

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ РЕГІОНАЛЬНОГО РІВНЯ В УМОВАХ ВІЙНИ

Д.А. САГАЙДАК,

аспірант 3-го року навчання,

кафедри загальної екології та безпеки життєдіяльності

Email: denik04@ukr.net

ORCID: 0000-0002-7184-7730

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

м. Київ, вул. Героїв Оборони 15, 03041, Україна

В.М. БОГОЛЮБОВ,

доктор педагогічних наук, професор кафедри загальної екології,

радіобіології та безпеки життєдіяльності

Email: volbog@ukr.net

ORCID:0000-0001-5181-6892

Національний університет біоресурсів і природокористування

України, м. Київ, вул. Героїв Оборони 15, 03041, Україна

Анотація. Було проведено дослідження впливу дій вієнного характеру на пересування повітряних мас, забруднених дрібнодисперсним пилом: тверді часточки розміром до 2,5 мкм ($PM^{2.5}$) та 10 мкм (PM^{10}). Водночас, практично всі пости системи безперервного моніторингу повітря під час активних бойових дій під Києвом було вимкнено для безпеки. Підтверджено, що під час детонації ракет, вибухах артилерійських снарядів та мін, а також при пересуванні важкої військової техніки, утворюється велика кількість дрібнодисперсного пилу фракцій $PM^{2.5}$ та PM^{10} , який поширюється на значні відстані. Потрапляння цього пилу в легені негативно впливає на організм людини у вигляді респіраторних захворювань та серцево-судинних обтяжень. Зазвичай зібрати та проаналізувати всі фактори впливу на людину і навколишнє середовище практично неможливо, адже це занадто складна система, у якій важко отримати точні дані й розрахунки, особливо під час активних воєнних дій. Зібрані моніторингові дані можуть допомогти у загальному оцінюванні впливу на населення і навколишнє природне середовище та оцінити потенційні збитки завдані від агресивних воєнних дій.

Під час дослідження було проаналізовано концентрацію твердих частинок пилу $PM^{2.5}$ і PM^{10} в атмосферному повітрі після ракетних, артилерійських, бомбових обстрілів та інших чинників впливу військового характеру, а також

проведено оцінювання потенційного впливу таких частинок на здоров'я населення і навколишнє середовище.

Відбір проб здійснювався на території міста Києва в Шевченківському, Голосіївському, Оболонському, Святошинському, Солом'янському районах. У зв'язку з тим, що прогнозувати місце падіння або влучання снарядів було неможливо, деякі виміри робились в максимально наближених місцях до точок влучання.

Результати аналізу впливу дрібнодисперсних частинок $PM^{2.5}$ та PM^{10} на навколишнє середовище показали, що через забруднення атмосферного повітря, часточки можуть осідати на рослини, потрапляти у ґрунти, воду і в подальшому негативно впливати на стан локальних екосистем.

Ключові слова: моніторинг, дрібнодисперсний пил, $PM_{2.5}$, PM_{10} , ракетні обстріли, атмосферне повітря, забруднення атмосфери

Вступ.

Атмосферне повітря без небезпечних забруднень є суспільною цінністю та останнім безкоштовним природним ресурсом, що для більшості населення не має альтернативи споживання. У вересні 2021 р. Всесвітня організація охорони здоров'я ООН оприлюднила нові рекомендації до якості повітря, що надають чіткі докази шкоди, яку забруднене повітря завдає здоров'ю людей, навіть у менших концентраціях, ніж вважалося раніше. За оцінками експертів ВООЗ, щороку забруднення повітря обумовлює до 7 млн. передчасних смертей і призводить до втрати мільйонів здорових років життя (New WHO GAQG, 2021). Забруднення повітря є однією з актуальних екологічних загроз здоров'ю людей, проте найбільше воно вражає населення країн з низьким і середнім рівнем доходу.

Заступник директора ДУ «Вінницький ОЛЦ МОЗ України» А.В. Борисенко неодноразово звертав увагу на проблему забруднення атмосферного повітря усіх регіонів України та наголошував на необхідності законодавчих, організаційних та інституційних змін у сфері моніторингу вмісту

забруднюючих речовин та державного управління якістю атмосферного повітря (Borysenko A.V., 2009). У серпні 2019 р. Україна підписала Угоду про асоціацію з ЄС і активізувала зміни механізмів організації та здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря (New WHO GAQG, 2021). Проте реалізація цієї Постанови КМУ стикнулася з низкою нормативно-правових, організаційних та технічних перепон. Зокрема, більшість зон та агломерацій України і досі не мають розроблених та затверджених програм моніторингу якості атмосферного повітря, а відповідно – і не приступили до їх впровадження.

Нормативно-правова база у галузі охорони та моніторингу стану атмосферного повітря в останні роки активно розвивається та оновлюється. Активний поштовх відбувся завдяки ратифікації Україною Угоди про асоціацію з Європейським Союзом та Європейським співтовариством з атомної енергії (Angurets O. et al., 2021).

Матеріали та методи досліджень

У Основних засадах (стратегії) державної екологічної політики Укра-

їни на період до 2030 року, що затверджені Законом України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII, у розділі I «Існуючі проблеми та сучасний стан довкілля в Україні» зазначено, що забруднення атмосферного повітря є однією з найгостріших екологічних проблем, а розділ III містить стратегічні цілі та завдання, що безпосередньо пов'язані з управлінням якістю атмосферного повітря (рис. 1) (The Law of Ukraine On the Basic Principles (Strategy), 2019). Як бачимо, основні цілі екологічної політики хоч і розділяються але взаємопов'язані, адже без інтеграції екологічної політики у сфері прийняття рішень неможливо знизити екологічні ризики антропогенного впливу на екосистеми та здоров'я людей. В останньому пункті на шляху інтеграції вказано про формування галузевих стратегій та їх розгалуження і це вкрай необхідний пункт по імплементації екологічного мислення в усі сфери діяльності і перетворення цих сфер у велику систему. Результатом такої імплементації буде цільове суттєве зниження рівня забруднення атмосферного повітря.

Зараз правова база в Україні (у контексті моніторингу та управління якістю атмосферного повітря) є недосконалою, містить дискусійні та суперечливі вимоги та потребує вдосконалення. Для цієї сфери характерними є недостатньо повне врегулювання питань вимірювань і підготовки управлінських рішень, декларативність деяких положень законів і суперечності між певними нормами правових актів. Це є наслідком поспішного прийняття законів, браку ефективного організаційно-правового механізму забезпечення законотворчої діяльності, а також недостатнього рівня правової культури осіб, які беруть участь в законотворчому процесі (Ambient air quality management, 2021). Ці проблеми, насамперед, стосуються формуванню системи моніторингу атмосферного повітря на регіональному рівні.

Попередні дослідження авторів проекту "Чисте повітря для України" демонструють широкий спектр проблем природоохоронного законодавства України (Dirty sky overhead, 2020). Водночас, законотворчий ді-

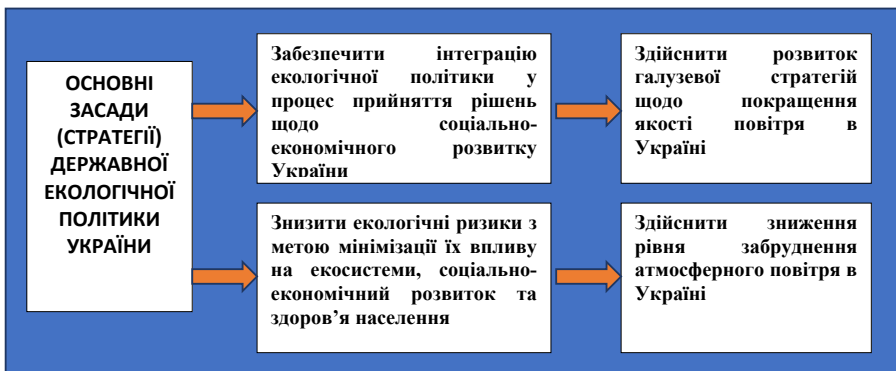


Рис. 1. Зв'язок державної екологічної політики з проблемою забруднення атмосферного повітря в Україні (The Law of Ukraine On the Basic Principles (Strategy), 2019)

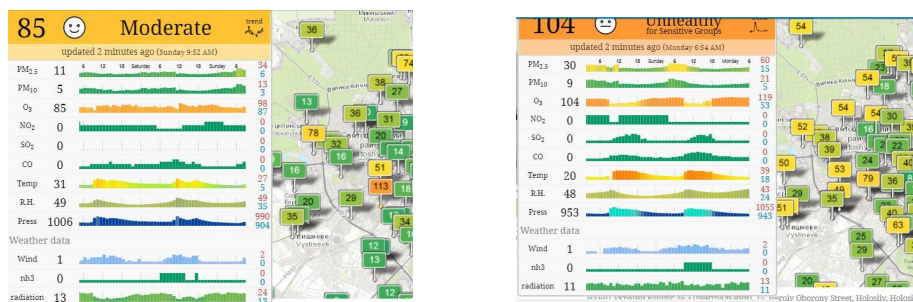


Рис. 2. Дані станції моніторингу EcoCity на території НУБІП України
а) дані на ранок 01.05.22 р.; б) дані на ранок 13.06.22 р.

яльності, що присвячена розвитку та впровадженню сучасної системи моніторингу та управління якістю атмосферного повітря, сприяють наявні спроби імплементації норм і положень законодавства ЄС у практика їх застосування в Україні. Безумовно, ці норми законодавства ЄС потребують більш глибокої адаптації, контекстного переосмислення та більш активного впровадження у природоохоронне законодавства України.

Захисні функції атмосфери проявляються з одного боку в екрануванні земної поверхні від попадання на неї різноманітних космічних тіл (метеорів, метеоритного пилу), більшість яких згоряє в щільних шарах атмосфери. Так, озон у верхніх шарах атмосфери, відіграє надзвичайно важливу роль – озоновий шар поглинає частину ультрафіолетового випромінювання Сонця. Стратосферний озон виконує роль фільтру для космічної та сонячної радіації, надійно захищаючи живі організми від надмірного ультрафіолетового випромінювання.

Атмосфера відіграє головну роль у глобальному, регіональному та локальному перенесенні забруднювальних речовин (ЗР) та забрудненні природного середовища. Зростаючі

антропогенні навантаження послаблюють природний процес самоочищення атмосфери, що призводить до накопичення шкідливих домішок, які зумовлюють її забруднення (хімічне, радіоактивне, біологічне, теплове та електростатичне).

Рівень озонового забруднення атмосферного повітря в столиці за даними вимірювань Інституту громадського здоров'я імені Марзеєва НАМНУ, які проводились з 2012 по 2017 роки, стабільно перевищує гранично допустимі концентрації, що становить пряму загрозу здоров'ю населення (<http://amnu.gov.ua/>). Результати вимірювань автоматичними станціями на платформі EcoCity також свідчать про зростання середньодобових концентрацій приземного озону від 90 мкг/м³ на початку травня (рис. 2 а) до 180 мкг/м³ на початку липня 2022 року (рис. 2 б).

Моніторинг концентрації приземного озону вже більше десяти років є одним з обов'язкових і пріоритетних досліджень у країнах ЄС. В Україні цей забруднювач повітря до останнього часу не спостерігався взагалі. Перше наукове дослідження для визначення граничних концентрацій озону в приземному шарі атмосфери

ного повітря в столиці провела лабораторія якості повітря Інституту громадського здоров'я імені Марзеєва НАМНУ у 2018 році науковці проводили заміри в травні-вересні 2018 і 2019 роках, і за весь цей період концентрації озону були або на межі допустимого нормативу, або сильно перевищували його. До речі зміни в ГДК згідно постанови Міністерства охорони здоров'я України відбулися 5 серпня 2021 році, тому для подальшого оперування ми будемо відштовхуватися від цих показників.

Результати дослідження та їх обговорення.

Виконуючи положення про розвиток регіональних програм моніторингу довкілля в м. Київ і Київській області формуються регіональні системи моніторингу якості повітря – на початок 2022 року у столиці система вже включає 46 автоматичних індикативних сертифікованих датчиків (Air quality monitoring sensors were installed in Kyiv, 2022).

Одним із показників, які потрібно включати до обов'язкового списку досліджень атмосферного забруднення є дрібнодисперсний пил. Тверді частинки і аерозолі розміром менше 2,5 мкм знаходяться в повітрі в підвищеному стані. Вони є і в лісі, і на морі, але саме в місті становлять найбільшу небезпеку. По-перше, зазвичай їх в місті набагато більше, а по-друге, хімічний склад дрібнодисперсного аерозолу в місті небезпечніше, ніж у природному середовищі (Vinnytsia Regional Center for Disease Control and Prevention of the Ministry of Health of Ukraine, 2022).

Основна небезпека $PM^{2.5}$ полягає якраз не в різких скачках концентра-

ції, а в хронічному впливі цих частинок на організм. За день кожен громадянин вдихає близько 200 мільярдів частинок $PM^{2.5}$ (The invisible killer: how does fine dust ($PM^{2.5}$)). Половина з них відкладається в легенях. Одна така доза може не мати серйозних наслідків. Але з часом відкладення $PM^{2.5}$ в організмі переважають за критичний рівень, і тоді все може стати набагато гірше.

Думки багатьох вчених (Ангурець О., Місхун О., Борисенко А. та ін., 2021) щодо причин руйнування озонового шару і утворення озонових дір розходяться. Більшість екологів вважає, що виною всьому техногенний фактор, зокрема, у вигляді дрібнодисперсного пилу $PM^{2.5}$ та PM^{10} . Однак є й такі вчені, які пов'язують зниження концентрації озону в озоновому шарі з віковими коливаннями аерохімічних властивостей атмосфери і незалежними змінами клімату. Враховуючи твердження вчених, які віддають перевагу впливу дрібнодисперсного пилу на руйнацію озонового шару, можемо зробити висновок, що $PM^{2.5}$ та PM^{10} неопосередковано впливає на здоров'я людини через озон.

Доведено, що озон в атмосфері здатний зруйнувати як сполуки азоту і водню (наприклад, аміак і метан), так і сполуки хлору (хлорфторвуглеці - фреони). Фреони застосовуються в холодильних установках, кондиціонерах, розчинниках, аерозольних балончиках/спреях і вогнегасниках. Наслідком зменшення товщини озонового шару, є згубний вплив на здоров'я людини ультрафіолетового випромінювання, яке спокійно проходить через всі шари атмосфери. У людей послаблюється імунна система, розвиваються такі хвороби як рак шкіри і катаракта.

1. Результати польових вимірювань концентрації дрібнодисперсного пилу в м. Києві в період з 20 березня по 28 квітня 2022 року

Місце виміру	Напрямок вітру	Дата і час	PM ^{2.5} (мкг/м³)	PM ¹⁰ (мкг/м³)	Виміри вночі PM ^{2.5} (мкг/м³)	Явище впливу на повітря
Метро Теремки,	ПНСХ	20.03 11:00	9 14 12	15 22 14	7	Приліт снаряду в Святошинському районі 20 березня
Метро Теремки,	СХ	23.03 15:00	11 17 17	21 18 29	11	Приліт ракети в Солюмянському районі 23 березня
Метро Теремки	ПДСХ	28.04 16:30	13 13	24 22	2	Приліт ракети в Шевченківському районі 28 квітня
Вул. Оранжевий	ПД	28.04 12:00	22 33 28 29 14 30	39 43 29 38 15 36	2221	Приліт ракетив Шевченківському районі 28 квітня
Метро Теремки	ПД	15.05 15:00	10 10 12	14 11 19	13	Підвищення середньодобової температури
Академістечко	ЗХ	19.05 10:00	17 8 10 14 14 5	26 12 18 18 20 9	13 9 14	Рух військової техніки
Метро Лісова	ПН		16 32 40	24 51 48	15	Рух військової техніки
Теремки	СХ		21 19	22 14	14	Обстріли енергоносіїв
Теремки	ПД		32 34 19 22	45 40 33 18	33 34 29	Обстріли енергоносіїв с. Чабани
Оболонь	ПД	18.09 14:00	40 27 36 34	38 29 27 14	30 28 19	Обстріли енергоносіїв Київська ТЕЦ-6

В період з 20 березня по 28 квітня 2022 року (під час активних воєнних дій в м. Києві) нами було проведено експериментальне польове дослід-

ження щодо визначення концентрацій дрібнодисперсного пилу PM^{2.5}, PM¹⁰ безпосередньо після ракетних атак. При цьому враховували напрям

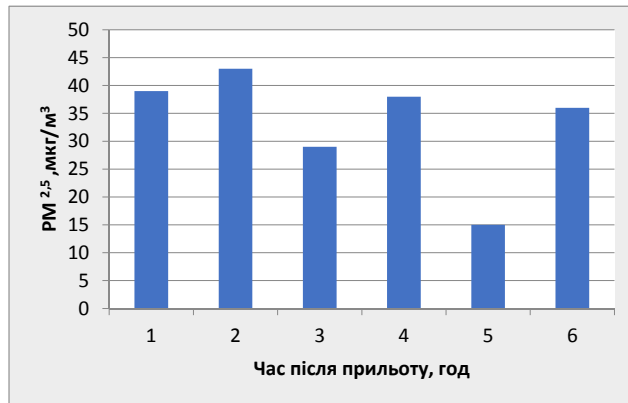


Рис. 3. Зміни концентрації дрібнодисперсного пилу PM_{2,5} через 1-6 годин після вибуху в Шевченківському районі м. Києва 28.04.2022 року

вітру та інші чинники впливу на забруднення атмосферного повітря. Знаходячись безпосередньо біля місця розриву ракети або на деякій відстані, виміри робились з 3-хкратною повторністю, результати ж записувались у вигляді середньо-арифметичного значення (табл.1). Вимірювання робились приблизно через годину після кожного прильоту та з такою ж приблизно частотою.

Оскільки під час активних бойових дій під Києвом данні із загально-доступних систем стаціонарного спостереження були недоступними (з міркувань безпеки руху Українських військ), було проведено власне вимірювання пересувним газоаналізатором СЕМ-9881 (табл.1).

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що якість повітря безпосередньо у місці прильоту снаряду різко погіршується і впродовж декількох годин цей рівень забруднення зберігається (рис.3).

Значне перевищення нормативних показників (понад 25 мкг/м³) спостерігалось під час обстрілів енергосистем України, за якого концентрація пилу перевищувала вдвічі

впродовж 5 годин без значних змін на пониження вмісту забруднюючих часточок. Причиною такого тривалого по часу перевищення були тривалі пожежі на станціях, які під час горіння, поміж інших небезпечних речовин, підіймали та розповсюджували дрібнодисперсний пил PM_{2.5}, який поривами вітру поширювався по всіх напрямках рози вітрів.

Також можна відмітити підняття пилового стовпу під час пересування військової техніки, затримка часток PM_{2,5} у повітрі тривала протягом двох годин із перевищенням на 15-20 мкг/м³, під час вимірювань забруднень від руху техніки в інший день. Через значну кількість опадів перевищення нормативних показників було відсутнє або незначне, так само показує вплив опадів на розповсюдження твердих часточок.

Як видно з діаграми на рисунку 3 пік підвищення вмісту часток PM₁₀ до 45 мкг/м³ спостерігається не одразу після прильоту, а через 1-2 години. Це пов'язане із місцем вимірювань, які проводились на відстані до 1-2 км від зони вибуху.

Для порівняння змін у стані ат-

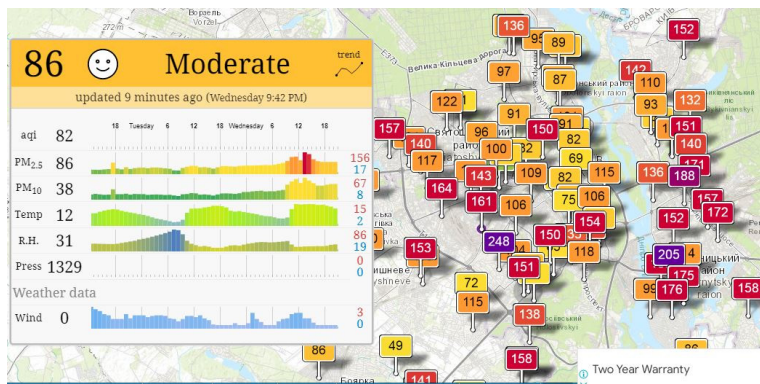


Рис. 4. Дані автоматичної станції на 4 корпусі НУБП України системи громадського моніторингу в м. Київ станом на 21.30. 23 березня 2022 року

мосферного повітря використовували дані громадської мережі моніторингу атмосферного повітря на платформах Air Pollution та ECoCity (рис. 4).

Як видно рисунку 4, підвищений вміст дрібнодисперсного пилу значною мірою спостерігається після прильоту ракети об 11:00 з деяким зниженням концентрації внаслідок перенесення повітряних мас вітром.

Висновки і перспективи.

В наших дослідженнях проведених на території Києва дав нам результат у вигляді перевищення гранично допустимої концентрації дрібнодисперсного пилу $PM_{2.5}$ та PM_{10} в декілька разів, а в окремих ситуаціях рівень забруднення сягав дуже небезпечного значення до 156 $мкг/м^3$ (відповідно індекс якості повітря AQI зростав до 248). Виходячи із даних отриманих в ході вимірювання в стані так званого «спокою», та порівнюючи їх з даними, отриманими внаслідок воєнних дій, маємо значне зростання концентрації дрібнодисперсного пилу $PM_{2.5}$ та PM_{10} від 25

до 102 $мкг/м^3$. Водночас, спостерігались зміни напрямку вітру від точки виміру до точки прильоту більше ніж на 120° , а зміни в концентрації пилу не відбуваються, або підвищуються лише на 1-4 $мкг/м^3$.

Результати дослідження можуть стати основою для прийняття управлінських рішень щодо розв'язання проблеми забруднення повітря в зонах конфліктів та підкреслюють необхідність належного управління та виконання заходів щодо мінімізації впливу забруднення повітря на здоров'я населення та навколишнє середовище. Загалом дослідження підкреслює важливість регулярного моніторингу якості повітря і виявлення потенційних джерел забруднення для вжиття відповідних заходів щодо захисту здоров'я населення та навколишнього середовища.

Зважаючи на отримані дані можна констатувати безпосередній негативний вплив ракетних обстрілів на якість атмосферного повітря, ґрунти, воду та здоров'я людини. Завислі частки тримаються у повітрі впродовж тривалого часу та переносяться

вітром на доволі великі відстані, що так само розширює зону негативного впливу.

Суть пропозиції полягає у забезпеченні систематичних моніторингових досліджень, а також пошуку можливостей прогнозування можливих негативних змін якості атмосферного повітря для попередження подальшого його забруднення цими поллютантами шляхом розробки науково-обґрунтованих рекомендацій і доопрацюванні нормативної бази.

Тема є досить актуальною на сьогодні, тому дослідження будуть проводитись і надалі у напрямку автоматизації процесів збирання і обробки і аналізу моніторингової інформації в інформаційно-технічній системі, яка розробляється.

References

1. The procedure for state monitoring in the field of atmospheric air protection. CMU Resolution of August 14, 2019 No. 827. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-%D0%BF#n18>.
2. The Law of Ukraine On the Basic Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period Until 2030, dated February 28, 2019. No 2697-VIII.
3. Ambient air quality management: from concept to implementation - <https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2021/11/cleanair.org.ua-i-ukrajina-fin-web-hires.pdf>
4. Dirty sky overhead: Legislation in the field of atmospheric air protection in Ukraine and the EU / Sharka Havrankova, Olena Miskun, Tamara Kharchilava, etc./, 2020. <https://cleanair.org.ua/>
5. Ministry of Health. Order, Regulation of 14.01.2020. No 52.
6. Air quality monitoring sensors were installed in Kyiv /Official portal of Kyiv: https://kyivcity.gov.ua/news/u_kiyevi_vstanovili_46_datchikiv_monitoringu_ya-kosti_povitrya/?en=true
7. "Vinnytsia Regional Center for Disease Control and Prevention of the Ministry of Health of Ukraine" Issues of public health. <http://cgz.vn.ua/>
8. EN 14907:2005 - This European Standard describes a standard method for determining the PM_{2,5} mass concentration of suspended particulate matter in ambient
9. CSN EN 14907 - Ambient air quality - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM_{2,5} mass fraction of suspended particulate matter.
10. Borysenko A.V. The state of atmospheric air and non-infectious morbidity. http://cgz.vn.ua/problematika-gromadsko-go-zdorovya/problematika-gromadsko-go-zdorovya_455.html
11. Angurets O., Khazan P., Kolesnikova K. Atmospheric air quality management: from concept to implementation: Report on research results / edited by M. Soroka. Prague-Kyiv: Arnika, 2021. 52 p. ISBN 978-80-87651-99-5.
12. «Institute of Public Health named after O.M. Marzeeva of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine". <http://amnu.gov.ua/>
13. The invisible killer: how does fine dust (PM_{2.5}) affect the human body? <https://www.savednipro.org/>
14. Big smog(Wiki). https://uk.wikipedia.org/wiki/Великий_смог
15. New WHO Global Air Quality Guidelines aim to save millions of lives from air pollution. <https://www.who.int/ru/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>

Sagaydak D., Bogolubov V. (2023).

**SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS
AT THE REGIONAL LEVEL USING THE EXAMPLES OF $PM^{2.5}$, PM^{10} AND OZONE IN
WARTIME CONDITIONS**

BIOLOGICAL SYSTEMS: THEORY AND INNOVATION, 14(1-2): 73-82.

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Biologiya/article/view/43936>

[https://doi.org/10.31548/biologiya14\(1-2\).2023.010](https://doi.org/10.31548/biologiya14(1-2).2023.010)

Abstract. The system of continuous air monitoring during active hostilities near Kyiv was turned off in order to ensure security and mask the movement of Ukrainian military equipment. A study was conducted to determine the impact of military actions on the movement of air masses contaminated with fine dust: solid particles up to 2.5 microns ($PM^{2.5}$) and 10 microns (PM^{10}). During the fall or detonation of rockets, artillery shells and mines, as well as during the movement of a large amount of heavy military equipment, a large amount of finely dispersed dust of $PM^{2.5}$ and PM^{10} fractions is formed, which spreads over long distances and settles on buildings, soils and plants. Getting this dust into the lungs negatively affects the human body in the form of respiratory diseases and cardiovascular complications. Usually, it is almost impossible to collect and analyze all the factors and factors affecting the person and the environment, because it is too complex a system in which accurate data and calculations are difficult, especially during active military operations. The collected monitoring data can help in the general assessment of the impact on the population and the surrounding natural environment and assess the potential damage caused by aggressive military actions.

During the study, the concentration of $PM^{2.5}$ and PM^{10} solid dust particles in the atmospheric air after missile, artillery, bomb attacks and other influential factors of a military nature was analyzed, as well as an assessment of the potential impact of such particles on the health of the population and the environment.

Sampling was carried out on the territory of the city of Kyiv in the Shevchenkovskiy, Holosiivskiy, Obolonskiy, Svyatoshynskiy, Solomyanskyy districts. Due to the fact that it was impossible to predict the place of fall or impact of projectiles, some measurements were made in places as close as possible to the points of impact.

The results of the analysis of the impact of $PM^{2.5}$ and PM^{10} fine particles on the environment showed that due to atmospheric air pollution, the particles can settle on plants, enter the soil, water and subsequently negatively affect the state of local ecosystems.

Key words: monitoring, fine dust, $PM^{2.5}$, PM^{10} , rocket attacks, atmospheric air, atmospheric pollution