

ОЦІНКА АЛЬГОІНДИКАЦІЙНИМ МЕТОДОМ ВПЛИВУ БІОГЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ В РІЧЦІ ВОРСКЛА

Степова О.В., Тягній Л.М.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Пр. Віталія Грицаєнка, 24, 36011, м. Полтава

nning.stepovaov@nupp.edu.ua, tjagnij94@gmail.com

Постановка проблеми. Останнім часом в різних технологічних процесах вода від заводів, й виробничих підприємств, забруднюється різними органічними, неорганічними речовинами, і таким чином утворюються стічні води. Надходження у водойми величезної кількості забруднюючих речовин призводить до деградації як окремих компонентів екосистеми, так і цілих груп водойм [1- 4, 11].

Актуальність дослідження. Більшість міських очисних споруд біологічного очищення стічних вод в Україні працюють вкрай неефективно, внаслідок чого є причиною забруднення природних водойм, процесів розвитку біоценозу, пригніченням розвитку водних організмів. Найбільш ефективним способом очистки стічних вод є біологічна очистка в біоплато з використанням макрофітів, гідрофітів, гігрофітів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Для аналізу негативних змін в водних об'єктах від впливу біогенних речовин пропонується дослідження з використанням методу альгоіндикації [1, 2, 11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасна та наукова література з альгології складає різні системи класифікацій рослин. Існує ряд питань у фахівців з вибору потрібної водорості та є предметом дискусій ботаніків, генетиків, гідробіологів, мікробіологів. В дидактичних матеріалах послідовно описано термінологічний словник з ілюстраціями, схеми життєвих циклів ключових представників водоростей, а також представлена порівняльна характеристика найбільш актуальних систематик [1- 8].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. В даний час в Україні немає єдиної узагальненої системи про визначенню конкретних видів водоростей в альгології для проведення оцінки впливу біогенних елементів на водний об'єкт. В результаті наукові літературні джерела [1- 4], такі як довідники та монографії, підручники в яких на високому науковому та методологічному рівні дана характеристика конкретних видів, що використовуються в дослідженнях з оцінки альгоіндикаційним методом.

Новизна. Вперше досліджено акумуляційну здатність вищих водних рослин річки Ворскли в межах м. Полтави та проведена порівняльна характеристика рогузу вузьколистого, очерету звичайного, сусаку зонтичного, рдесту пронизливого за здатністю поглинати із поверхневих вод та акумулювати N, P, K та інших елементів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Дослідження проводились за методом альгоіндикації, який засновано на дослідженні впливу біогенних елементів на різні зміни в характеристиці річки Ворскли в межах м. Полтави [5 – 10].
Ключові слова: альгоіндикація, стічні води, вища водна рослинність, акумуляція.

Assessment of the impact of biogenic elements in the Vorskla River using the algoindication method. Stepova O., Tiahnii L.

Problem statement. Recently, in various technological processes, water from factories and production enterprises has been contaminated with various organic and inorganic substances, and thus wastewater is formed. The influx of a huge amount of pollutants into water bodies leads to the degradation of both individual components of the ecosystem and entire groups of water bodies [1-4, 11].

Relevance of the study. Most urban biological wastewater treatment plants in Ukraine operate extremely inefficiently, resulting in pollution of natural water bodies, biocenosis development processes, and inhibition of the development of aquatic organisms. The most effective method of wastewater treatment is biological treatment in a bioplateau using macrophytes, hydrophytes, and hygrophytes.

The connection of the author's work with important scientific and practical tasks. To analyze negative changes in water bodies from the impact of biogenic substances, a study using the algoindication method is proposed [1, 2, 11].

Analysis of recent research and publications. Modern and scientific literature on algology consists of various plant classification systems. There are a number of questions among specialists on choosing the right algae and are the subject of discussions among botanists, geneticists, hydrobiologists, and microbiologists. The didactic materials consistently describe a terminology dictionary with illustrations, life cycle diagrams of key representatives of algae, and also present a comparative characteristic of the most relevant taxonomies [1- 8].

Highlighting previously unresolved parts of the general problem, to which the specified article is devoted. Currently, Ukraine does not have a single generalized system for determining specific types of algae in algology for assessing the impact of biogenic elements on a water body. As a result, scientific literary sources [1- 4], such as reference books and monographs, textbooks in which at a high scientific and methodological level the characteristics of specific species used in studies on the assessment of the algoindication method are given.

Novelty. For the first time, the accumulation ability of higher aquatic plants of the Vorskla River within the city of Poltava was investigated and a comparative characteristic of narrow-leaved cattail, common reed, umbrella sedge, and sharp-edged sedge was carried out in terms of their ability to absorb from surface waters and accumulate N, P, K and other elements.

Methodological or general scientific significance. The studies were conducted using the algoindication method, which is based on the study of the influence of biogenic elements on various changes in the characteristics of the Vorskla River within the city of Poltava [5 – 10]. *Key words:* algoindication, wastewater, higher aquatic vegetation, accumulation.

Викладення основного матеріалу. У річці Ворскла кожен компонент гідробіоценозу виконує певну функцію очищення води [8, 9]. Водорість – це філогенетически гетерогенна група фотоафототрофних слоєвищних безсосудистих організмів.

Ці рослини проростають зі субстрату та є основою для утворення складних гідробіоценозів, очисна здатність яких перевищує багатьох гідробіонтів, взятих окремо. Функція вищої водної рослинності у водотоках різноманітна та численна: вони поглинають та акумулюють біогенні елементи та органічні сполуки, є хорошими фільтраторами, можуть виступати також, як детоксикатори пестицидів та інших токсичних забруднювачів, які потрапляють у водойми та водотоки зі стічними водами [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

Водорості представлені у співвідношенні систем в таких посібниках, як «Водорості» Довідкова С.П. Васев.[1], в книзі «Ботаніка. Водорості та гриби» Костікова І. Ю. [2], а також «Outline of ascomycota.» Н. Т. Lumbsch, S. M. Nuhndorf [3].

Велика роль вищих водних рослин у процесах поглинання та накопиченні мінеральних елементів, що надходять у водотоки зі стоком з очисних станцій та природним шляхом та інших площ водозбору. Цим рослинам властива вибіркова здатність у поглинанні N, P, K та інших елементів. Найбільша інтенсивність поглинання макрофітами мінеральних речовин спостерігається в період розвитку та посиленого зростання. Найбільш активно поглинаються та використовуються рослинами N, P, K, Fe, Cl та Mn.

N і P акумулюються майже всіма рослинами в однаковій кількості (табл. 1). Інші біогени поглинаються і акумулюються в різних кількостях [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Таблиця 1

**Накопичення деяких біогенних елементів
вищими водними рослинами,
% на суху речовину**

Об'єкт дослідження	Елементи	
	N	P
Рогоз вузьколистий	2,52	0,41
Очерет звичайний	2,34	0,39
Сусак зонтичний	2,66	0,40
Рдест пронизливолистий	2,02	0,53

Наприклад, очерет звичайний, при врожаї 44 т/га по сухій речовині може вилучити з води N – 667 кг/га, P – 276 кг/га, K – 419 кг/га, Cl – 408 кг/га та Ca – 198 кг/га. Рогоз вузьколистий вилучає менше N, P та Cl, але Ca і особливо натрію він вилучає в 2-3 рази більше, ніж очерет [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Найбільша інтенсивність поглинання та акумуляція біогенів спостерігається на початку вегетації та

наприкінці літа, зазвичай у серпні. До кінця вегетації кількість біогенних елементів у надземній частині рослин різко знижується. Міжвидова відмінність за вмістом біогенних речовин протягом вегетаційного сезону пояснюється видовою специфікою обміну речовин та особливостями фенологічного розвитку рослин [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Відзначено вибіркову здатність вищих водних рослин до вилучення окремих хімічних елементів та їх сполук, що використовується останнім часом для створення біологічних ставків з вищою водною рослинністю. Крім того, стебла макрофітів, що знаходяться у воді, схильні до біообрастань, що складаються з мікроорганізмів-мінералізаторів, що також робить значний внесок у процеси самоочищення водойми [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12].

При обстеженні річки Ворскли з 2023 – 2025 р.р. знайдені макрофіти, що розподіляються на три основні групи [15, 16, 17]:

– занурені – гідрофіти (рдесники, рис. 1), мають довге тонке стебло та прозоре листя. До 70% обсягу біомаси цих рослин становлять повітряносповні порожнини, що дозволяє їм перебувати у зваженому стані; у своїй кореневій системі виконує частково якірні функції;

– напівнавантажені, або надводні – геліофіти (очерет, стрілолист та ін., рис. 2), мають над поверхнею води зелені листяні або квітконосні пагони і існує більша частина вегетаційного періоду у водо-повітряному середовищі. Більшість представників цієї групи мають жорстке стебло і займають домінуюче становище у водоймі [15, 16, 17];

– вільно плаваючі на поверхні – гідрофіти (ряска, водохарб, рис. 3) та рослини з вільно плаваючим листям (горець земноводний, кубочки, латаття) [15, 16, 17].

Водорості (перифітон), які проживають на поверхні річки виконують активну роль в очистці води. В заростях прибережно-водних рослин розвивається фітофільна фауна, яка також приймає участь в самоочистці води.

Біологічна очистка водойми за допомогою макрофітів в технологіях захисту водного об'єкта відбувається за рахунок життєдіяльності рослин, який тісно зв'язаний з фізико-хімічними процесами. Самоочищення води в біоплато може відбутись за рахунок анаеробних й аеробних умов. В анаеробному процесі відбувається розпад органічних речовин за рахунок участі бактерій, найпростіших. В такому випадку у процесі розпаду органічного матеріалу накопичуються проміжні продукти (аміак, сірководень, низькомолекулярні жирні кислоти та інші), котрі при наявності кисню окисляються далі. В аеробних умовах розпад органічного субстрату відбувається за рахунок кисню до простих з'єднань, які в майбутньому залучаються в біотичний круговорот. Прибережна водна рослинність виділяє при фотосинтезі кисень тим самим благополучно впли-

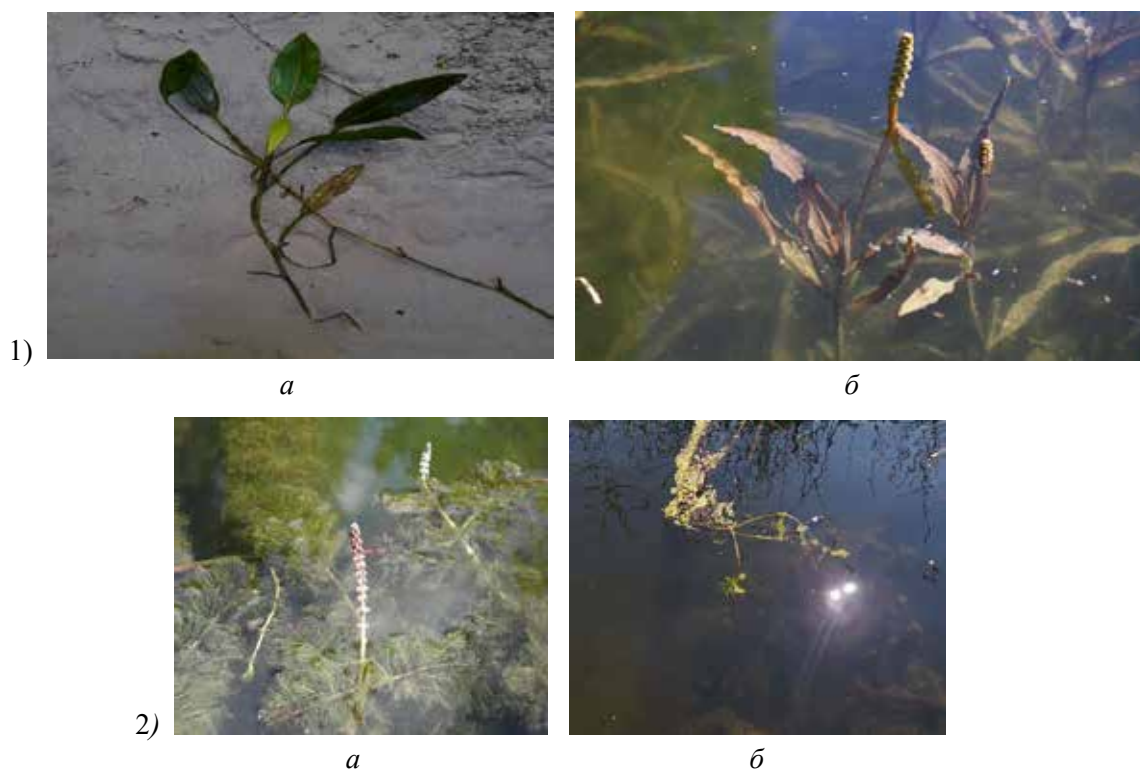


Рис. 1. Рдесники в річці Ворскла

1) зліва направо: а – рдесник блискучий (*Potamogeton lucens*), б – рдесник найдовший (*Potamogeton praelongus*), 2) зліва направо: а – рдесник гребінчастий (*Potamogeton pectinatus*), б – рдесник маленький (*Potamogeton pusillus*).



Рис. 2. Геліофіти в річці Ворскла

зліва направо: а – очерет звичайний (*Phragmites australis*); б – рогоз широколистий (*Tiphia latifolia*), в – рогоз вузьколистий (*Tiphia angustifolia*); г – сусак звичайний.

ває на кисневий режим прибережної зони водойми. Однак надмірний розвиток водоростей може призвести до вторинного забруднення водоймища після їх відмирання.

Рогози є біофільтром для очищення побутових та промислових стоків. Крім задовільного осадження органічних суспензій зі стічних вод, рогоз широколистий переважно акумулює з них N та Na [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Великі макрофіти здатні витягувати з води у великих кількостях біогенні елементи і цим запобігати та знижувати ступінь евтрофування водойми.

Вищі водні рослини, у тому числі рогози (рис. 1, 2, 3), споживаючи розчинені мінеральні речовини, виконують функцію демінералізації.

Рогози інтенсивно поглинають мінеральні солі стічних вод у гідромеліоративних каналах. Наприклад, рогоз вузьколистий вилучає з фільтрату 30% солей та 50% хлоридів.

В ході аналізу визначено, що рогоз звичайний (*Phragmites australis*) та рогоз широколистий (*Tiphia latifolia*), як і інші макрофіти, здатні поглинати з води біогенні елементи та фізіологічно активні речовини – феноли, отруйні солі важких металів,



а



б

Рис. 3. Гідрофіти в річці Ворскла

зліва направо: а – кубушка жовта (*Nuphar lutea*); б – водохарб звичайний (*Hydrocharis morsus-ranae*)

пестициди та інше [12, 13, 14, 15, 16, 17], при цьому значна частина цих елементів залишається у відмерлих залишках рослин, зокрема, у листі, стеблах та суцвіттях [12, 13, 14, 15, 16, 17].

За даними аналізу, у підземних коріннях очерету широколистого може накопичуватися: Fe – до 5150,0 мг/кг, Mn – до 5562,5 мг/кг, Ni – до 13,1 мг/кг, Zn – до 290,0 мг/кг, Cu – до 55,0 мг/кг, у листі: Fe – до 1964,8 мг/кг, Mn – до 8400,0 мг/кг, Ni – до 102,2 мг/кг, Zn – до 98,0 мг/кг, Cu – до 37,3 мг/кг, жіночих суцвіттях: Fe – до 450,0 мг/кг, Mn – до 680,0 мг/кг, Ni – до 36,7 мг/кг, Zn – до 50,0 мг/кг, Fe – до 23,7 мг/кг.

Рогоз звичайний (*Phragmites australis*) – досить висока рослина із листям 8-14 мм ширини. Пестична частина суцвіття 2,0-2,8 см ширини [12, 13, 14, 15, 16, 17, 18]. Рослини нерідко мають габітус *T. angustifolia* або з першого погляду приймаються за «гібрид» очерету широколистого та вузьколистого. Пилкові зерна в фертильних зошитах, волоски оцвіттини чоловічих квіток тонкі, зазвичай прості. Приквітка при жіночих квітках відсутня. Рильце широколанцетне чи ромбічне. На верхніх ділянках окремих колосків жіночого суцвіття один або два пистилодії, а якщо пистилодіїв немає, то на верхівці можна розглянути єдину жіночу квітку у вигляді пучка волосків. Молоді маточкові суцвіття зелені або темно-зелені. Проміжок між пестичною та тичинковою частиною суцвіття, за даними одних авторів, становить 5(6)-7 мм, згідно інших авторів – 6-72 мм [12, 13, 14, 15, 16, 17].

Висота репродуктивного очерету широколистого варіює у межах: від 0,68 м до 2,8 м, загалом 1,7 м (табл. 2). Листя в числі 4-13, в середньому 8-10, можуть бути покриті сизовим нальотом, ширина листової пластинки в середній частині від 0,7 до 3,1 см. Пестична частина суцвіття циліндричної форми, під час цвітіння темно-зеленого кольору, під час плодоношення стає буро-коричневої, її довжина 5,9-34,0 (42,0) см, товщина 1,5-3,4 (4,0) см, загалом 2,7 см. Довжина тичинкової частини суцвіття 3,4-21,3 см загалом 11,7 см, товщина під час цвітіння становить 0,7-2,2 см. Проміжок між тичинковою та пестичною частиною суцвіття – 0-0,5 (0,6) см.

Рогоз широколистий (*Tipha latifolia*) – досить висока рослина із листям 8-14 мм ширини. Пестична частина суцвіття 2,0-2,8 см ширини [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Рослини нерідко мають габітус *T. angustifolia* або з першого погляду приймаються за «гібрид» рогозу широколистого та вузьколистого. Пилкові зерна в фертильних зошитах, волоски оцвіттини чоловічих квіток тонкі, зазвичай прості. Приквітка при жіночих квітках відсутня. Рильце широколанцетне чи ромбічне. На верхніх ділянках окремих колосків жіночого суцвіття один або два пистилодії, а якщо пистилодіїв немає, то на верхівці можна розглянути єдину жіночу квітку у вигляді пучка волосків. Молоді маточкові суцвіття зелені або темно-зелені.

У межах території м. Полтави на березі р. Ворскла висота репродуктивної *T. intermedia* ста-

Таблиця 2

Середньостатистичні показники морфометричних параметрів *Typha latifolia*

Параметри	N	M±m	Lim (min-max)	σ	CV, %
H (м)	421	1,471±0,01	0,68-2,80	0,29	19,96
n (шт)	3772	8,96±0,07	4-13	1,37	15,29
s (мм)	1263	20,32±0,15	7,00-31,00	3,95	19,44
Lf (см)	421	17,69±0,26	5,90-42,00	5,31	30,02
df (мм)	421	27,32±0,21	15,00-40,00	4,20	15,37
Lm (см)	421	11,71±0,17	3,40-21,30	3,38	28,86
dm (мм)	161	12,17±2,78	7,00-22,00	2,78	22,84
r (мм)	421	0,29±0,05	0-7,00	0,98	337,93

Таблиця 3

Середньостатистичні показники морфометричних параметрів *Typha intermedia*

Параметри	N	M±m	Lim (min-max)	σ	CV, %
H (м)	57	1,41±0,04	0,70-2,10	0,29	20,57
n (шт)	387	6,79±0,23	4-10	1,76	25,92
s (мм)	171	13,96±0,40	7,50-22,50	3,01	21,56
Lf (см)	57	12,58±0,52	6,00-25,00	3,92	31,16
df (мм)	57	24,34±0,73	5,00-34,00	5,49	22,56
Lm (см)	57	11,11±0,48	4,30-23,50	3,53	31,77
dm (мм)	23	9,30±0,35	6,00-13,00	1,69	18,17
r (мм)	57	7,18±0,83	0-32,00	6,28	87,47

новить 0,7-2,1 м, у середньому 1,4 м (табл. 3). Вид рогузу широколистого відрізняється листям зеленого або світло-зеленого кольору, але вони можуть бути і злегка сизуватими. Кількість листя на репродуктивному пагоні 4-10 см, ширина листової пластинки коливається в межах від 0,8 до 2,4 см, середньому 1,4 см. світло або темно-коричневого кольору. Довжина тичинкової частини суцвіття від 4,3 до 23,5 см, товщина 0,6-1,3 см. Проміжок між пестичною та тичинковою частиною суцвіття становить від 0,6 до 3,2 см, в середньому 0,7 см.

Головний висновок. В нашій країні однією з причиною виникнення проблеми забруднення річок зворотними (стічними) стоками є не дотримання нормативно-правової бази, насамперед, у частині економічного регулювання процесів стимулювання нормативного очищення стічних вод. Крім того, явно недостатня забезпеченість підприємств очисними спорудами та низька ефективність очищення стічних вод.

З кожним роком все більш важливого значення в Україні набуває своєчасне виявлення і прогнозування розвитку негативних процесів, що впливають на якість води у водних об'єктах і їх стан, тому здійснюється екологічний моніторинг на основі постійного відстеження з боку Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, Державним агентством водних ресурсів й іншими контролюючими органами.

Всі водні об'єкти надзвичайно чутливі до будь-якої антропогенної діяльності. При цьому малі річки

втрачають функцію природних регуляторів водного режиму, забруднюються і втрачають здатність до самоочищення або повністю зникають.

Встановлено, що масовий розвиток в річці Ворскла в межах м. Полтави геліофітів – очерету звичайного (*Phragmites australis*); рогузу широколистого (*Typha latifolia*), рогузу вузьколистого (*Typha angustifolia*); сусаку звичайного може бути причиною надлишком надходження біогенних елементів, та крім того, стаючи причиною вторинного забруднення водойми. Розкладання відмерлих водних рослинних залишків потребує значного розчинного кисню в воді, та може викликати замор біоти з часом.

Рекомендовано збільшити посадку в Ворсклі гідрофітів, гігрофітів, наприклад: водянця жовтого, елодеї, валіснерії, водопериці, ряски, водяної лілії. Зміцнення берегів за допомогою макрофітів є найбільш простим та економічним способом очистки від біогенних елементів, але призводить до випаровування води рослинами рогузу вузьколистого. Також негативною здатністю є збільшення кількості мулу, що за певних умов призводить до загнивання рогузового опаду на біотопах, які заболочуються. Усі рогузи створюють серйозні проблеми при зрошенні полів, оскільки швидкого розростаються в іригаційних системах та спорудах, але можуть бути використанні в біоплато.

Перспективи використання результатів дослідження. Данні дослідження можуть використовуватись для розробок екологічних технологій захисту водного об'єкта.

Література

1. Водорості. Довідник. С. П. Вассер та ін. Київ : Наукова думка, 1989. 250 с.
2. Ботаніка. Водорості та гриби / за ред. І. Ю. Костиков. Київ : Арістей, 2006. 100 с.
3. Пилип'юк В.В., Лобода Н.С. Оцінка самоочисної здатності річок Псел та Ворскла. Матеріали міжнародної наукової конференції студентів і молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія сучасні проблеми та шляхи їх вирішення». Одеськ. держ. екологічний університет. Одеса : ТЕС, 2014. С. 116-117.
4. Вплив радіонуклідного забруднення на гідробіонтів зони відчуження. Радіонукліди у водних екосистемах України / М. І. Кузьменко, В. Д. Романенко, В. В. Деревець та ін.; Київ : Чорнобильінтерінформ, 2001. 318 с.
5. Жежера М.Д. Водорості різнотипних водойм Лівобережного Полісся : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к-та б. наук. Київ, 2015. 25 с.
6. Никифоров В. В., Дігтяр С. В., Мазницька О. В., Козловська Т. Ф. Біоіндикація та біотестування : навчальний посібник. Кременчук : Видавництво ПП Щербатих О. В., 2016. 76 с.

7. Клименко, М.О., Прищепя А.М., Клименко О.М., Стецюк Л.М. Оцінювання стану водних екосистем за показниками біо-тестування. Рівне : НУВГ, 2014. 170 с.
8. Комплексна оцінка токсичності водних зразків за допомогою рослинних і тваринних тест-організмів / Осмалений М.С., Головков А.В., Нанісва М.Р. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2015. Т. 16. С. 74–77.
9. Білоус О.П., Барінова С.С., Клоченко П.Д. Біоіндикаційний аналіз верхньої ділянки річки Південний Буг по фітопланктону. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. № 1, 2014. С. 76–88.
10. Клоченко П.Д., Митківська Т.І. Фітопланктон приток верхнього Дніпра. *Укр. ботан. журнал*. № 50, 1993. С. 69–79.
11. Lumbsch, T.H. and Huhndorf, S.M. Outline of Ascomycota–2007. *Myconet, The Field Museum, Department of Botany*. Chicago. 2007. P. 1– 58.
12. Körting W. Abwasserschäden am Fisch. *Münch. Beitr. Abwasser Fisch und Flussbiol.* 1972. P. 82–87.
13. Chu S. P. The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planktonic algae. *Part I. Methods and culture media J. Ecol.* 1942. Vol. 30, P. 284–325.
14. Burton G.A. Jr., Stemmer B.L., Winks K.L. A. Multitrophic level evaluation of sediment toxicity in Wankegen and Indiana harbors. *Environ Toxicol. Chem.* 1989. P. 1057– 1066.
15. Abbracchio M.P., Hansen J.S., Costa S.M. Cytoplasmic dissolution of phagocytized crystalline nickel sulfide partickes: a prerequisite for nuclear uptake of nikel. *Toxicol. J. Environ. Health.* 1982. P.659 – 663.
16. Takeuchi T. Distribution of mercury in the environment of Minamata Bay and the Inland Ariake Sea. *Environmental mercury contamination*. 1972. P.79–81.
17. Yedeler A. Anreicherung und Elimination von Zink in Pflancen Sedimenten und Fischfleisch. *Dipl. Arb. Berich. Biologil.* München. 1977. P.24–25.

Дата першого надходження рукопису до видання: 16.07.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 25.08.2025

Дата публікації: