

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Атмосфера – це повітряна оболонка Землі, значення якої важко переоцінити. Чистота атмосферного повітря є одним з факторів, що визначає якість навколишнього середовища та рівень здоров'я населення. Але з часів промислової революції якість повітря, яким ми дихаємо, помітно погіршилася, в основному, в результаті антропогенної діяльності людини. Розвиток інфраструктури міста, промисловості і збільшення виробництва електроенергії, інтенсивне зростання інженерно-будівельних робіт та кількості транспорту на дорогах - все це робить свій внесок у забруднення повітря і, в свою чергу призводить до серйозних проблем зі здоров'ям. Недопущення забруднення атмосферного повітря у мегаполісах є нагальним науково-технічним завданням, основу якого складають надійні методи контролю і прогнозування чистоти повітряного басейну. Мета роботи – аналіз параметрів якості стану атмосферного повітря та проведення моніторингу атмосферного повітря за допомогою універсальної системи оперативного екологічного моніторингу у м.Вінниця, а також ліхеноіндикації.

Ключові слова: екологічний моніторинг, атмосферне повітря, забруднення, параметри якості.

Abstract

The atmosphere is the Earth's air shell, the importance of which is difficult to overestimate. The cleanliness of the atmospheric air is one of the factors that determine the quality of the environment and the level of health of the population. But since the industrial revolution, the quality of the air we breathe has deteriorated markedly, mainly as a result of human activities. The development of urban infrastructure, industry and an increase in electricity production, an intensive increase in engineering and construction work and the number of vehicles on the roads all contribute to air pollution and, in turn, lead to serious health problems. Prevention of atmospheric air pollution in megalopolises is an urgent scientific and technical task, which is based on reliable methods of monitoring and predicting the purity of the air basin. The purpose of the work is to analyze the parameters of the quality of the state of atmospheric air and to monitor atmospheric air using a universal system of operational environmental monitoring in Vinnitsa, as well as lichen indication.

Keywords: ecological monitoring, atmospheric air, pollution, quality parameters.

Вступ

Актуальність теми. Атмосфера – це повітряна оболонка Землі, значення якої важко переоцінити. Чистота атмосферного повітря є одним з факторів, що визначає якість навколишнього середовища та рівень здоров'я населення. Але з часів промислової революції якість повітря, яким ми дихаємо, помітно погіршилася, в основному, в результаті антропогенної діяльності людини. Розвиток інфраструктури міста, промисловості і збільшення виробництва електроенергії, інтенсивне зростання інженерно-будівельних робіт та кількості транспорту на дорогах - все це робить свій внесок у забруднення повітря і, в свою чергу призводить до серйозних проблем зі здоров'ям.

Не дивлячись на величину повітряного басейну, він піддається дуже істотним діям, що викликають зміни його складу як на окремих ділянках, так і на всій планеті. Повітря необхідне як джерело кисню для дихання, окислення і спалювання сировини.

Моніторинг у галузі охорони атмосферного повітря проводиться з метою отримання, збирання, оброблення, збереження та аналізу інформації про рівень забруднення атмосферного повітря, оцінки та прогнозування його змін і ступеня небезпечності та розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень у галузі охорони атмосферного повітря.

Недопущення забруднення атмосферного повітря у мегаполісах є нагальним науково-технічним завданням, основу якого складають надійні методи контролю і прогнозування чистоти повітряного

басейну. При вирішенні цих завдань актуальним стає необхідність розроблення моделей оперативного моніторингу атмосферного повітря, який визначає аналіз, контроль та прогноз стану і управління якісним складом атмосфери.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження аналіз параметрів якості стану атмосферного повітря та проведення моніторингу атмосферного повітря за допомогою універсальної системи оперативного екологічного моніторингу у м.Вінниця, а також ліхеноіндикації.

Об'єкт досліджень – параметри якості атмосферного повітря м.Вінниці.

Предмет дослідження – методи та засоби екологічного моніторингу параметрів якості атмосферного повітря.

Методи дослідження. У роботі використані методи екологічного контролю забруднення атмосферного повітря з використанням ліхеноіндикації.

Практичне значення одержаних результатів полягає у вдосконаленні засобів контролю параметрів якості атмосферного повітря м. Вінниці. До результатів, одержаних у магістерській роботі, що мають практичну цінність, належить удосконалення методики контролю параметрів якості атмосферного повітря та проведення відповідних експериментальних досліджень.

Результати дослідження

Для оцінки стану забруднення атмосферного повітря встановлюються нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря та нормативи гранично допустимих викидів в атмосферне повітря забруднюючих речовин, рівні шкідливого впливу фізичних та біологічних факторів у межах населених пунктів, у рекреаційних зонах, в інших місцях проживання, постійного чи тимчасового перебування людей, об'єктах навколишнього природного середовища з метою забезпечення екологічної безпеки громадян і навколишнього природного середовища:

- нормативи якості атмосферного повітря;

- гранично допустимі рівні впливу акустичного, електромагнітного, іонізуючого та інших фізичних факторів і біологічного впливу на стан атмосферного повітря населених пунктів.

Для курортних, лікувально-оздоровчих, рекреаційних та інших окремих районів можуть встановлюватися більш суворі нормативи екологічної безпеки атмосферного повітря.

Нормативи гранично допустимих викидів забруднюючих речовин та їх сукупності, які містяться у складі пилогазоповітряних сумішей, що відводяться від окремих типів обладнання, споруд і надходять в атмосферне повітря від стаціонарних джерел, встановлюються з метою забезпечення дотримання нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря з урахуванням економічної доцільності, рівня технологічних процесів, технічного стану обладнання, газоочисних установок.

Для діючих і тих, що проектуються, окремих типів обладнання і споруд залежно від часу розроблення та введення у дію, наявності наукових і технічних розробок, економічної доцільності встановлюються:

- норматив гранично допустимого викиду забруднюючої речовини стаціонарного джерела;

- технологічні нормативи допустимих викидів забруднюючих речовин або їх суміші, які визначаються у місці їх виходу з устаткування.

До технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин належать:

- поточні технологічні нормативи - для діючих окремих типів обладнання, споруд на рівні підприємств з найкращою існуючою технологією виробництва аналогічних за потужністю технологічних процесів;

- перспективні технологічні нормативи - для нових і таких, що проектуються, будуються або модернізуються, окремих типів обладнання, споруд з урахуванням досягнень на рівні передових вітчизняних і світових технологій та обладнання.

Нормативи гранично допустимих рівнів впливу на атмосферне повітря встановлюються для кожного стаціонарного джерела по всіх створюваних ним видах фізичних і біологічних факторів.

Нормативи гранично допустимого впливу фізичних та біологічних факторів встановлюються на рівні, за якого фізичний та біологічний вплив усіх джерел у цьому районі, з урахуванням перспектив його розвитку, в період терміну дії встановленого нормативу не призведе до перевищення нормативів екологічної безпеки атмосферного повітря (за найбільш суворим нормативом).

Для кожного типу пересувних джерел, що експлуатуються на території України, встановлюються нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та впливу фізичних фак-

торів цих джерел, які розробляються з урахуванням сучасних технічних рішень щодо зменшення утворення забруднюючих речовин, зниження рівнів впливу фізичних факторів, очищення відпрацьованих газів та економічної доцільності.

Лишайники – це особливі організми, утворені в результаті симбіозу гриба й водорості, з новими морфологічними, фізіологічними та екологічними властивостями. Відомо понад 20 тисяч видів лишайників. Лишайники завдяки особливостям своєї організації і життєдіяльності є одними з найкращих біоіндикаторів чистого повітря. Вони поширені по всій планеті, ростуть на різних субстратах, здатні витримувати суворі умови існування, і у той же час їм властива висока чутливість до забруднення атмосфери. Види лишайників по-різному реагують на речовини-забруднювачі. Вивчивши такі властивості лишайників, можна використовувати їх для оцінки ступеня забруднення довкілля, особливо повітря. На цій основі почав розвиватись особливий напрям екології – ліхеноіндикація, тобто індикація за допомогою лишайників.

Розвиток інфраструктури міста, промисловості і збільшення енергогенеруючих потужностей, інтенсивне зростання інженерно-будівельних робіт та кількості транспорту на дорогах інтенсифікує забруднення повітря і призводить до серйозних проблем зі здоров'ям населення міста. Тому дослідження забруднення атмосферного повітря у мегаполісах є актуальним науково-технічним завданням, основу якого становлять надійні методи контролю і прогнозування динаміки стану повітряного басейну шляхом біологічного моніторингу, що передбачає виявлення негативних змін якості абіотичних компонентів довкілля.

Рослинність є найбільш пластичним компонентом довкілля, що чутливо реагує на зниження його якості. Змінюючись під впливом сукупності факторів навколишнього середовища, рослинність відображає собою, тобто своїм станом, сліди минулих і поточних негативних впливів. У порядку зростання толерантності (терпимості) рослин до дії забруднювачів їх розташовують у такому порядку: лишайники – хвойні – трав'яні – листопадні. Тому останнім часом лишайники набули особливої популярності як біоіндикатори забруднення навколишнього середовища і, насамперед, атмосферного повітря.

Зі всіх груп лишайників найбільшою чутливістю володіють лишайники-епіфіти. Чутливість цієї групи лишайників до забруднення повітря визначається:

- симбіотичною природою взаємодії компонентів лишайника (гриба і водорості);
- великою поверхнею абсорбції (усі речовини, враховуючи газоподібні і розчинені у воді поллютанти, поглинаються всією поверхнею талому);
- високою гідрофільністю;
- місцем існування (осади, що стікають по стовбуру, містять значно вищі концентрації поллютантів, ніж осади на відкритих місцях);
- тривалістю життя.

Тому як біоіндикатор у цьому дослідженні використано саме епіфітні лишайники, які відповідають усім вимогам до рослин-індикаторів, тобто не є надто чутливими або надто стійкими до забруднення, мають тривалий життєвий цикл, а також значно поширені, причому кожний вид пристосований до певного місця зростання. Важливим фактором є також те, що в разі короточасного впливу високих концентрацій забруднювачів епіфітні лишайники зовні майже не змінюються, але тривалий вплив низьких концентрацій поллютанта спричиняє в них такі пошкодження, які не зникають до загибелі слані.

Так, ще у XIX ст. вчені звернули увагу, що видовий склад лишайників в індустріальних районах розрізняється настільки сильно, що це дає змогу виділяти лишайникові зони. Вперше такі зони було виділено у Стокгольмі: зона "лишайникової пустелі", де лишайники майже відсутні, "зона змагання", де видовий склад лишайників бідний, а самі вони володіють зниженою життєздатністю, і "нормальна зона". У Великобританії для вивчення поширення лишайників було залучено 15000 школярів для створення карти комплексної оцінки стану атмосферного повітря.

Внаслідок проведення численних досліджень встановлено, що лишайники найбільш чутливі до вмісту у повітрі оксидів сульфуру і нітрогену. Дослідження А. Дмітрієва показали, що зі збільшенням концентрації забруднювачів у повітрі стан популяції лишайників зазнає таких змін:

1) знижується видова різноманітність лишайників: на чистих територіях (віддалених від міста і джерел забруднення) кількість видів становить не менше 15-20, тоді як на урбанізованих територіях скорочується до 2-3 видів; при цьому накипні лишайники – найбільш стійкі до забруднення, найменш стійкі – кущисті. 2) знижується чисельність лишайників: чисельність епіфітних лишайників знижу-

ється в середньому на 1 погонний метр від 45 до 3-5 %;

3) зменшується величина таломів лишайників (у 4-6 разів), відзначається їх роз'єднаність і менш інтенсивне забарвлення, що свідчить про пригнічення життєдіяльності водоростевого компонента;

4) концентрація важких металів, виявлена за допомогою атомно-адсорбційної спектрометрії, у таломі міських лишайників на декілька порядків вище, ніж у контрольних, що зростають на чистих ділянках: у тисячу разів більше свинцю, у сто разів більше заліза, марганцю і кремнію.

На основі узагальнення виявлених закономірностей дослідники розробляють шкали оцінки складу атмосфери. Лишайникова пустеля відображає сильне забруднення повітря. Наявність тільки накипних лишайників свідчить про середнє забруднення. Якщо є накипні і листуваті лишайники, можна зробити висновок про середнє забруднення повітря. Нарешті, присутність всіх трьох груп – кущистих, листуватих і накипних лишайників – свідчить про практичну відсутність забруднення повітря.

Ліхеноіндикацію зручно проводити в конкретній обмеженій місцевості (наприклад, у невеликому місті і його околицях). Лишайники не вибагливі до умов середовища і характеризуються високою стійкістю проти впливу несприятливих факторів. Вони можуть рости в найрізноманітніших умовах освітлення й вологості, легко витримують тривалу нестачу води, різкі коливання температури, однак по-різному реагують на забруднення повітря. Деякі з них не витримують навіть малого забруднення повітря і гинуть, інші – живуть лише в населених пунктах, у тому числі в промислових містах [1–5].

Стан повітряного басейну певного району можна визначити по наявності чи відсутності в ньому відповідних видів лишайників за допомогою спеціальних шкал. Серед них слід виділити шкали, які розробив Х.Трасс.

Шкала стійкості до міських умов лишайників Х.Трасса, включає десять класів, до кожного входять різні види цих організмів.

Об'єктом проведеного дослідження був екологічний стан повітря у ряді районів м. Вінниці (район Вишенька, район Поділля, район Урожай).

Основним завданням проведеного дослідження поширеності лишайників різних видів у мікрорайонах м. Вінниці було встановлення взаємозв'язку між ступенем покриття лишайниками дерев та екологічним станом атмосферного повітря в мікрорайоні.

В якості досліджуваного субстрату у визначених мікрорайонах Вінниці була використана липа дрібнолиста. Район дослідження розділяли на квадрати, в кожному з яких підраховується загальне число досліджуваних дерев і дерев, які покриті лишайниками. Для оцінки забруднення атмосфери конкретної магістралі, вулиці або парку описують лишайники, котрі ростуть на деревах по обидві сторони вулиці чи алеї парку на кожному третьому, п'ятому або десятому дереві. Досліджувана ділянка обмежується на стовбурі дерева дерев'яною рамкою (палеткою), наприклад, розміром 10x10 см, котра розділена в середині тоненькими дротиками на квадратики по 1 см². З цією метою можна використовувати шматок прозорого поліетилену, на якому ручкою накреслені ті самі квадратики зі сторонами 1x1 см.

Відмічають, які види лишайників зустрічаються на ділянці, який процент загальної площі рамки займає кожний вид лишайника, що там росте. Крім того, вказують особливості життєдіяльності кожного екземпляра: чи є у нього плодове тіло, здорова чи пошкоджена слань. На кожному дереві описують мінімум чотири пробні ділянки: дві біля основи стовбура (з різних його сторін) і дві на висоті 1, 4 – 1, 6 м. Таким чином, для кожної ділянки і для кожного типу лишайників (накипних, листкуватих і кущистих) виставляються бали покриття.

Чим більший показник ступеня покриття стовбура дерев лишайниками (чи він ближчий до 100 %), тим чистіше повітря у районі дослідження. Є прямий зв'язок між середнім ступенем покриття дерев лишайниками і концентрацією діоксиду сірки в атмосферному повітрі.

Вважається, що найбільш чутливі до забруднення повітря кущисті лишайники, а найбільш стійкі накипні види. Це не завжди так. Точніше слід говорити про існування видів з різною чутливістю до забруднюючих речовин. Визначення видового складу лишайників - досить складне завдання, для вирішення якої потрібні докладні визначники, навички виготовлення тонких зрізів, роботи з мікроскопом.

В цілому методи оцінки забрудненості атмосфери по поширеності лишайників засновані на наступних закономірностях:

- чим сильніше забруднене повітря, тим менше зустрічається в ньому видів лишайників (замість десятків може бути один - два види);

- чим сильніше забруднене повітря, тим меншу площу покривають лишайники на стовбурах дерев;

- при підвищенні забрудненості повітря зникають першими кущисті лишайники, за ними - листуваті, останніми - накипні.

Етапи визначення рівня забрудненості повітря методом пасивної ліхеноіндикації були наступними:

1. Вибрали район, в якому будуть проводитися спостереження.
2. На карті мікрорайону позначили прилеглі ТЕЦ, заводи, інші підприємства, дороги з інтенсивним транспортним рухом.
3. Розбили обрану територію на квадрати, розмір яких залежить від площі досліджуваної території (наприклад, 10 x 10 м).
4. У кожному квадраті вибрали 10 окремо стоячих старих, але здорових, що ростуть вертикально дерев. Краще вибрати вид дерева, який найбільш поширений на даній території.
5. На кожному дереві підраховували кількість видів лишайників. Не обов'язково знати, як точно називаються види, треба лише розрізнити їх за кольором і формою слані. Для більш точного підрахунку можна використовувати лупу.
6. Всі виявлені види розділили на 3 групи: кущисті, листуваті, накипні.
7. Провели оцінку ступеня покриття деревного стовбура. Для цього на висоті 30-150 см на найбільш покриті лишайниками частину кори накладали рамку. Підраховували, який відсоток загальної площі рамки займають лишайники.

Крім дерев можна досліджувати обростання лишайниками каменів, стін будинків і т.п.

Таблиця 1 – Результати спостереження на прикладі району Вишенського озера

Ознаки	Дерева									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Загальна кількість видів лишайників, в тому числі:	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1
кущисті										
листуваті	+		+						+	
накипні	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ступінь покриття ствола дерева лишайниками, %	50	20	40	20	10	15	20	20	50	10

На рис.1-2 зображені знайдені лишайники в порівнянні із лінійкою кольорів. Для визначення виду та площі лишайників було використано метод цифрової колориметрії (вимірювання кольору). Зображення лишайників були отримані за допомогою цифрового фотоапарату із застосуванням лінійки кольорів, що дозволило об'єктивно зафіксувати розміри та колір лишайників.



Рисунок 1 - Ксанторія настінна (*Xanthoria parietina*)



Рисунок 2 - Фісція сива (*Physcia caesia*)

За допомогою пасивної ліхеноіндикації ми провели аналіз стану атмосферного повітря в ряді районів м. Вінниці: район Вишеньського озера – район Електромережі – парк ім. Ющенко – район Поділля.

Після проведення польового дослідження отриману інформацію проаналізували статистично і зробили висновки стосовно якості атмосферного повітря в населеному пункті.

Зонами сильного забруднення є райони Поділля та район Електромережі. Це – райони з напруженим рухом, очевидно, що викиди оксидів сірки створюють пригнічуючі умови для росту лишайників. Найбільш чистою зоною виявилися район Поділля (парк ім. Ющенко), а також район Вишеньського озера.

Отже, метод ліхеноіндикації – це доступний, ефективний та недорогий спосіб оцінки екологічного стану атмосферного повітря в містах та на інших територіях. На відміну від лабораторного аналізу проб повітря, ліхеноіндикація не потребує спеціального обладнання, лабораторій, реактивів, це – візуальні та статистичні дослідження, проводити які можуть учні, студенти тощо.

На основі розробленої ліхеноіндикаційної карти районів дослідження можна визначити зони максимального та мінімального забруднення атмосферного повітря кислотними аерозолями. Дана карта може використовуватися науковцями, студентами, учнями та вчителями, фахівцями міських екологічних та комунальних служб та усіма громадянами, небайдужими до екологічного стану навколишнього середовища у м. Вінниці.

Для поліпшення стану атмосферного повітря міста необхідно:

- здійснити переведення комунального автотранспорту на електротягу та використання природного газу;
- ввести повну заборону використання у місті автомобілів без каталізаторів відпрацьованих газів двигунів, заборонити в'їзд до міста транспорту без каталізаторів, організувати стоянки для нього;
- при подальшій розробці схем забудови передбачити пункти паркування на в'їздах у місто (на кінцевих зупинках транспорту загального користування), проаналізувати стару забудову міста та спланувати нові місця паркування;
- створити єдину кільцеву систему теплогенерації та теплододозабезпечення міста за рахунок ТЕЦ, районних котелень та котелень підприємств міста;
- вивести за межі міста екологічно небезпечні виробництва із значними викидами забруднюючих речовин в атмосферу;
- для зменшення впливу вітру в міжбудинкових просторах та зниження впливу автотранспорту на мешканців житлової забудови бажано проводити селітебну забудову кварталу як одного цілісного будинку з підземними гаражами та об'єктами культурного і побутового комплексу у центрі та південній частині цієї забудови, спортивними та дитячими майданчиками з півночі і закритими службовими проїздами транспорту на одну сторону.

Проблема забруднення атмосферного повітря у містах лишається однією з головних екологічних проблем більшості міст України. Для часткового вирішення цієї проблеми існують певні заходи:

- 1) зміна режимів руху транспортних засобів з використанням світлофорів, дорожньої розмітки та, в ідеалі – автоматизованої системи керування дорожнім рухом;
- 2) ремонт та підтримування у відмінному стані дорожнього покриття вулиць міста;
- 3) під час будівництва та експлуатації автомобільних доріг необхідно визначити оптимальні розміри захисних зон та їх використання;
- 4) постійний on-line контроль викидів і кількості транспортних засобів на вулицях міста, особливо у найбільш забруднених місцях, з виведенням інформації на геопортал.

Висновки

Розробка та експлуатація нафтогазових родовищ, наявність нафтовидобувної та переробної В роботі було проведено дослідження стану атмосферного повітря м. Вінниці за допомогою методу ліхеноіндикації та розробленої універсальної системи оперативного моніторингу. Проведена загальна характеристика екологічних проблем міста Вінниці. Було визначено, що основними джерелами забруднення атмосферного повітря являється транспорт (переважно автотранспорт). Була наведена характеристика викидів забруднювальних речовин природного і антропогенного походження.

Був проведений аналіз особливостей контролю забруднення атмосферного повітря методом ліхеноіндикації. Проведено дослідження ступеню забруднення атмосферного повітря районів міста Він-

ниці методом ліхеноіндикації та наведені результати.

Розроблено природоохоронні рекомендації щодо покращення стану атмосферного повітря на території Вінницької області. Була розроблена універсальна система екологічного моніторингу. Запропоновані заходи щодо усунення шкідливих факторів впливу на атмосферне повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Селіванова А. Р., Кватернюк О. Є., Кватернюк С. М. Аналіз стану атмосферного повітря в ряді мікрорайонів м. Вінниці за допомогою пасивної ліхеноіндикації. VII-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю [Електронне мережне наукове видання] : зб. наук. праць. (м. Вінниця, 25–27 вересня 2019 р.). Вінниця, 2019. С. 116. – 6 Мб.
2. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Безусяк Я. І. Мультиспектральний контроль забруднення атмосферного повітря з використанням біосенсорів та ліхеноіндикації. V-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. праць. (м. Вінниця, 23–26 вересня 2015 р.). Вінниця, 2015. С. 246.
3. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Васильківський І. В., Ковтонюк А. В. Контроль та прогнозування забруднення атмосфери оксидами азоту. IV-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. стат. (м. Вінниця, 25–27 вересня 2013 р.). Вінниця, 2013. С. 508–509.
4. Петрук В. Г., Кватернюк С. М., Васильківський І. В., Ковтонюк А. В. Оцінювання екологічних ризиків при забрудненні атмосфери оксидами азоту. IV-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю : зб. наук. стат. (м. Вінниця, 25–27 вересня 2013 р.). Вінниця, 2013. С. 510–511.
5. Петрук В., Васильківський І., Кватернюк С., Слободський А. Лідарний контроль аерозольного забруднення атмосфери. Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС–2013) : зб. тез доп. II-ої міжнар. наук. конф. (м. Вінниця, 29–30 жовтня 2013 р.). Вінниця, 2013. С. 150–152.

Мандебура Святослав Васильович — аспірант кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

Кватернюк Сергій Михайлович — д.т.н., професор, професор кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

Серединська Ірина Вячеславівна — студент, Інститут екологічної безпеки та моніторингу довкілля, Вінницький національний технічний університет

Mandebura Svyatoslav Vasilyevich — Postgraduate student of the Department of Ecology and Environmental Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Kvaterniuk Serhii M. — D.Sc., Professor, Professor of Ecology and Environmental Safety, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: serg.kvaternuk@gmail.com.

Seredynska Iryna Vyacheslavivna — student, Institute of Environmental Safety and Environmental Monitoring, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.