Biotesting and phytoindication of aquatic environment quality of urbanized territories

A. A. Alexeyeva, O. M. Marenkov, V. O. Kurchenko, I. V. Holub, O. O. Petrovsky

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 18.11.2019

Received in revised form
22.11.2019

Accepted 27.11.2019

*Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.
Tel.: +38-050-227-08-26
E-mail:
ann.alekseeva21@gmail.com*

Alexeyeva, A. A., Marenkov, O. M., Kurchenko, V. O., Holub, I. V., Petrovsky O. O. (2019). Biotesting and phytoindication of aquatic environment quality of urbanized territories. *Ecology and Noospherology*, 30(2), 101–105. doi:10.15421/031917

Currently, there is a necessity for regular quality control over natural water bodies within the territory of industrial cities. The aquatic environment quality monitoring and the toxicity assessment of the water pollutants, in addition to the hydrochemical analysis data, require integral, biological indicators. In recent times, methods of direct aquatic toxicity assessment, namely biotesting water quality using sensitive hydrobionts and phytoindication with macrophytes, have become increasingly important. In this regard, we have conducted a comparative quality assessment of the water from three different areas of the Saksagan river, influenced by the Ternovska mine in Kryvyi Rih using various test objects. Hydrobiological samples were collected in September 2019 above wastewater outfall (residual rainfall and snowmelt runoff), at wastewater outfall (residual rainfall and snowmelt runoff) and below wastewater outfall (residual rainfall and snowmelt runoff). In water the basic hydrochemical indicators have been defined: hydrogen index (pH), dissolved gases, biogenic elements, hardness, temperature, electrical conductivity, total mineralization (salinity). The quality of the aquatic environment was assessed by biotesting with daphnid *Daphnia magna* Straus and phytoindication by modified Mayer's index. The analysis of the hydrochemical regime has been carried out according to generally accepted methods. Biotesting of water samples was carried out according to CTDC 211.1.4.054-97. In the experiments daphnid *Daphnia magna* Straus were used as test organisms. For testing the samples toxicity *Daphnia* youth under the age of 24 hours has been used. The toxicity criterion was the mortality of test organisms in relation to control. The number of dead animals was calculated after 96 hours, then the mortality (or survival) of objects in the samples was calculated. The survey of vegetation has been carried out visually. A rake and a d-shaped net have been used to study the submerged species. The detected algae have been systematized into 3 groups according to the modified Mayer's index. The average index for the entire monitoring area has reached 15 points, which corresponds to the third quality class (moderately polluted river, β -mesosaprobic zone). It has been revealed that the hydrochemical composition of the water of the Saksagan river is characterized by a sufficiently high mineralization (2.6–3.5 g / l), which is caused by the complex influence of several factors: physiographic conditions, river control (the influence of Makartivske, Krasovske, Saksaganske reservoirs). A naturally simplified structure of the species composition of macrophytes has been noted, which is typical for reservoirs under anthropogenic load. Endangered and listed in the Red book of Ukraine plant species in the study area were absent. The comparison of the results of bioindication methods with hydrochemical analysis has shown that phytoindication by the modified Mayer's index was more sensitive method with respect to biotesting on daphnid *Daphnia magna*. However, we consider it impossible to compare these test objects, since each object may have a specific reaction to individual toxicants (*Daphnia* – to insecticides, macrophytes – to herbicides). Thus, in the future, it is recommended to use a set of methods for rapid assessment of the water quality in urban areas.

Keywords: biotesting; phytoindication; water environment; anthropogenic pollution

Біотестування та фітоіндикація якості водного середовища урбанізованих територій

A. A. Алексеева, О. М. Маренков, В. О. Курченко, І. В. Голуб, О. О. Петровський

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Проведено порівняльну оцінку якості води з трьох різних ділянок р. Саксагань, які знаходяться під впливом шахти «Тернівська» у м. Кривий Ріг з використанням різних тест-об'єктів. У воді визначено основні гідрохімічні показники: водневий показник (pH), розчинені гази, біогенні елементи, жорсткість, температура, електропровідність, загальна мінералізація (солоність). Проведено оцінку якості водного середовища шляхом біотестування на гіллястовусих ракоподібних *Daphnia magna* Straus та фітоіндикації за модифікованим індексом Майєра.

Ключові слова: біотестування; фітоіндикація; водне середовище; антропогенне забруднення

Вступ

Водойми і водотоки мають важливе значення для функціонування урбоєкосистеми як структурно-планувальні фактори міської забудови, чинники пом'якшення мікроклімату та очищення повітря, ланки процесів водопостачання та водовідведення, осередки існування біорізноманіття, складові естетичної цінності урболандшафту та місця відпочинку міського населення (Klepets, Pylypenko, 2018; Barynova et al., 2006).

Водночас місто здебільшого негативно впливає на якість води, водних мешканців та всю екосистему водойми за рахунок механічного засмічення акваторій, теплового й хімічного забруднення вод, порушення природних умов формування стоку, недотримання водоохоронних зон, посилення рекреаційного тиску на гідроекосистему та прилеглі до неї ділянки (Savintseva, 2015). Особливого антропогенного тиску зазнають водні екосистеми малих річок, що знаходяться в гірничопромислових регіонах. Річка Саксагань є прикладом водотоку, розташованого в центрі промислової агломерації Кривого Рогу, із сильнозміненим природним режимом через скидання зворотних вод (у т.ч. промислових стоків), забір води на технічні потреби для промислового водопостачання і рибогосподарського використання, а також зарегулювання річкового русла для промислових потреб.

Наразі існує необхідність регулярного контролю якості природних вод на території індустріальних міст. Для моніторингу якості водного середовища та оцінки токсичності забруднюючих речовин у водоймах, окрім даних гідрохімічного аналізу, необхідні інтегральні, біологічні показники (Osypchuk, Kipnis, 2003). Останнім часом все більшого значення набувають методи прямої оцінки токсичності водного середовища, а саме біотестування якості води за допомогою чутливих гідробіонтів та фітоіндикація за макрофітами (Oleksiv, Brahinskyi, 1995).

Метою нашої роботи є проведення порівняльної оцінки якості води з різних ділянок р. Саксагань поблизу шахти «Тернівська» у м. Кривий Ріг за допомогою різних тест-об'єктів.

Об'єкти та методи досліджень

Дослідження проводили на 3 дослідних ділянках (ДД) р. Саксагань, а саме: вище випуску зворотних (дошових і талих) вод (48°04'00.2"N 33°31'15.6"E – ДД № 1), у місці випуску зворотних (дошових і талих) вод (48°03'55.0"N 33°31'29.9"E – ДД № 2) та нижче випуску зворотних (дошових і талих) вод шахти «Тернівська» (48°03'56.6"N 33°31'12.6"E – ДД № 3) (рис. 1).

Аналіз гідрохімічного режиму проводили згідно із загальноприйнятими методиками (Metody hidroekologichnykh ..., 2006). Гідробіологічні проби відбирали у вересні 2019 року. У воді визначали водневий показник (pH), розчинені гази, біогенні елементи, жорсткість, температуру, електропровідність, загальну мінералізацію (солоність). Показники хімічного складу води порівнювали з нормативними критеріями якості води за гігієнічними та екологічними критеріями (ДСТУ 4808:2007). Визначення показників здійснювали з використанням гідрохімічного приладу EZODO AZ-86031 (Оксиметр/pH-метр/кондуктометр/солемір) та набору експрес-тестів для швидкого визначення якості води TESTLAB (JBL, Німеччина).

Біотестування проб води здійснювали згідно із КНД 211.1.4.054–97. У досліді як тест-організми використовували гіллястовусих ракоподібних *Daphnia magna* Straus. Для перевірки токсичності проб використовували молодь дафній віком до 24 годин. Критерієм токсичності служила смертність тест-організмів відносно контролю. Обрахунок кількості загиблених тварин проводили через 96 годин, потім обчислювали смертність (або виживання) об'єктів у пробах (Lesnykov, 1971).

Огляд рослинності здійснювався візуально. Для дослідження занурених видів було використано граблі та D-подібний сачок, якими зручно відбирати проби на малих глибинах. Дані спостережень заносили у польовий щоденник, який розпочинався описом водойми. Далі було наведено перелік видів макрофітів, що трапилися на кожній ділянці, та загальний опис макрофітної рослинності. Серед багатьох методів дослідження водної рослинності було обрано модифікований індекс Майєра (Maltsev et al., 2011).

Результати та їх обговорення

Для ефективного проведення моніторингу якості вод важливим є підбір обмеженої кількості тест-організмів, які б водночас давали високу ефективність дослідження (Kotsiuba, 2014). Основу біотестування становить визначення шкідливого впливу токсичних речовин на гідробіонтів. Відносна простота реалізації багатьох біотестів, їх експресність, висока чутливість і, найголовніше, можливість одержувати з їх допомогою інформацію, яку не можуть дати традиційні методи хімічного аналізу, роблять біотестування незамінним елементом контролю та запобігання забруднення (Likho et al., 2009).

Гідрохімічний аналіз. З метою експрес-оцінки якості води, як середовища існування гідробіонтів, проведено польову оцінку гідрохімічних показників. Подібний підхід дозволяє миттєво визначити якість води під час відбору проб гідробіонтів та швидко визначити стан навколишнього природного середовища (Klymenko et al., 2004).

При дослідженні води визначали такі показники: вміст амонію (NH_4^+), нітритів (NO_2^-), нітратів (NO_3^-), заліза (Fe^{2+}), фосфатів (PO_4^{3-}). Результати експрес-оцінки наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати експрес-оцінки якості води р. Саксагань поблизу шахти «Тернівська»

Показник	ДД № 1	ДД № 2	ДД № 3
NH_4^+ , мг/дм ³	0,10	0,10	0,10
NO_2^- , мг/дм ³	0,025	0,05	<0,01
NO_3^- , мг/дм ³	<0,5	<0,5	<0,5
Fe^{2+} , мг/дм ³	0,5	<0,2	<0,2
PO_4^{3-} , мг/дм ³	<0,02	<0,1	<0,02

За результатами дослідження вода на всіх досліджених точках відбору проб відповідала фізико-хімічним показникам ДСТУ 4808: 2007.

Результати гідрохімічного аналізу дозволили відзначити, що вміст азоту амонійного (NH_4^+) на всіх дослідних точках становить 0,10 мг N/дм³, що не перевищує вимоги до якості води і характеризує її в межах 2-го класу якості. Уміст нітритів на всіх дослідних точках

Рис. 1. Карта-схема розташування дослідних ділянок поблизу шахти «Тернівська» у м. Кривий Ріг

не перевищував гранично допустимі концентрації та відповідає 3-му класу якості води. Уміст нітратів (NO_3^-) на всіх дослідних точках також не перевищував гранично допустимі концентрації – $<0,5 \text{ мг/дм}^3$, що відповідає 3-му класу якості води. Щодо вмісту фосфатів, то їх уміст тримався на рівні $<0,02 \text{ мг/дм}^3$ – $<0,1 \text{ мг/дм}^3$, що повністю відповідає нормам ДСТУ 4808:2007.

Середні показники температури води на точках відбору були на рівні $+14$ – 15°C . Водневий показник рН коливався в допустимих межах від 6,8 до 7,7.

Величина мінералізації води р. Саксагань змінювалася від $2604,0 \text{ мг/дм}^3$ на дослідній ділянці вище випуску зворотних (дощових і талих) вод до $3503,0 \text{ мг/дм}^3$ – нижче випуску зворотних (дощових і талих) вод.

Найменший показник електропровідності води зафіксовано на дослідній ділянці вище випуску зворотних (дощових і талих) вод, що становив $552 \text{ }\mu\text{S}$, а найбільший – нижче випуску зворотних (дощових і талих) вод – $593 \text{ }\mu\text{S}$ (табл. 2).

Таблиця 2

Гідрохімічні показники води р. Саксагань поблизу шахти «Тернівська»

Моніторингова точка	рН	$t^\circ\text{C}$	Уміст кисню, мг/дм^3	Уміст кисню, %	Мінералізація, мг/дм^3	Електропровідність, μS
ДД № 1	6,8	14	8,8	92,3	2604,0	552,0
ДД № 2	7,7	15	5,5	63,4	2970,0	556,0
ДД № 3	7,5	14	6,8	74,8	3503,0	593,0

Найбільший уміст кисню (92,3 %) у воді відмічено на дослідній ділянці вище випуску зворотних (дощових і талих) вод, а найменший (63,4 %) показник був у місцях випуску (дощових і талих) вод. Зазначимо, що за середніми рівнями вмісту розчиненого кисню досліджувана вода відноситься до 3-го класу якості. Тобто дефіцит кисню є локальним і не поширюється на всю водойму. Уже на наступних точках спостерігали підвищення цього показника, що свідчить про

наявність резервних можливостей водної екосистеми для швидкого самовідновлення.

Гострий тест на гіллястовусих ракоподібних *Daphnia magna* Straus. Біотестування дає можливість комплексного оцінювання забруднення: сумарної дії кількох шкідливих речовин, визначення впливу невідомих речовин та коригування величини ГДК для вже відомих. Крім того, цей метод дає змогу виявити та оцінити вплив забруднювальних речовин навіть після припинення їх надходження в екосистему (Kotsiuba, 2014).

При проведенні біотестування на гостру токсичну дію води виявлено, що в контрольних пробах усі дафнії були живі, при цьому в жодній дослідній пробі не спостерігали гострої токсичної дії, показник смертності не перевищував 20 % (рис. 2).

Рис. 2. Результати біотестування на гостру токсичну дію води р. Саксагань поблизу шахти «Тернівська»

У воді на дослідній ділянці в місці випуску (дощових і талих) вод взагалі всі тест-об'єкти були живими, тобто середній відсоток смертності становив 0 %. На дослідних ділянках у точках відбору вище та нижче випуску зворотних (дощових і талих) вод відсоток загинувших дафній склав 6,7 %, що не перевищує нормативні значення.

Отже, за результатами біотестування не виявлено гострої токсичної дії води на дослідних ділянках поблизу шахти «Тернівська».

Фітоіндикація за модифікованим індексом Майєра.

У системі сучасних підходів зручним інструментом для оцінки антропогенних змін урбогідроекосистем можуть слугувати макрофіти – вищі водні рослини та макроскопічні водорості, що є чутливими індикаторами стану водних екосистем, оскільки виконують у них цілий ряд важливих функцій та, реагуючи із запізненням, індикують не випадкові, а стійкі зміни середовища. Основними маркерами забруднення водойм є зміни видового складу та продуктивності фітоценозів, зміна едифікаторів та характеру заростання. Індикаторами екологічного стану водойми можуть бути також рясність та проективне покриття видів, особливості просторового розподілу водної рослинності та деякі інші показники (Klepets, Pylypenko, 2018; Maltsev et al., 2011).

На досліджених мілководдях русла р. Саксагань та на її топких, мулистих берегах поблизу шахти «Тернівська» утворився комплекс асоціацій повітряно-водяної рослинності з участю болотних та бур'янистих видів. На дослідній

ділянці вище випуску зворотних (дошових і талих) вод зафіксовано 20 видів макрофітів, на дослідній ділянці в місці випуску зворотних (дошових і талих) вод – 19 видів, на дослідній ділянці нижче випуску зворотних (дошових і талих) вод – 17 видів (табл. 3). Види частуха подорожникова (*Alisma plantago-aquatica* L.), сусак звичайний (*Butomus umbellatus* L.), кушир занурений (*Ceratophyllum demersum* L.), ряска триборозенчаста (*Lemna trisulca* L.), водопериця колосиста (*Myriophyllum spicatum* L.), омег водяний (*Nuphar luteum* (L.) Smith), очерет звичайний (*Phragmites australis* (Cav.) Trin Ex Steud), рогіз вузьколистий (*Typha angustifolia* L.), рогіз широколистий (*Typha latifolia* L.) траплялися на всіх дослідних ділянках. Локальні асоціації валіснерії спіральної (*Vallisneria spiralis* L.), омеги водяного (*Oenanthe aquatic* (L.) та їжачої голівки прямої (*Sparganium erectum* L.) відмічено на дослідній ділянці вище випусків зворотних (дошових і талих) вод. Поодинокі екземпляри глечиків жовтих (*Nuphar luteum* (L.) Smith) знайдено у місці випуску зворотних (дошових і талих) вод. Видів, які занесені до Червоної книги України та Червоного списку Дніпропетровської області, на дослідних ділянках не спостерігали.

Таблиця 3

Видовий склад і зустрічальність макрофітів (водяних рослин) на дослідних ділянках р. Саксагань, вересень 2019 р.

№ п/п	Види макрофітів	Шахта «Тернівська»		
		ДД № 1	ДД № 2	ДД № 3
1	<i>Acorus calamus</i> L.		+	
2	<i>Alisma plantago-aquatica</i> L.	+	+	+
3	<i>Butomus umbellatus</i> L.	+		
4	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	+	+	+
5	<i>Glyceria maxima</i> (C. Harim). Holmb.	+	+	
6	<i>Lemna trisulca</i> L.	+	+	+
7	<i>Lemna minor</i> L.			+
8	<i>Myriophyllum spicatum</i> L.		+	+
9	<i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	+	+	+
10	<i>Nuphar luteum</i> (L.) Smith	+	+	
11	<i>Oenanthe aquatic</i> (L.)	+		
12	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Trin Ex Steud	+	+	+
13	<i>Polygonum amphibium</i> L.		+	+
14	<i>Potamogeton crispus</i> L.	+	+	+
15	<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	+	+	
16	<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	+		+
17	<i>Potamogeton natans</i> L.	+	+	+
18	<i>Shoenoplectus lacustris</i> L.		+	
19	<i>Sium latifolium</i> L.	+	+	+
20	<i>Sparganium erectum</i> L.	+		
21	<i>Stratiotes aloides</i> L.	+	+	+
22	<i>Typha angustifolia</i> L.	+	+	+
23	<i>Typha latifolia</i> L.	+	+	+
24	<i>Typha laxmannii</i> Lepech			+
25	<i>Vallisneria spiralis</i> L.	+		
26	Макроводорості, нитчасті	+	+	+
	Всього видів	20	19	17

Флора прибережних території і акваторії дослідних ділянок налічує понад 120 видів рослин. У порівнянні з подібними річками степової зони України флористичне різноманіття р. Саксагань невелике. Збіднення біологічного різноманіття можна пояснити антропогенним впливом на територію, оскільки річка протікає через великий промисловий центр.

Серед виявленої різноманітності не всі види макрофітів є індикаторами забруднення водойми. Виявлені водні рослини було систематизовано в 3 групи згідно з модифікованим індексом Майєра. Всі дані наведено в табл. 4.

Для кожної дослідної ділянки визначено індекс Майєра за формулою $S=A \times 5 + B \times 2 + C \times 1$, де А, В, С – кількість індикаторних груп із відповідних стовпчиків (групи організмів-індикаторів, що трапилися у водоймі). Згідно із розрахунками модифікований індекс Майєра для дослідної ділянки вище випуску зворотних (дошових і талих) вод становив 16, для дослідної ділянки у місці випуску зворотних (дошових і талих) вод – 12, для дослідної ділянки нижче випуску зворотних (дошових і талих) вод – 16.

Величина індексу свідчить про рівень чистоти водойми чи її забрудненості (Maltsev et al., 2011). Якщо отриманий

Таблиця 4
Виявлені групи макрофітів за модифікованим індексом Майєра

Дослідна ділянка	Макрофіти чистих водойм, А	Макрофіти водойм помірного забруднення, В	Макрофіти забруднених водойм, С
1	–	<i>Lemna trisulca</i> L., <i>Potamogeton crispus</i> L., <i>Potamogeton perfoliatus</i> L., <i>Potamogeton natans</i> L., <i>Myriophyllum verticillatum</i> L., <i>Nuphar luteum</i> (L.) Smith,	<i>Ceratophyllum demersum</i> L., <i>Stratiotes aloides</i> L., <i>Potamogeton pectinatus</i> L., нитчасті водорості
2	–	<i>Lemna trisulca</i> L., <i>Nuphar luteum</i> (L.) Smith, <i>Potamogeton crispus</i> L., <i>Myriophyllum verticillatum</i> L., <i>Lemna trisulca</i> L., <i>Myriophyllum verticillatum</i> L.	<i>Myriophyllum spicatum</i> L., <i>Ceratophyllum demersum</i> L., <i>Stratiotes aloides</i> L., нитчасті водорості <i>Lemna minor</i> L., <i>Potamogeton pectinatus</i> L., <i>Myriophyllum spicatum</i> L., <i>Ceratophyllum demersum</i> L., <i>Stratiotes aloides</i> L., нитчасті водорості
3	–	<i>Potamogeton crispus</i> L., <i>Potamogeton perfoliatus</i> L., <i>Potamogeton natans</i> L.	

показник більше 25 балів – вода першого та другого класів якості (водойма особливо чиста, чиста олігосапробна зона), від 25 до 15 балів – вода третього класу якості (водойма помірно забруднена, β-мезосапробна зона), менше 15 балів – четвертий або п'ятий клас якості (водойма брудна, α-мезосапробна або полісапробна). Середній показник індексу для всієї моніторингової ділянки склав 15 балів, що відповідає третьому класу якості (річка помірно забруднена, β-мезосапробна зона).

Висновки

За результатами моніторингових гідроекологічних досліджень, проведених на акваторії р. Саксагань у межах планової діяльності шахти «Тернівська», можна зробити такі узагальнення:

1. За гідрохімічним складом вода р. Саксагань характеризується досить високою мінералізацією (2,6–3,5 г/л), що викликано комплексним впливом декількох чинників: фізико-географічні умови, регулювання стоку (вплив Макарівського, Кресівського, Саксаганського водосховищ).

2. Видовий склад макрофітів має закономірно спрощену структуру, що характерно для водойм, які знаходяться під антропогенним навантаженням. Відсутні зникаючі та занесені до Червоної книги України види рослин.

3. При порівнянні результатів біоіндикаційних методів з гідрохімічним аналізом виявлено, що фітоіндикація за модифікованим індексом Майєра є більш чутливим методом за біотестування на гіллястоусих ракоподібних *Daphnia magna*. Проте порівняння всіх застосованих тест-об'єктів вважаємо неможливим, оскільки кожен об'єкт може мати специфічну реакцію на окремі токсиканти (дафнії – на інсектициди, макрофіти – на гербіциди). Таким чином, у подальшому для експрес-оцінки якості водного середовища урбанізованих територій рекомендується застосовувати комплекс методів.

References

Barynova, S. S., Medvedeva, L. A., Anysymova, O. V. (2006). Byoraznoobraznye vodoroslei-yndykatorov okruzhaiushchei sredi [Environmental algae biodiversity]. Tel-Aviv (in Ukrainian).
Klepets, O. V., Pylypenko, M. O. (2018). Fitoindykatsiia ekolohichnoho stanu maloi parkovoi vodoimy

[Phytoindication of the ecological state of small park waterbody]. Biologhiia ta ekolohiia, 4 (1), 73–85 (in Ukrainian).
Klymenko, M. O., Trusheva, S. S., Hrokhovska, Yu. (2004). Vidnovna hidroekolohiia porushenykh richkovykh ta ozernykh system (hidrokhimiia, hidrobiolohiia, hidrolohiia, upravlinnia) [Restorative hydroecology of disturbed river and lake systems (hydrochemistry, hydrobiology, hydrology, management)]. Rivne (in Ukrainian).
Kotsiuba, A. S. (2014). Biotestuvannia yakosti pytnykh vod urbanizovanykh terytorii [biotesting of drinking water quality in urban areas]. Ahroekolohichniy zhurnal, 3, 103–105 (in Ukrainian).
Lesnykov, L. A., 1971. Metodyka otsenky vliyaniya vodi yz pryrodnikh vodoemov na Daphnia magna Straus [Method of estimation of the influence of water from natural reservoirs on Daphnia magna Straus]. Metodyky byolohycheskykh yssledovanyi po vodnoi toksykolohyy. Moscow, Nauka. 74–92 (in Russian).
Likho, O., Hrokhovska, Yu., Veremiiychuk, I. (2009). Otsinka yakosti vody r. Turii za indeksom fitoindykatsii [Turia Water Quality Assessment by Phytoindication Index]. Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya heohrafichna, 37, 158–163 (in Ukrainian).
Maltsev, V. I., Karpova, H. O., Zub, L. M. (2011). Vyznachennia yakosti vody metodamy bioindykatsii: naukovo-metodychnyi posibnyk [Determination of water quality by bioindication methods: a scientific and methodological guide]. Kyiv (in Ukrainian).
Metody hidroekolohichnykh doslidzhen poverkhnevyykh vod (2006) [Methods of hydro-ecological studies of surface waters]. Kyiv (in Ukrainian).
Oleksiv, I. T., Brahinskyi, L. P. (1995). Hidroekolohichna toksykometriia ta bioindykatsiia zabrudnen [Hydroecological toxicometry and bioindication of pollution]. Lviv (in Ukrainian).
Osypchuk, A. V., Kipnis, L. S. (2003). Biotestuvannia ozer m. Kyieva yak sposib vyznachennia toksychnosti pryrodnikh poverkhnevyykh vod [Biotesting of Kyiv lakes as a technique of toxicity detecting of natural surface water]. Naukovi zapysky NaUKMA: Biologhiia ta ekolohiia, 21, 69–72 (in Ukrainian).
Savintseva, L. S. (2015). Ekologicheskii analiz adaptivnykh mekhanizmov rasteniy v urbanizirovannoy srede [The ecological analysis of plants adaptive mechanisms of in the urbanized environment]. Petrozavodsk (in Russian).