

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЗМІН БІОРІЗНОМАНІТТЯ У ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ ПІД ВПЛИВОМ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ КОМПОНЕНТАМИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВІДХОДІВ

¹ Вінницький національний технічний університет

Анотація

Вдосконалено методи оцінювання змін біорізноманіття у водних екосистемах під впливом забруднення водних об'єктів компонентами небезпечних відходів та мультиспектральні засоби екологічного моніторингу. Крім того, вдосконалено математичні моделі екологічного моніторингу забруднення водних об'єктів компонентами небезпечних відходів, що дозволили підвищити точність опосередкованого вимірювання параметрів забруднення. Досліджено методи біоіндикації та розвинута бази даних з альгоіндикації в Україні.

Ключові слова: біорізноманіття, водні екосистеми, моніторинг, забруднення.

Abstract

Methods for assessing changes in biodiversity in aquatic ecosystems under the influence of pollution of water bodies by hazardous waste components and multispectral means of environmental monitoring were improved. In addition, mathematical models of environmental monitoring of pollution of water bodies by hazardous waste components have been improved, which made it possible to increase the accuracy of indirect measurement of pollution parameters. Methods of bioindication have been researched and a database on algoindication in Ukraine has been developed.

Keywords: biodiversity, water ecosystems, monitoring, pollution.

Вступ

Актуальність теми обумовлена необхідністю забезпечення зростаючих вимог до якості поверхневих вод, що зумовлює необхідність вдосконалення методів та засобів мультиспектрального екологічного моніторингу забруднення водних об'єктів. Якість поверхневих вод є важливою проблемою екологічної безпеки України. В результаті техногенної діяльності значна кількість небезпечних відходів потрапляє у водні об'єкти. Це призводить до зростання рівня евтрофікації, збільшення концентрації фітопланктону, замулювання, знекиснення тощо. Інтегральний контроль забруднення можливо здійснювати за допомогою біоіндикації по різноманітним водним організмам.

Метою роботи є вдосконалення засобів методів та засобів екологічного моніторингу забруднення водних об'єктів компонентами небезпечних відходів на основі біоіндикації по фітопланктону.

Об'єкт досліджень – процес екологічного моніторингу забруднення водних об'єктів компонентами небезпечних відходів.

Предмет досліджень – методи і засоби екологічного моніторингу забруднення водних об'єктів.

Результати дослідження

Вдосконалено метод та розроблено засіб мультиспектрального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону, який на відміну від відомих, використовує проточний мультиспектральний вимірювальний аналіз частинок фітопланктону, при якому порівнюють зображення частинок у проточній вимірювальній кюветі отримані на характеристичних довжинах хвиль пігментів фітопланктону за допомогою мікроскопу та ПЗЗ-камери з зображеннями з бази даних частинок фітопланктону певних видів у спеціалізованому процесорі, визначають абсолютну та

відносну чисельність частинок фітопланктону кожного з видів, які присутні у пробі та розраховують індекси Сімпсона та Шеннона. На рис. 1 представлена структурна схема засобу, що реалізує вказаний метод.

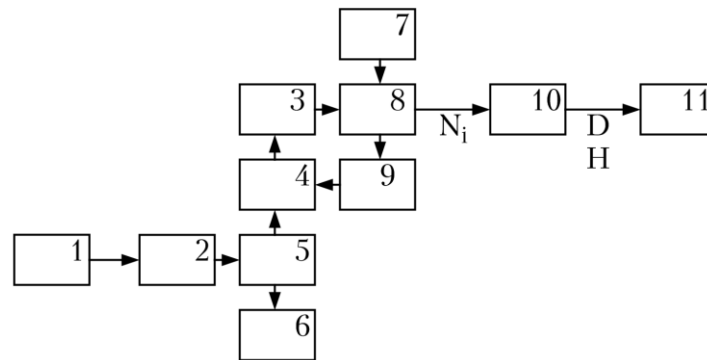


Рис.1. Структура засобу мультиспектрального вимірювального контролю екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону

Пристрій містить пробу води з частинками фітопланктону 1, насос 2, телевізійну ПЗЗ-камеру 3, мікроскоп 4, проточну вимірювальну кювету 5, зливну ємність 6, базу даних частинок фітопланктону 7, спеціалізований процесор 8, освітлювач 9, блок розрахунку індексів Сімпсона та Шеннона 10, індикатор 11. Метод здійснюється таким чином:

1. Відбирають з водного об'єкта пробу води 1, що містить частинки фітопланктону. За допомогою насоса 2 вода з частинками фітопланктону прокачується через проточну вимірювальну кювету 5 у зливну ємність 6.

2. За допомогою мікроскопу 4 та телевізійної ПЗЗ-камери 3 здійснюється проточний мультиспектральний телевізійний вимірювальний аналіз частинок фітопланктону, який полягає у порівнянні зображень частинок, отриманих на характеристичних довжинах хвиль пігментів фітопланктону у проточній вимірювальній кюветі 5 із зображеннями з бази даних частинок фітопланктону 7 спеціалізованим процесором 8. Спеціалізований процесор 8 також перемикає дощину хвилі освітлювача 9, що забезпечує формування зображень частинок на характеристичних довжинах хвиль пігментів фітопланктону $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$. Спеціалізований процесор 8 підраховує кількість частинок фітопланктону кожного з видів N_i , які присутні у водному об'єкті.

3. Блок розрахунку індексів Сімпсона та Шеннона 10 розраховує індекси та видає їх на індикатор 11. За рахунок використання спеціалізованого процесора 8 з'являється можливість у режимі реального часу з високою точністю ідентифікувати частинки фітопланктону, що дозволяє зменшити похибку визначення абсолютної (N_i) та відносної чисельності $p_i = N_i / N_\Sigma$ частинок фітопланктону кожного з видів, які присутні у пробі. На основі значень відносних відносної чисельності частинок фітопланктону кожного з видів розраховуються індекси Сімпсона та Шеннона дозволяють достовірно оцінити стан екосистеми водного об'єкта.

Структурна схема оцінювання екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону з використанням мультиспектрального методу та засобу наведена на рис. 2.



Рис.2. Структурна схема оцінювання екологічного стану водних об'єктів за параметрами фітопланктону

Для аналізу видового складу фітопланктону необхідно спочатку за допомогою автоматизованої мікроскопії та мультиспектрального методу сформувати базу мультиспектральних зображень частинок фітопланктону різних видів та експертну систему на базі нейромережі, що розрізнятиме зображення цих частинок з високою точністю.

При погіршенні екологічного стану екосистеми водного об'єкту, наприклад, внаслідок його евтрофікації починається бурхливий ріст чисельності певних видів фітопланктону, ці види починають домінувати в екосистемі поступово витісняючи з екосистеми водного об'єкта інші види. Таким чином, відносна чисельність домінуючих видів буде зростати та наблизитись до одиниці, що призведе до зростання індексу Сімпсона та його наближенню до одиниці. На противагу цьому у екосистемі водного об'єкту, що має добрий екологічний стан жоден з видів фітопланктону не є домінуючим, екосистема збалансована і значення відносної чисельності окремих видів невеликі, що призводить до зменшення індексу Сімпсона. При погіршенні екологічного стану екосистеми водного об'єкту, наприклад, внаслідок його антропогенного забруднення найбільш чутливі види фітопланктону зменшують свою чисельність і в подальшому повністю зникають та витісняються більш стійкими до забруднення видами фітопланктону, що призводить до зменшення індексу Шеннона. Таким чином, використання індексів Сімпсона та Шеннона дозволяє об'єктивно оцінити екологічний стан водного об'єкту на основі значень чисельності окремих видів фітопланктону у досліджуваній пробі, а використання проточного телевізійного вимірювального аналізатора дозволяє підвищити точність підрахунку частинок фітопланктону різних видів.

Актуальність і перспективність використання водоростей як індикаторних організмів щодо змін середовища, в якому вони живуть, не викликає сумніву. Використання їх у моніторингу та екологічних оцінках вже багато років становить частину державних моніторингових систем у країнах Європи. Все це не може не привертати пильної уваги до екології водоростей як фізіологічної реакції у відповідь на умови проживання, знання про яку ще дуже далекі від повноти. В даний час проведено безліч досліджень з метою охарактеризувати стан водного середовища, використовуючи індикаторні види водоростей [1]. Необхідно наголосити, що дослідники України в основному зосереджені на використанні сапробних значень водоростей та підрахунку власне індексу сапробності спільноти. Однак ряд наших робіт показує успішність застосування біоіндикації також і для інших показників середовища [2].

На сьогоднішній день опубліковано монографію [3], де було зібрано дані для водоростей-індикаторів за такими показниками, як ставлення до типу місцеперебування, температура, кисень та рухливість водних мас, відношення до рН води, галобність (толерантність до солоності), сапробність по Ватанабі, сапробність по Сладечку, індекс сапробності по Сладечку, а також деяким іншим. Слід зазначити, що за більш ніж десятирічний період досліджень, ми збрали низку опублікованих праць, дані з яких не увійшли до цієї монографії [3]. Крім того, з'явилися нові дані про альгологічні дослідження в Україні, після серії монографій "Algae of Ukraine" [20-23], і список видів було розширено, а крім того, систематика настільки швидко розвивається, що багато видів водоростей, які є індикаторами, віднесені до синонімів з екологічними характеристиками, що доповнюють один одного, і ця проблема також вимагала вирішення.

Таким чином, сформувався мета даної роботи – на прикладі України, проаналізувавши її альгофлору, систематизувавши, оновивши та впорядкувавши список водоростей-індикаторів, створити за згаданими вище та деякими іншими показниками базу альгоіндикаторів, характерних для водних об'єктів України.

Протягом кількох років дослідження були присвячені збору даних про екологічні переваги видів водоростей. В результаті було сформовано базу даних з екології водних організмів континентальних вод, яка частково опублікована в книгах [17, 19]. На даний час на період 2019 р. база включає 8917 записів. На додаток до раніше опублікованих даних [17], для складання загальної світової бази даних було проаналізовано інформацію про екологічні переваги видів із 62 найбільш об'ємних таксономічних та екологічних зведень різних років, опублікованих протягом 1950-2016 років. Побудова була проведена у програмі Microsoft Access.

Альгофлора України згідно з опублікованою серією монографій [4-7] налічує 5498 видів, 6583 внутрішньовидових таксонів, що належать до 15 відділів у трактуванні цитованого видання. Індикаторними є 2872 види з 13 відділів, тобто складають більшість виявленого таксономічного

списку (табл. 1.). Наразі розроблено кілька систем біоіндикації якості поверхневих вод, за допомогою яких оцінюються різні характеристики водних екосистем.

Таблиця 1 – Співвідношення індикаторних таксонів водоростей в альгофлорі

Відділ	Загальна кількість видів водоростей відома на території України.	Загальна кількість внутрішньовидових таксонів водоростей відома на території України.	Загальна кількість видів-індикаторів водоростей, виявлена на території України	Загальна кількість індикаторних видових та внутрішньовидових таксонів водоростей, виявлених на території України
Cyanophyta	671	824	423	437
Euglenophyta	384	529	366	492
Chrysophyta	317	333	184	196
Haptophyta	45	45	2	2
Xanthophyta	331	345	67	68
Bacillariophyta	989	1207	659	756
Raphidophyta	8	8	6	6
Dinophyta	260	292	62	64
Cryptophyta	59	59	24	24
Glaucocystophyta	3	3	1	1
Rhodophyta	143	160	17	17
Chlorophyta	1381	1510	500	538
Charophyta	813	1178	547	698

У більшості зазначених робіт біоіндикаційні методи використовуються у зв'язку з окремими факторами середовища, але нижче продемонстровано наявність підходів, коли за допомогою біоіндикації також визначається загальний стан екосистеми та перспективи її розвитку, а також реакції водних угруповань в умовах змінного клімату.

З усього вищевикладеного можна зробити висновок, що особливо важливим є створення цілісної узагальненої системи, з чітким уявленням про механізми функціонування водної екосистеми як взаємозалежної єдності середовища та організмів, що мешкають у ній. Актуальним є також запровадження нових показників, що дозволяють оцінити вплив кліматичних впливів на водну біоту.

Аналіз видового складу водоростевих угруповань є основним етапом біоіндикації. Раніше система біоіндикації була заснована на наявності або відсутності виду за певних умов навколишнього середовища. Згодом список видів-індикаторів збільшився, і система включила нові види, які згодом були класифіковані з точки зору основних характеристик навколишнього середовища. Нещодавні зміни також були прийняті до уваги, та стало можливим створення таблиці індикаторних видів для флори України.

Висновки

В було вдосконалено математичні моделі спектральних характеристик водних середовищ з частинками фітопланктону, що дозволило дослідити глибинну структуру освітленості у приповерхневих шарах цих середовищ та обрати спектральні діапазони для роботи засобів екологічного контролю. Здійснено дослідження методів біоіндикації та розвиток бази даних з альгоіндикації в Україні. Досліджено індикаторні таксони водоростей в альгофлорі України. Розроблені методи екологічного моніторингу дозволяють комплексно оцінити екологічний стан водних об'єктів з використання біоіндикації за цими групами водоростей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Barinova S.S., Bilous O.P., Tsarenko P.M. Algal indication of water bodies in Ukraine: methods and perspectives. Haifa, Kiev: University of Haifa Publisher, 2019. 367 p.

2. Климюк В.М., Барінова С.С., Лялюк Н.М. Біоіндикаційний аналіз солоних озер РЛП "Слов'янський курорт" за фітопланктоном. Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія, 2014. V. 2(33). Р. 70–80.

3. Барінова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель Авив: Pilies Studio, 2006. 498 с.

4. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. (Eds.). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Vol. 1. Cyanoprocarota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta and Rhodophyta: Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag, 2006. 713 p.

5. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. (Eds.). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Vol. 2. Bacillariophyta. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag, 2009. 413 p.

6. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. (Eds.). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Vol. 3. Chlorophyta. Gantner Verlag, Ruggell, 2011. 511 p.

7. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. (Eds.). Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Vol. 4. Charophyta. Ruggell: Koeltz Scientific Books, 2014. 703 p.

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

Мандебура Святослав Васильович — аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com.

Мандебура Анастасія Юрїївна — аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: eko14b.kozachuk@gmail.com.

Підопригора Євгеній Сергійович — студент групи ТЗД-21м, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: zhenyapidoprigora788@gmail.com.

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

Mandebura Svyatoslav V. — Postgraduate student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : eko14b.mandebura@gmail.com.

Mandebura Anastasia Y. — Postgraduate student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : eko14b.kozachuk@gmail.com.

Pidoprihora Evgeny S. — student of TZD-21m group, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail : zhenyapidoprigora788@gmail.com