi\\_brochure\\_02\\_14\\_0.pdf](https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/aqi_brochure_02_14_0.pdf)
17. Environment Canada – Air – About the Air Quality Health Index. URL: [https://weather.gc.ca/airquality/pages/index\\_e.html](https://weather.gc.ca/airquality/pages/index_e.html)
18. Індекс якості повітря BELATMO (Бельгія). URL: <https://www.irceline.be/en/air-quality/measurements/air-quality-index/information>
19. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89. М.: Госкомгидромет, 1991. 693 с.
20. Безуглая Э.Ю., Смирнова И.В. Воздух городов и его изменения. СПб.: Астерон, 2008. 253с.
21. Мислюк, О. О. Практикум з хімічної екології: навчальний посібник. К. : Кондор, 2013. 304 с.
22. Екологічний паспорт Донецької області за 2019 рік. URL : <http://ecology.donoda.gov.ua>
23. Дан О. Л., Бутенко Е. О., Капустин О. Є. Екологічна ситуація Приазовського регіону - проблеми та рішення. Повітря. Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. 2018. Вип. 36. С. 229 – 236. URL: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.36.2018.143040>
24. Огляд стану забруднення навколишнього природного середовища на території України за I півріччя 2020 року (за даними мережі спостережень Національної гідрометслужби України). URL: [http://cgo-sreznv-skyi.kyiv.ua/data/ukr-zabrud-viz-1/oglyad-stanu-zabrudnennya--pivrichchya-2020\\_-na-sayt.pdf](http://cgo-sreznv-skyi.kyiv.ua/data/ukr-zabrud-viz-1/oglyad-stanu-zabrudnennya--pivrichchya-2020_-na-sayt.pdf)
25. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Донецькій області у 2019 році. 2020. URL: <https://ecology.donoda.gov.ua/stan-dovkilliya/>
26. Пастернак О.М. Сезонні коливання забруднення атмосферного повітря формальдегідом. Актуальні проблеми науки та освіти: матеріали XXI підсумкової науково-практичної конференції викладачів МДУ., 1 лютого 2019 р. За заг. ред. К.В. Балабанова. Маріуполь: МДУ, 2019. С. 48 – 49. URL: [http://mdu.in.ua/Nauch/Konf/2019/zbirka\\_aktualni\\_problemi\\_nauki\\_ta\\_osviti\\_2019.pdf](http://mdu.in.ua/Nauch/Konf/2019/zbirka_aktualni_problemi_nauki_ta_osviti_2019.pdf)
27. AQI Calculator. URL: <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-calculator-concentration>

## References

1. NOAA National Centers for Environmental Information, State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019. (2020). Retrieved from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201513>
2. Bonan, G. B. (2008). Forests and climate change: Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320, 1444 - 1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>
3. Hoegh-Guldberg, O. & Bruno, J. F. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328, 1523 - 1528. <https://doi.org/10.1126/science.1189930>
4. Shindell, D., Kuylenstierna, J. C. I. & Vignati, E. (2012). Simultaneously Mitigating Near-Term Climate Change and Improving Human Health and Food Security. *Science*. (335), 183 – 189. <https://doi.org/10.1126/science.1210026>
5. Branco, P.T. B.S., Alvim-Ferraz, M.C.M., Martins, F.G. & Sousa, S.I.V. (2014). The microenvironmental modeling approach to assess children's exposure to air pollution. *Environmental Research*, (135), 317 - 332. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.10.002>
6. Rich, D. Q. (2017). Accountability studies of air pollution and health effects: lessons learned recommendations for future natural experiment opportunities. *Environment International*, (100), 62-78. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.019>
7. Davalos, A. D., Luben, T. J., Herring, A. H. & Sacks, J. D. (2017). Current approaches used in epidemiological studies to examine short-term multipollutant air pollution exposures. *Annals of Epidemiology*, (27), 145 - 153. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2016.11.016>
8. Atmospheric air quality monitoring: Ukrainian and international experience. (2018). Kyiv: NGO Open Society Foundation. (In Ukrainian)
9. Department of Ecology and Natural Resources of Donetsk Regional State Administration. (2020). Retrieved from <https://ecology.donoda.gov.ua/stan-dovkilliya/> (In Ukrainian)
10. Kakareka, S.V. (2012). Estimation of total air pollution. *Geography and natural resources*, (2), 14 - 20. Retrieved from <http://www.izdatgeo.ru/pdf/gipr/2012-2/14.pdf>
11. Kakareka, S.V. (2014). Methodical approaches to the assessment of total air pollution. *Nature management*, (25), 61 - 69. Retrieved from [http://nature-nas.by/resources/journals/default/PRIRODA\\_25\\_2014.pdf](http://nature-nas.by/resources/journals/default/PRIRODA_25_2014.pdf)
12. UK Daily Air Quality Index. Retrieved from <https://uk-air.defra.gov.uk/air-pollution/daq?view=more-info>
13. AQI EEA. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality-index>
14. EEA air quality standards. Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm>
15. Air quality Health index. Retrieved from [https://weather.gc.ca/airquality/pages/index\\_e.html](https://weather.gc.ca/airquality/pages/index_e.html)

16. Air Quality Index. A Guide to Air Quality and Your Health, 2014 (2009). Retrieved from [https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/aqi\\_brochure\\_02\\_14\\_0.pdf](https://www.airnow.gov/sites/default/files/2018-04/aqi_brochure_02_14_0.pdf)
17. Environment Canada - Air - About the Air Quality Health Index. Retrieved from [https://weather.gc.ca/airquality/pages/index\\_e.html](https://weather.gc.ca/airquality/pages/index_e.html)
18. BELATMO air quality index (Belgium). Retrieved from <https://www.irceline.be/en/air-quality/measurements/air-quality-index/information>
19. Manual on air pollution control RD 52.04.186-89 . (1991). Moskow: Goskomgidromet.
20. Bezuglaya, E.Yu. & Smirnova, I.V. (2008). Urban air and its changes. St. Petersburg: Asteron.
21. Myslyuk, O.O. (2013). Workshop on chemical ecology. Kyiv: Condor. (In Ukrainian)
22. Ecological passport of Donetsk region for 2019.(2020). Retrieved from <http://ecology.donoda.gov.ua> (In Ukrainian)
23. Dan, O.L., Butenko, E.O. & Kapustin O.E. (2018).The ecological situation in the Azov region - problems and solutions. *Air. Bulletin of Priazovsky State Technical University. Series: Technical Sciences*, 36, 229 - 236. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.36.2018.143040> (In Ukrainian)
24. Review of the state of environmental pollution on the territory of Ukraine for the first half of 2020 (according to the network of observations of the National Hydrometeorological Service of Ukraine). Retrieved from <http://cgo-sreznevskiy.kyiv.ua/data/ukr-zabrud-viz-1/oglyad-stanu-zabrudnennya--pivrichchya-2020 -na-sayt.pdf> (In Ukrainian)
25. Regional Report on the state of the environment in the Donetsk region in 2019. (2020). Retrieved from <https://ecology.donoda.gov.ua/stan-dovkillya/> (In Ukrainian)
26. Pasternak, O.M. (2019). Seasonal fluctuations of formaldehyde air pollution. In K.V. Balabanov (Ed.). *Current Problems Of Science And Education: Proceedings of the XXI final scientific-practical conference of MSU teachers*, Mariupol, 2019, February 1, (pp. 48-49). Mariupol: MSU. Retrieved from [http://mdu.in.ua/Nauch/Konf/2019/zbirka\\_aktualni\\_problemi\\_nauki\\_ta\\_osviti\\_2019.pdf](http://mdu.in.ua/Nauch/Konf/2019/zbirka_aktualni_problemi_nauki_ta_osviti_2019.pdf) (In Ukrainian)
27. AQI Calculator. Retrieved from <https://www.airnow.gov/aqi/aqi-calculator-concentration>

Отримана 24.03.2021

Переглянуто 11.04.2021

Прийнята до друку 22.04.2021