

ОЦІНКА РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ МЕТОДОМ ДЕНДРОІНДИКАЦІЇ

Барабаш О.В.

Національний транспортний університет
вул. Омеляновича-Павленка, 1, 01010, м. Київ
el_barabash@ukr.net

У статті проведено оцінку стану атмосферного повітря за допомогою дендроіндикації міських територій заснованої на експрес-оцінці забруднення атмосферного повітря. Діяльність промислових підприємств є одним з основних джерел забруднення урбоєкосистем і становить суттєву загрозу здоров'ю населення міст в результаті емісії пилу в атмосферу. Зелені насадження, які входять до складу сучасного міста, є важливим елементом, що створює середовище, яке забезпечує сприятливі мікрокліматичні і санітарні умови для проживання людини. Велика роль належить рослинам вулиць міста, які, як правило, зростають біля автодорожнього полотна та на різній відстані від промислових підприємств. За оптимальних умов живі організми реагують на вплив середовища за допомогою складної фізіологічної системи буферних гомеостатичних механізмів, які підтримують оптимальне протікання процесів онтогенезу. Під впливом несприятливих умов механізми підтримання гомеостазу можуть бути порушені, через вплив стресових чинників, що призводить до відхилень під час процесів розвитку аж до появи аномалій різних анатомо-морфологічних структур. Для визначення екологічної небезпеки територій виникає необхідність у створенні інтегральної системи оцінювання, яка поєднає дані щодо якості атмосферного повітря з показниками «реакції-відповіді» живих організмів на ступінь антропогенних змін комплексу екологічних факторів, які впливають на розвиток біоти. Стабільність розвитку організму як здатність до проходження всіх стадій онтогенезу є чутливим індикатором стану природних популяцій, екосистем та дозволяє оцінювати сумарну величину антропогенного навантаження на компоненти біосфери. За класами пошкодження і всихання хвої сосни звичайної (*Pinus sylvestris L.*) визначено «реакцію-відповідь» рослинних організмів на стан навколишнього середовища обраних ділянок м. Києва. На основі проведеного дослідження запропоновано методи для покращення стану атмосферного повітря м. Києва. *Ключові слова:* моніторинг, біоіндикація, дендроіндикація, сосна звичайна (*Pinus sylvestris L.*), пошкодження хвої.

Assessment of atmospheric air pollution level using dendroindication method. Barabash O. The article provides the assessment results for the atmospheric air conditions by means of method dendroindication at the urban territories based on rapid assessment of atmospheric air pollution. Industrial activity is one of the major sources of pollution in urban ecosystems and poses a significant threat to the health of urban populations due to dust emissions into the atmosphere. Green plantings, which are a part of the modern city, are an important element creating an environment providing favorable microclimatic and sanitary conditions for human living. Plants of the city streets, which tend to grow near the roadway, play an important role and at different distances from industrial enterprises. Under optimal conditions, living organisms respond to the influence of the environment through a complex physiological system of buffer homeostatic mechanisms supporting the optimal course of ontogeny. Under the influence of adverse conditions, the mechanisms of maintaining homeostasis can be impaired, due to the influence of stress factors, which leads to deviations during development processes until the appearance of anomalies in different anatomic and morphological structures. Therefore, in order to determine the ecological hazard for the territories, there is a need to create an integrated assessment system combining data on the quality of the atmospheric air with the indicators of the “reaction-response” of living organisms to the degree of anthropogenic changes in the complex of environmental factors affecting the biota development. The stability of the organism’s development as the ability to undergo all stages of ontogeny is a sensitive indicator of the state of natural populations, ecosystems and allows to estimate the total amount of anthropogenic load on the biosphere components. According to the classes of damage and drying out of pine needles (*Pinus sylvestris L.*), the “response” of plant organisms to the environmental conditions of selected sites in Kyiv is defined. Based on the conducted research, the methods for improvement of the atmospheric air in Kyiv are proposed. *Key words:* monitoring, bioindication, dendroindication, Scotch pine (*Pinus sylvestris L.*), needle damage.

Постановка проблеми. У зв'язку із запуском Міністерства екології та природних ресурсів України Проекту Постанови Кабінету Міністрів України «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» буде затверджено «Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» (Порядок) [1], згідно якого набуває особливої актуальності екологічний моніторинг, що визначає оптимальні за кількістю

та розміщенням місця, параметри й періодичність спостережень за довкіллям для можливості органам державної влади приймати відповідні рішення на всіх рівнях відомчої й загальнодержавної природоохоронної діяльності [2]. Згідно Порядку вводиться в дію особливий режим отримання інформації від: 1) суб'єктів моніторингу атмосферного повітря, які повинні встановити пункти спостережень і стежити за рівнями забруднюючих речовин та вмістом інгреді-

ентів та/або показників атмосферних опадів; 2) об'єктів, діяльність яких призводить або може призвести до погіршення стану атмосферного повітря в окремих зонах та агломераціях [1]. Оцінювання рівнів забруднюючих речовин буде здійснюватись відповідно до таких критеріїв: 1) режим фіксованих вимірювань при рівні забруднюючої речовини вище верхнього порогу оцінювання (інструментальні методи); 2) режим комбінованого оцінювання при рівні забруднюючої речовини нижче верхнього порогу оцінювання (інструментальні методи, моделювання та індикаційні вимірювання); 3) режим оцінювання методами моделювання та об'єктивного оцінювання при рівні забруднюючих речовин нижче нижнього порогу оцінювання (комбінація інструментальних методів, моделювання та індикаційних вимірювань) [1].

За допомогою інструментальних методів дослідження (фіксовані вимірювання) визначають узагальнені дані про якість атмосферного повітря, що стосуються певного проміжку часу та/або певної території. На відміну від моніторингу на основі індикаційних вимірювань, який створює умови і можливості на основі реакцій живих організмів оцінити біологічні ефекти від впливу забрудненого повітря, враховуючи його просторовий розподіл та акумулювання на значних територіях. За оптимальних умов організм реагує на вплив середовища за допомогою складної фізіологічної системи буферних гомеостатичних механізмів, які підтримують оптимальне протікання процесів онтогенезу. Під впливом несприятливих умов механізми підтримання гомеостазу можуть бути порушені, через вплив стресових чинників, що призводить до відхилень під час процесів розвитку аж до появи аномалій різних анатомо-морфологічних структур. Тому, для визначення екологічної небезпеки територій виникає необхідність у створенні інтегральної системи оцінювання, яка поєднає інструментальні методи дослідження якості атмосферного повітря з методами біоіндикації, зокрема визначенням «реакції-відповіді» живих організмів на ступінь антропогенних змін комплексу екологічних факторів, які впливають на розвиток біоти.

Таким чином, проведення інтегрального моніторингу стану компонентів біосфери (атмосфера, літосфера, гідросфера) дозволить визначити прояви дестабілізації у розвитку живих організмів, якість навколишнього середовища (хімічне забруднення) та ступінь збереження (або відновлення) екологічних властивостей ґрунтів, вод та атмосферного повітря, порушених в результаті комплексу емісійних, фонових-параметричних та ландшафтно-деструктивних впливів, пов'язаних із формуванням міського ландшафту.

Актуальність дослідження. Дендроіндикація як метод оцінки стану і змін навколишнього середовища під впливом екологічних факторів за «реакцією-відповіддю» деревних рослин займає особливе місце серед біоіндикаційних методів дослідження природних процесів і антропогенних впливів. Метод

дендроіндикації поєднує в собі можливості щодо вирішення різнопланових і міждисциплінарних задач від оцінювання впливу викидів промислових підприємств або автомобільного транспорту на стан деревних насаджень до впливу геліофізичних і астрофізичних чинників на стан екосистем.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема відповідає актуальним напрямкам екологічної політики України в сфері забезпечення збалансованого розвитку та екологічної безпеки, які висвітлено у Постанові ВРУ «Про Концепцію (основи державної політики) національної безпеки України» [3], Законах України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» [4] та «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [5], які визначають курс розвитку держави на найближче майбутнє.

Дослідження виконані в межах держбюджетної науково-дослідної роботи на кафедрі екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету «Вдосконалення та розробка методів екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями застосування методів екологічного моніторингу для оцінки стану екосистем за функціональним станом вищих рослин присвячено праці багатьох учених. Автори А. Запольський, А. Войцицький розглядають екологічний моніторинг як комплексну науково-інформаційну систему спостережень для оцінки й прогнозування змін навколишнього середовища та живих організмів під впливом антропогенних факторів [6]. За І. Герасимовим особливу роль у системі екологічного моніторингу відіграє біоекологічний моніторинг [7]. Головним методом біологічного моніторингу на думку О. Мелехової та Є. Сарапульцевої є біоіндикація як визначення екологічно значущих природних і антропогенних навантажень на основі реакцій живих організмів безпосередньо в місці їх існування [8]. Є. Єгорова вважає, що кумулятивний ефект різноманіття впливів можна оцінити виключно методами біотестування [9]. Біотестування як вступ до детального і всебічного аналізу хімічного складу ґрунтів чи води розглядає у своїй праці І. Тарасенко [10]. Класифікацію методів біотестування пропонує Т. Ашихміна [11]. Питаннями дендроіндикації займалися Н. Ловелюс [12], С. Шиятов [13]. Реакції сосни звичайної на техногенне забруднення атмосфери вивчали В. Левкович [14], Д. Ахмерова [15] та інші.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В процесі моніторингу атмосферного повітря недостатньо уваги приділяється використанню зелених насаджень міста для дослідження змін їх морфологічних ознак під впливом антропогенного навантаження.

Метою роботи є оцінка стану атмосферного повітря за функціональним станом вищих деревних рослин залежно від ступеня антропогенних змін комплексу екологічних факторів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Результати даної наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дозволять визначити характер антропогенних змін, які відіграють вирішальну роль у формуванні специфічних властивостей ґрунтів, вод та атмосферного повітря і впливають на стабільність розвитку деревних насаджень міста.

Викладення основного матеріалу. Рослини як продуценти екосистеми, впродовж життєвого циклу знаходяться під впливом трьох середовищ: ґрунтового, водного та повітряного. Вони найбільш повно відображають увесь спектр стресових впливів на систему «рослина-навколишнє середовище». Найбільш чутливими з вищих рослин до атмосферних змін, пов'язаних із впливом антропогенних факторів, вважаються хвойні – ялина, сосна [14].

Метод дендроіндикації базується на виявленні залежності ступеня пошкодження хвої (некротів і хлорозів) від забруднення повітря в районі розвитку сосни звичайної діоксидом сульфуру. За умов відсутності техногенного впливу в лісових екосистемах основна маса хвої сосни не ушкоджена і лише мала частина хвоїнок має світло-зелені плями й некротичні вкраплення мікроскопічних розмірів, рівномірно розташовані по всій поверхні. В атмосфері забрудненій діоксидом сульфуру з'являються пошкодження і знижується тривалість життя хвої сосни.

Тривалість життя хвої сосни за нормальних умов становить 3–4 роки, але під впливом токсикантів в зонах сильного забруднення вона стає темно-червоною, забарвлення поширюється від основи голки до її вістря, і, проіснувавши всього один рік, відмирає й опадає. Тому за тривалістю життя хвої сосни та за характером некротів й хлорозів визначають ступінь ураження соснових насаджень діоксидом сульфуру.

Для визначення в атмосферному повітрі діоксиду сульфуру за зміною морфологічних ознак *P. Sylvestris* було обрано Дарницький район м. Києва як один із найбільших за кількістю населення та площею території (16% від загальної площі м. Києва) (табл. 1). Загальна площа району становить близько 134 км², площа водного басейну – 556,1 га, зелених насаджень – 214 га.

Промисловість району представлена 35 підприємствами різних галузей, серед яких є ті, що можуть прямо або опосередковано чинити негативний вплив на навколишнє природне середовище (табл. 2; рис. 1).

Під час проведення первинного екологічного аналізу діяльності екологічно небезпечних підприємств Дарницького району встановлено, що їх виробничі потужності є найбільшими постачальникам викидів в атмосферне повітря таких забруднюючих речовин як діоксид сульфуру та оксиди азоту.

Згідно статистичних даних [16] викиди вище зазначених речовин в атмосферне повітря Дарницького району у порівнянні з рештою адміністративних районів м. Києва є мінімальними.

Значна частина викидів у атмосферне повітря досліджуваного району пов'язана із діяльністю об'єктів транспортної інфраструктури (табл. 3).

Таблиця 1

Особливості території Дарницького району м. Києва

Загальна площа району	га	13363,0
Площа зелених насаджень	га	344,15
з них:		
- парки	га	304,98
- сквери	га	16,4
- бульвари, проспекти, площі	га	22,77
Захисні зони	га	745,9
Бюветні комплекси	од.	22
Підземні переходи	од.	24
Водний басейн району	од.	67
Дороги з твердим покриттям	км	249,1

Таблиця 2

Екологічно небезпечні об'єкти Дарницького району

	Назва екологічно небезпечного об'єкта	Вид економічної діяльності
1	Філія «Завод «Енергія»	Термічне знешкодження твердих побутових та промислових відходів
2	ТОВ «Євро-Реконструкція»	Виробництво теплової та електричної енергії для потреб м. Києва
3	Бортницька станція аерації	Очищення стічних вод Києва від забруднювальних речовин та обробка затриманих механічних решток

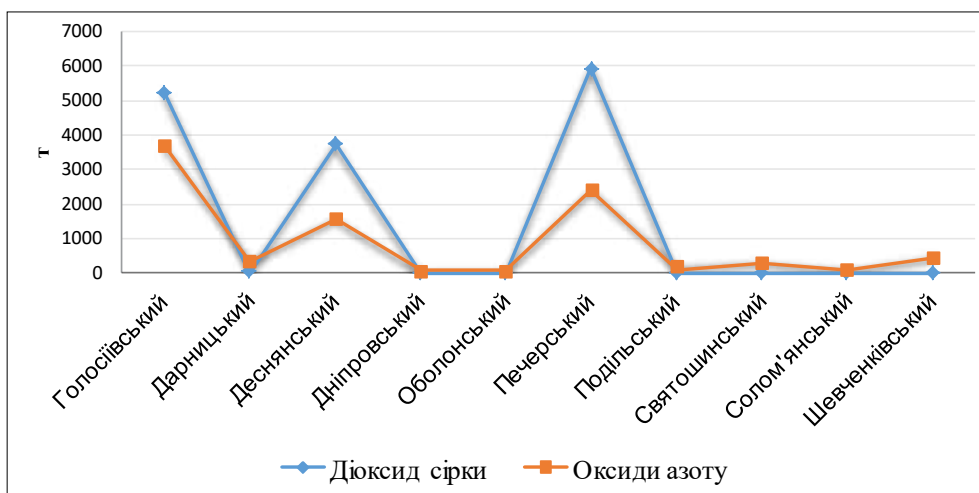


Рис. 1. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел

Встановлена кількість об'єктів транспортно-дорожнього комплексу не може не позначитись на стані навколишнього природного середовища Дарницького району. За узагальненими матеріалами державного соціально-гігієнічного моніторингу стан атмосферного повітря в Дарницькому районі характеризувався наступними даними: з 657 досліджених проб атмосфери було зареєстровано 3 перевищення ГДК по 5-ти забруднюючим речовинам: пил (в 1,12–1,32 рази), оксид вуглецю (в 1,2–1,4 рази), діоксид нітрогену (в 1,1–1,25 рази), формальдегід (в 1,08–1,6 рази), діоксид сульфур (в 1,12–1,2 рази) [17].

Для визначення стану атмосферного повітря Дарницького району була відібрана хвоя *P. sylvestris* для дослідження ступеня некротичних ушкоджень та хлорозів хвої за бонітетними класами [18].

Загальна площа лісового фонду України становить – 10,4 млн га, хвойні ліси – ялина та сосна займають 41,9% усієї площі, 27,5% – дуб, 8,9% – бук. Сосна звичайна широко поширена в Європі, утворюючи чисті насадження або у поєднанні з ялиною, березою, осикою та дубом. Вид є маловимогливим до ґрунтових умов, займає часто непридатні для інших видів площі: піски та болота. Сосна зви-

Таблиця 3

Об'єкти транспортної інфраструктури Дарницького району

Підприємства автомобільного транспорту	од.	15
Підприємства залізничного транспорту	од.	7
Трамвайні маршрути	од.	8
Автобусні маршрути	од.	15
Таксомоторні маршрути	од.	23
Станції метрополітену	од.	7
Залізничні станції	од.	1
Гаражно-будівельні кооперативи	од.	31
Стоянки автомобільного транспорту	од.	28
Автозаправні станції	од.	19
Станції технічного обслуговування	од.	4
Наявність автомобільних доріг	км	118,728
Магістральні вулиці загальноміського значення	км	12,847
Магістральні вулиці районного значення	км	61,094
Вулиці місцевого значення	км	41,150
Місцеві проїзди між кварталами	км	3,637

Таблиця 4

Шкала бонітетних класів пошкоджень хвої *P. sylvestris* [18]

Некрози		Хлорози	
1-клас	плями відсутні	1-клас	немає сухих ділянок
2-клас	невелика кількість дрібних цяток	2-клас	кінчик хвоїнки на 2-5 мм всох
3-клас	велика кількість жовтих і чорних плям, деякі на всю ширину хвоїнки	3-клас	третина хвоїнки суха
		4-клас	вся хвоїнка жовта або більша половини її суха

Ступінь пошкодження (некрози) та усихання (хлорози) хвої *P. sylvestris*

	Ділянка 1 (400 шт.)		Ділянка 2 (400 шт.)		Ділянка 3 (400 шт.)		Ділянка 4 (400 шт.)	
	Кількість хвої, шт.	Пошкодження, %	Кількість хвої, шт.	Пошкодження, %	Кількість хвої, шт.	Пошкодження, %	Кількість хвої, шт.	Пошкодження, %
<i>Некрози хвої</i>								
1-клас	130	32,50	130	32,50	132	33,00	160	40,00
2-клас	80	20,00	79	19,75	80	20,00	110	27,50
3-клас	190	47,50	191	47,75	188	47,00	130	32,50
<i>Хлорози хвої</i>								
	Кількість хвої, шт.	Усихання, %	Кількість хвої, шт.	Усихання, %	Кількість хвої, шт.	Усихання, %	Кількість хвої, шт.	Усихання, %
1-клас	378	94,50	304	76,00	295	73,75	241	60,25
2-клас	22	5,50	96	24,00	110	27,50	102	25,50
3-клас	-	-	-	-	-	-	57	14,25
4-клас	-	-	-	-	-	-	-	-

чайна – світлолюбна рослина, яка добре відновлюється на лісосіках і згарищах, як основний лісоутворювач широко використовується в лісокультурній практиці у всіх кліматичних зонах.

Для проведення досліджень обрано 4 ділянки з переважанням насаджень *P. sylvestris*, які знаходились на однаковій відстані від автомобільної дороги (20м).

Ділянка 1 – парк «Партизанська слава», який знаходиться поруч із автомобільною дорогою, що проходить вздовж вул. Славгородська з інтенсивним автомобільним рухом.

Ділянка 2 – лісовий масив (1) (мікрорайон Бортничі), знаходиться поблизу вул. Промислова та автотраси Т 1016, яка у ранкові та вечірні години є досить завантаженою через рух великої кількості вантажівок.

Ділянка 3 – лісовий масив (2) (мікрорайон Бортничі). Місце відбору проб розташовується в зоні відпочинку біля вул. Лісової з низьким автотранспортним потоком та вул. Світлої з інтенсивним рухом автотранспорту у ранковий та вечірній періоди доби.

Ділянка 4 – лісовий масив (3) Бориспільського шосе. Магістральна вулиця загальномісцевого значення з посиленням рухом автомобільного транспорту на в'їзд та виїзд з м. Києва. У безпосередній близькості до місця відбору проб розташовуються АЗС «ОККО», «Бром-Нафта» та «Укравто».

Відібрану хвою досліджували шляхом візуальних спостережень за ступенем наявності некрозів (ділянки хвої з відмерлими ділянками мезофілу) та хлорозів (пожовтіння, викликане порушеннями утворення хлорофілу в клітинах фотосинтезуючої тканини). Визначені характеристики надають повне

уявлення про стан рослинних організмів на досліджуваних ділянках (табл. 5).

Відповідно до результатів дослідження найпоказовішою є «реакція-відповідь» *P. sylvestris* на забруднення атмосферного повітря діоксидом сульфуру у вигляді хлорозів деревних насаджень на ділянці швидкісної траси з інтенсивним рухом автотранспорту в районі Бориспільського шосе. При відсутності інтенсивного автомобільного руху та впливу підприємств (парк «Партизанська слава») хлорози хвої майже не спостерігаються. Зазначимо, що некротичні пошкодження рослинних організмів були відзначені на всіх, без виключення, дослідних ділянках, що свідчить про високий ступінь антропогенного тиску на комплекс екологічних факторів, які впливають на стабільність розвитку рослинних угруповань.

Висновки. Встановлено, що некротичні ушкодження та хлорози хвої *P. sylvestris* є цінним біологічним індикатором, а запропонований метод дендроіндикаційних досліджень, хоча і не дає вимірних показників забруднення атмосферного повітря діоксидом сульфуру, але дозволяє визначити вплив забруднюючих речовин, які входять до складу відпрацьованих газів автомобілів та утворюються в результаті діяльності підприємств району. Тому, розробка нормативів, процедур контролю, технологій для підтримання технічного стану автомобілів на рівні, який гарантує викид шкідливих речовин, не вищий за нормативний, а також впровадження екологічних стандартів й перехід підприємств до збалансованого еколого-економічного розвитку є основою для зменшення негативного впливу на стан атмосферного повітря.

Література

1. Проект «Порядок здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря». Київ, 2018. URL: <https://menr.gov.ua/files/docs/Proekt/28012019/Proekt.pdf> (дата звернення: 03.08.2019).
2. Скакальський О. Екологічний моніторинг у системі природоохоронної діяльності регіональної влади. *Державне управління та місцеве самоврядування*. 2015. Вип. 4. С. 152–162.
3. Про Концепцію (основи державної політики) національної безпеки України: Постанова Верховної Ради України від 16 січня 1997 р. № 3/97-ВР. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/3/97-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 30.07.2019).
4. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року: Закон України від 21 грудня 2010 р. № 2818-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17> (дата звернення: 27.07.2019).
5. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Закон України від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2818-17> (дата звернення: 27.07.2019).
6. Запольський А.К. Моніторинг довкілля : підручник. Кам'янець-Подільський : ПП «Медобори», 2006. Том 1. 408 с.
7. Снытко В.А., Собисевич А.В. Система экологического мониторинга в научном наследии академиком И.П. Герасимова, Ю.А. Израэля. *Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование*: труды V международной научно-практической конференции. М., 2017. С. 393–398
8. Мелехова О.П., Сарапульцева Е.И. Биологический контроль окружающей среды. Биоиндикация и биотестирование. М., 2008. 288 с.
9. Егорова Е.И., Белолипецкая В.И. Биотестирование и биоиндикация окружающей среды: учеб. пособие по курсу «Биотестирование». Обнинск, 2000. 78 с.
10. Тарасенко И.Н. К вопросу о биотестировании. *Экология и охрана окружающей среды*. 1999. №5. С. 56–59.
11. Ашихмина Т.Я. Экологический мониторинг. М., 2005. 416 с.
12. Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л., 1979. 232 с.
13. Шиятов С.Г. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск, 2000. 80 с.
14. Левкович В.О., Муж Г.В. Біоіндикація забруднення атмосферного повітря за станом *Pinus sylvestris* L. С. 40–42. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/26937/1/Levkovich.pdf> (дата звернення: 25.07.2019).
15. Ахмерова Д.Н., Шахиринова Н.В. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха по состоянию хвои сосны обыкновенной на территории города Бирск. *Достижения науки и образования*. 2018. С. 7–9.
16. Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського. URL: <http://cgo-sreznevskiy.kiev.ua/> (дата звернення 15.07.2019).
17. Екологічний паспорт Дарницького району м. Києва станом на 31 серпня 2018 року (Аналіз екологічного стану Дарницького району міста Києва). URL: https://darn.kyivcity.gov.ua/files/2018/9/13/Pasport_ekologichniy_2018.pdf (дата звернення 10.07.2019).
18. Jager E.J. Indikation von Luftverunreinigungen durch morphometrische Uulcrsucllungen an Hoheren Pflanzen. In: R. Schubert, J. Schuh (Hrsg.). Bioindikation, Teil 3, Kongress und Tagungsberichte der Martin-Luther-Universitat Halle-Wittenberg, Wiss. Beitrage. 1980. P. 43–52.