

RESEARCH OF AIR POLLUTION BY FINE SUSPENDED PARTICULAR MATTER IN THE CITY OF ZAPOROZHYE

Sevalnev A.I., Volkova Yu.V.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯНОГО БАСЕЙНУ ДРІБНОДИСПЕРСНИМИ ЗВАЖЕНИМИ ТВЕРДИМИ ЧАСТИНКАМИ У М. ЗАПОРІЖЖЯ

З

**СЕВАЛЬНЄВ А.І.,
ВОЛКОВА Ю.В.**

Запорізький державний
медичний університет,
м. Запоріжжя

Ключові слова:
повітряний
басейн,
зважені
тверді частинки,
PM₁₀, PM₄,
моніторинг.

абруднення повітря є пріоритетним фактором екологічного ризику для здоров'я й однією з провідних причин захворюваності та смертності в усьому світі. За останніми даними експертів Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ, 2018), 9 з 10 людей дихають повітрям з високою концентрацією забруднюючих речовин [1]. Найбільшу небезпеку для життя та здоров'я становлять зважені тверді частинки дрібнодисперсних фракцій PM₁₀ та PM_{2,5}. Це пояснюється їхнім широким розповсюдженням, хімічним складом, розміром, можливістю вторинного утворення в атмосфері з інших газоподібних прекурсорів тощо. З впливом цих забруднювачів повітря пов'язаний підвищений ризик розвитку серцево-судинних, респіраторних захворювань, виникнення онкопатології, а також скорочення тривалості життя у середньому на 8,6 місяців та мільйони випадків передчасної

смертності у світі щороку [2, 3].

У більшості країн світу існують законодавчі документи з нормування вмісту зважених твердих частинок PM₁₀ та PM_{2,5}, здійснюється постійний моніторинг вмісту цих речовин в атмосферному повітрі.

В Україні донині нормативи вмісту PM₁₀ та PM_{2,5} в атмосферному повітрі не були розроблені, відповідно й динамічне спостереження за їх вмістом у повітрі на державному рівні не здійснюється. Даний факт унеможлиблює коректну оцінку стану забруднення атмосферного повітря й, відповідно, його впливу на здоров'я населення.

Зрозуміло, що у таких умовах проведення гігієнічних досліджень з визначення стану забруднення повітря дрібнодисперсними фракціями зважених твердих частинок є необхідною складовою для прогнозування екологічної ситуації та наукового обґрунту-

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО БАСЕЙНА МЕЛКОДИСПЕРСНЫМИ ВЗВЕШЕННЫМИ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ В г. ЗАПОРОЖЬЕ

Севальнев А.И., Волкова Ю.В.

Запорожский государственный медицинский университет, г. Запорожье

Цель работы – гигиеническая оценка состояния загрязнения воздушного бассейна мелкодисперсными взвешенными твердыми частицами PM₁₀ и PM₄ в г. Запорожье.

Материалы и методы. Измерения концентраций мелкодисперсных взвешенных твердых частиц PM₁₀ и PM₄ проводились с 2012 г. по 2017 г. в атмосферном воздухе г. Запорожье. Для измерений был использован анализатор аэрозолей KANOMAX-3521. Обработка полученных данных проводилась с помощью статистического пакета лицензионной программы «STATISTICA® for Windows 13.0» (StatSoft Inc., № JPZ8041382130FRCN10-J) и «Microsoft Excel».

Результаты. Установлено, что концентрации PM₁₀ в г. Запорожье превышают уровни, рекомендованные в руководящих принципах по ка-

честву атмосферного воздуха ВОЗ. Средние концентрации по городу PM₁₀ – (0,14 ± 0,002) мг/м³, PM₄ – (0,07 ± 0,001) мг/м³, в

Вознесенском районе концентрации PM₁₀ в 1,2 раза достоверно выше (p<0,05). В опытных районах концентрации PM₁₀ в 1,08-1,9 раз достоверно выше (p<0,001), чем в контрольном. Максимальные концентрации регистрировались в августе (коэффициент сезонности 1,8-1,83). Установлена сильная обратная корреляционная связь между относительной влажностью воздуха и концентрацией PM₁₀ (r = -0,85) и PM₄ (r = -0,83) и статистически значимая разница между концентрациями данных веществ в вечерние и утренние часы суток (p<0,001). Результаты исследования указывают на необходимость организации постоянного мониторинга содержания мелкодисперсных взвешенных твердых частиц и разработку гигиенического нормативного документа для PM.

Ключевые слова: воздушный бассейн, взвешенные твердые частицы, PM₁₀, PM₄, мониторинг.

RESEARCH OF AIR POLLUTION BY FINE
SUSPENDED PARTICULAR MATER IN THE CITY
OF ZAPORIZHZHYA

Sevalnev A.I., Volkova Yu.V.
Zaporozhye State Medical University

Objective: The aim of the work is a hygienic estimation of the air pollution condition by fine suspended particular mater (PM_{10} and PM_4) in the city of Zaporizhzhya.

Materials and methods. The measurements of fine suspended particular mater PM_{10} and PM_4 have been carried out since 2012 to 2017 years in the atmospheric air of Zaporizhzhya. It was used the KANOMAX-3521 aerosol analyzer for measurements. The data processing was performed with the statistical package of the licensed program «STATISTICA® for Windows 13.0» (StatSoft Inc., No. JPZ8041382130FRCN10-J) and the «Microsoft Excel» program.

Results. It has been established that PM_{10} concentrations in the air of Zaporizhzhya exceed the recommended levels by the WHO guidelines for air

quality. The average concentrations of PM_{10} in the city – (0.14 ± 0.002) mg/m³, PM_4 – (0.07 ± 0.001) mg/m³, the concentration of PM_{10} is 1.2 times higher ($p < 0.05$) in the Voznesenovskiy district. In the experimental areas, the concentration of PM_{10} is 1.08-1.9 times significantly higher ($p < 0.001$) than in the control area. Maximal index of concentration was recorded in August (seasonality coefficient 1.8-1.83). It was established a strong inverse correlation between the relative humidity of the air and the concentration of PM_{10} ($r = -0.85$) and PM_4 ($r = -0.83$) and the statistically significant difference between the concentrations of these substances in the evening and in the morning hours of the day ($p < 0.001$).

The results of the research indicate the necessity to organize the continuous monitoring of the fine suspended particular mater content in the air and the creation of a hygienic regulatory document for the PM.

Keywords: air pool, suspended particulate mater, PM_{10} , PM_4 , monitoring.

вання напрямків природоохоронної діяльності, спрямованих на попередження ризику для здоров'я.

У м. Запоріжжя незважаючи на спад потужностей виробництва стан забруднення

пазон вимірювання концентрації пилу визначався у межах 0,01-10 мг/м³. Тривалість вимірювань і період осереднення при визначенні разових концентрацій становили 20 хвилин, реєстрація одиничних

значень – щосекундна. Висота вимірювань – 1,5 м. Заміри супроводжувалися вимірами температури, відносної вологості, напряму і швидкості руху повітря, атмосферного тиску вимірювачем параметрів мік-

Таблиця 1

Середні концентрації PM_{10} та PM_4 в атмосферному повітрі у 2012 році

Район міста	Концентрація, мкг/м ³					
	PM_{10}			PM_4		
	M±m	max	min	M±m	max	min
Дніпровський	0,07±0,015	0,1	0,05	0,03±0,013	0,06	0,02
Вознесенівський	0,2±0,02	0,33	0,07	0,11±0,009	0,17	0,03
Заводський	0,12±0,02	0,21	0,06	0,07±0,014	0,12	0,02
Комунарський	0,04±0,004	0,05	0,03	0,01±0,003	0,02	0,01
Олександрівський	0,11±0,01	0,18	0,06	0,06±0,006	0,1	0,01
Хортицький	0,04±0,005	0,08	0,03	0,02±0,003	0,01	0,01
Шевченківський	0,13±0,01	0,3	0,05	0,07±0,007	0,17	0,02

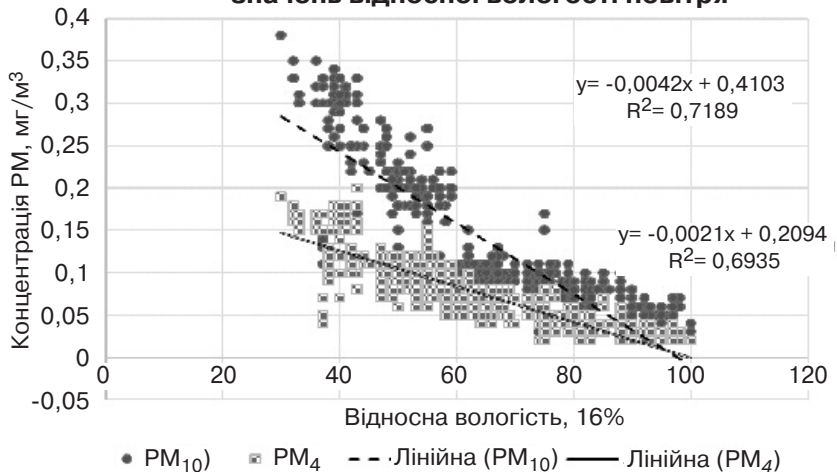
Рисунок 1

повітряного басейну залишається недопустимим. А зважені тверді частинки є основними забруднювачами атмосферного повітря міста [4, 5].

Метою даної роботи було визначення та аналіз отриманих концентрацій PM_{10} та PM_4 в атмосферному повітрі районів м. Запоріжжя.

Матеріали та методи. Концентрації зважених твердих частинок дрібнодисперсних фракцій PM_{10} та PM_4 визначали методом п'езобалансового зважування осадженої проби пилу за допомогою аналізатора аерозолів KANOMAX, модель 3521. Діа-

Значення концентрацій PM_{10} та PM_4 за різних значень відносної вологості повітря



роклімату Метеоскоп «МЕС-202».

Дослідження здійснювалося у сельбищних зонах м. Запоріжжя з 2012 по 2016 рік. Виміри зважених частинок в атмосферному повітрі проводилися у визначених точках

відбору проб повітря двічі на день (8:00-10:00 та 16:00-18:00) на відстані 1000-4000 м від основного промислового майданчика у різні сезони року за відсутності опадів.

Обробка отриманих результатів проводилася за допомо-

гою статистичного пакета ліцензійної програми «STATISTICA® for Windows 13.0» (StatSoft Inc., № JPZ80413821 30FRCN10-J) і «Microsoft Excel». Статистично значимими вважали відмінності при $p < 0,05$.

Результати досліджень.

Для оцінки якості атмосферного повітря використовували максимально-разові, середні за місяць та середні за рік концентрації PM_{10} і PM_4 . У зв'язку з відсутністю вітчизняних нормативів для дрібнодисперсних зважених твердих частинок отримані результати порівнювалися з рівнями, що рекомендовані у керівних принципах з якості атмосферного повітря ВООЗ [6].

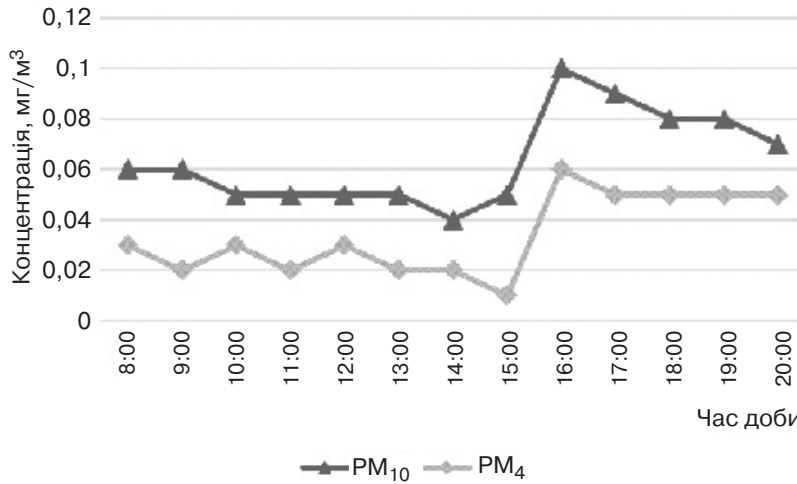
2012 року нами було виконано перші виміри концентрацій дрібнодисперсних зважених твердих частинок PM_{10} та PM_4 в атмосферному повітрі в усіх районах м. Запоріжжя. Встановлено, що ці забруднювачі є постійними компонентами повітряного басейну усіх районів міста. Проте концентрації цих речовин у різних районах суттєво відрізняються. Середні концентрації по місту для PM_{10} становлять $(0,14 \pm 0,009)$ мг/м³, а для PM_4 – $(0,07 \pm 0,006)$ мг/м³. Найвищі рівні цих аерополлютантів зафіксовано у Вознесенівському, Шевченківському та Заводському районах, а найбільш чистим за цим показником забруднення виявився Комунарський район (табл. 1).

Слід зазначити, що за результатами сумісної роботи, яка проводилася у місті Запоріжжя у 2004 році за підтримки Агентства США з охорони довкілля та ГО «Environmental Defense» (USA), за наукового керівництва фахівців ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзеєва НАМН України» щодо використання методології оцінки ризику для пріоритетизації природоохоронної діяльності, Вознесенівський та Заводський райони також були віднесені до територій несприятливого ризику за показником забруднення атмосферного повітря пилом [4, 7].

З урахуванням результатів даної роботи та наших попе-

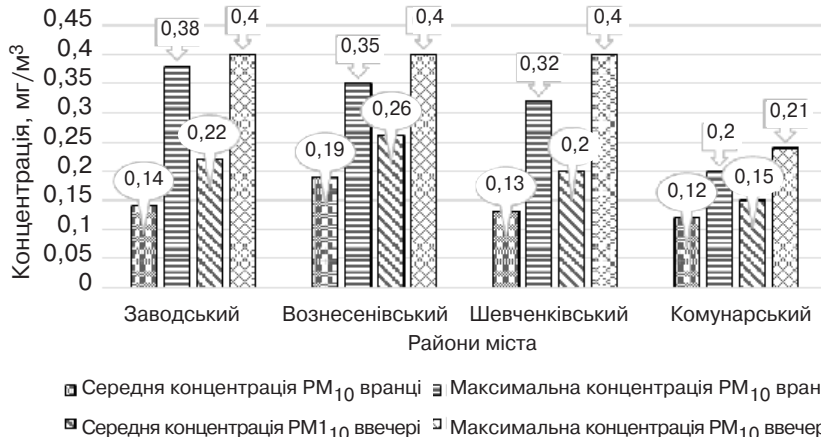
Концентрації PM_{10} та PM_4 з 8:00 до 20:00 годин (вул. Сталеварів, 23)

Рисунок 2



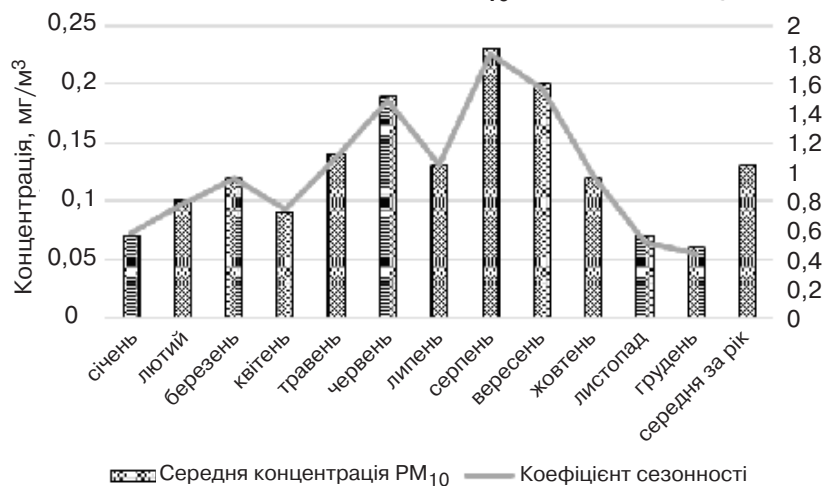
Концентрації PM_{10} в атмосферному повітрі районів м. Запоріжжя

Рисунок 3



Річна динаміка змін концентрацій PM_{10} в атмосферному повітрі

Рисунок 4



редніх досліджень [5] було обрано для подальших досліджень 61 вулицю у зазначених трьох найбільш забруднених районах міста (дослідні райони) та 10 вулиць в умовно чистому Комунарському районі (контроль). На цих вулицях нами були визначені точки відбору проб повітря на територіях, прилеглих до дитячих дошкільних закладів, загальноосвітніх шкіл та ліцеїв. Виміри концентрацій PM_{10} та PM_4 проводилися відповідно до напрямку вітру у день дослідження.

У ході дослідження було виявлено сильний зворотній зв'язок між значенням відносної вологості повітря та концентрацією зважених твердих частинок PM_{10} та PM_4 , ($r=-0,85$; $p<0,05$ та $r = -0,83$; $p<0,05$ відповідно). Дану закономірність візуально продемонстровано на рисунку 1. Встановлено, що при збільшенні відносної вологості на 1 відсоток концентрація PM_{10} зменшується на $4,2 \text{ мкг/м}^3$, а концентрація PM_4 – на $2,1 \text{ мкг/м}^3$.

Нами було встановлено, що концентрації забруднювачів, що досліджувалися, протягом доби мають певну динаміку. Так, порівняння середніх значень концентрацій PM_{10} та PM_4 показало, що існує статистично значуща різниця між концентраціями даних речовин у вечірні та у ранкові години доби ($p<0,001$).

У середньому їхні концентрації ввечері в 1,5 рази вищі, ніж вранці. Взагалі ця закономірність описується такими рівняннями регресії:

$y = 0,062 + 1,06x$ (для PM_{10}) та $y = 0,03 + 1,12x$ (для PM_4).

Таким чином, знаючи концентрації PM вранці, можна спрогнозувати їхні концентрації ввечері. Залежність концентрацій зважених твердих частинок дрібнодисперсних фракцій від часу доби на одній з вулиць зображено на рисунку 2.

Порівняння вмісту зважених твердих частинок у різних районах показало (рис. 3), що середні концентрації PM_{10} вранці у дослідних районах склали від $(0,13 \pm 0,005) \text{ мкг/м}^3$ до $(0,19 \pm 0,008) \text{ мкг/м}^3$,

тобто в 1,08-1,58 рази перевищували показники у Комунарському районі, а ввечері кратність перевищення вже становила 1,3-1,73 рази. Максимальні концентрації даних полютантів також у дослідних районах були достовірно вищими порівняно з контрольним. Кратність перевищення становила вранці 1,6-1,9 рази, ввечері – 1,7 рази.

Також було встановлено сезонну тенденцію змін концентрації PM_{10} та PM_4 . Аналіз показав, що найбільші концентрації досліджуваних речовин спостерігаються у теплий період року, особливо у серпні, а також на початку вересня (рис. 4).

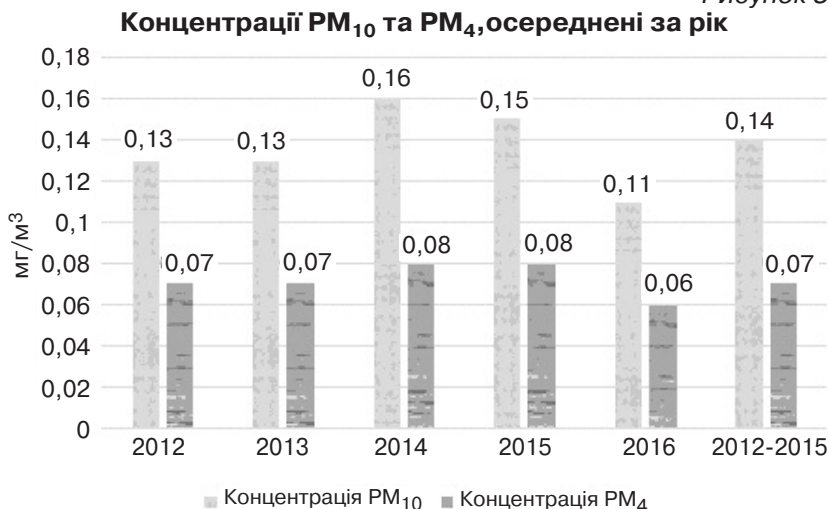
Розраховані нами коефіцієнти сезонності також виявилися найвищими для серпня.

Це пов'язане з метеорологічними особливостями, характерними для м. Запоріжжя: у серпні відбувається збільшення частоти штитлів, виникають приземні температурні інверсії, а опади майже відсутні. Це призводить до ускладнення розсіювання забруднювачів та

повітрообміну, відповідно до тривалого зависання зважених твердих частинок у повітрі та незначного їх осадження. А високі рівні сонячної радіації сприяють інтенсифікації фотохімічних реакцій, у результаті яких з газоподібних прекурсорів (двоокис сірки, оксиди азоту, аміак і неметанові леткі органічні сполуки) утворюються ще й вторинні зважені тверді частинки.

Розрахунки середніх концентрацій за роками показали, що рівні PM_{10} загалом по місту за період дослідження коливалися від $0,11 \text{ мкг/м}^3$ до $0,16 \text{ мкг/м}^3$ (у середньому $(0,14 \pm 0,002) \text{ мкг/м}^3$), а концентрації

Рисунок 5



Таблиця 2

Концентрації PM_{10} , осереднені за рік, в атмосферному повітрі

Концентрація PM_{10} , мкг/м³ (M±m)	Район	Вознесенівський	Заводський	Шевченківський	м. Запоріжжя
	2012	0,2±0,017	0,12±0,02	0,13±0,01	0,13±0,008
2013	0,17±0,007	0,12±0,016	0,19±0,03	0,13±0,007	
2014	0,18±0,008	0,14±0,01	0,16±0,007	0,16±0,005	
2015	0,19±0,008	0,13±0,008	0,13±0,005	0,15±0,004	
2016	0,14±0,009	0,09±0,006	0,1±0,005	0,11±0,003	
2012-2016	0,17±0,005	0,12±0,004	0,13±0,003	0,14±0,002	

PM₄ були на рівні 0,06-0,08 мг/м³ (у середньому (0,07 ± 0,001) мг/м³) (рис. 5).

У розрізі окремих районів ці концентрації були дещо вищими (табл. 2). Проте статистично значимі перевищення рівнів PM₁₀ порівняно з середнім показником по місту були лише у Вознесенівському районі (p<0,05).

У керівних принципах з якості атмосферного повітря ВООЗ вказано, що середньорічний рівень PM₁₀ не має бути вищим за 20 мкг/м³ [6]. Як показують наші дослідження, концентрації PM₁₀ значно перевищують даний рівень по місту загалом у середньому у 7 разів, а у Вознесенівському районі кратність перевищення становить до 10 разів.

Висновки

1. Протягом періоду дослідження фіксувалися стабільно високі рівні забруднення атмосферного повітря зваженими твердими частинками PM₁₀ та PM₄. Середні концентрації по місту PM₁₀ – (0,14±0,002) мг/м³, PM₄ – (0,07 ± 0,001) мг/м³, у Вознесенівському районі концентрації PM₁₀ в 1,2 рази достовірно вищі (p<0,05). Відповідно середні концентрації PM₁₀ у 7 та більше разів перевищували граничні рівні, рекомендовані ВООЗ. А враховуючи той факт, що наразі пороговий рівень забруднення атмосферного повітря, нижче за який PM₁₀ не впливають на стан здоров'я, ще не визначений, проблема забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсними фракціями зважених частинок є вкрай актуальною проблемою міста Запоріжжя.

2. Встановлено певні закономірності розподілу концент-

рацій зважених твердих частинок PM₁₀ та PM₄:

□ виявлено достовірний сильний зворотній кореляційний зв'язок між відносною вологістю повітря та концентрацією PM₁₀ (r = -0,85) і PM₄ (r = -0,83).

□ існує статистично значуща різниця між концентраціями даних речовин у вечірні та ранкові години доби (p<0,001).

□ найбільші концентрації досліджуваних речовин спостерігаються у серпні (індекс сезонності 1,8).

□ у дослідних районах концентрації PM₁₀ та PM₄ в 1,08-1,9 рази достовірно вищі, ніж у контрольному.

3. Результати дослідження вказують на необхідність організації постійного моніторингу вмісту дрібнодисперсних зважених твердих частинок та розробки гігієнічного нормативного документа для PM.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ambient (outdoor) air quality and health: Fact sheets.

WHO, 2018. URL : [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

2. Health effects of particulate matter. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2013. URL:

http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

3. Health risks of particulate matter from long-range transboundary air pollution.

Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2006. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/78657/E88189.pdf

4. Турос О.І. Аналіз ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря промисловими підприємствами м. Запоріжжя. *Медичні перспективи*. 2008. Т. XIII. №1. С. 93-97.

5. Севальнев А.І., Волкова Ю.В. Цільове планування заходів щодо зниження ризиків для здоров'я від впливу зважених твердих частинок. *Вісник проблем біології і медицини*. 2017. Вип. 4. С. 87-91.

6. Air quality guidelines – global update 2005.

Copenhagen : WHO Regional Office for Europe, 2006. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1

7. Турос О.І., Петросян А.А., Мазко Л.В. Використання методології ризику при оцінці впливу дрібнодисперсного пилу на стан здоров'я населення. Перший Всеукраїнський з'їзд екологів : зб. тез доп. Вінниця : УНІВЕРСУМ, 2006. С. 244-245.

REFERENCES

1. Ambient (Outdoor) Air Quality and Health: Fact Sheets. WHO ; 2018. URL : [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

2. Health Effects of Particulate Matter. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe ; 2013. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

3. Health Risks of Particulate Matter from Long-Range Transboundary Air Pollution. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe ; 2006. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/78657/E88189.pdf

4. Tuross O.I. *Medychni perspektyvy*. 2008 ; XIII (1) : 93-97 (in Ukrainian).

5. Sevalniev A.I. and Volkova Yu.V. Bulletin of Problems in *Biology and Medicine*. 2017 ; 4 : 87-91 (in Ukrainian).

6. Air Quality Guidelines – Global Update 2005. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe ; 2006. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1

7. Tuross O.I., Petrosian A.A. and Mazko L.V. Vykorystannia metodologii ryzkyku pry otsyntsi vplyvu dribnodyspersnoho pylu na stan zdorovia naselennia [Use of Risk Methodology at the Assessment of the Impact of Fine Particulate Matter on the Health of the Population]. In : *Pershyi Vseukrainskyi zizd ekolohiv: zb. tez dop. [The First All-Ukrainian Congress of the Ecologists. Abstracts]*. Vinnytsia : UNIVERSUM ; 2006 : 244-245 (in Ukrainian).

REFERENCES

1. Ambient (Outdoor) Air Quality and Health: Fact Sheets. WHO ; 2018. URL : [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

2. Health Effects of Particulate Matter. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe ; 2013. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

3. Health Risks of Particulate Matter from Long-Range Transboundary Air Pollution.

Copenhagen : WHO Regional Office for Europe ; 2006. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0006/78657/E88189.pdf

4. Tuross O.I. *Medychni perspektyvy*. 2008 ; XIII (1) : 93-97 (in Ukrainian).

5. Sevalniev A.I. and Volkova Yu.V. Bulletin of Problems in *Biology and Medicine*. 2017 ; 4 : 87-91 (in Ukrainian).

6. Air Quality Guidelines – Global Update 2005. Copenhagen : WHO Regional Office for Europe ; 2006. URL: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf?ua=1

7. Tuross O.I., Petrosian A.A. and Mazko L.V. Vykorystannia metodologii ryzkyku pry otsyntsi vplyvu dribnodyspersnoho pylu na stan zdorovia naselennia [Use of Risk Methodology at the Assessment of the Impact of Fine Particulate Matter on the Health of the Population]. In : *Pershyi Vseukrainskyi zizd ekolohiv: zb. tez dop. [The First All-Ukrainian Congress of the Ecologists. Abstracts]*. Vinnytsia : UNIVERSUM ; 2006 : 244-245 (in Ukrainian).

Надійшла до редакції 14.12.2018