

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка



ЛЯШЕНКО ВОЛОДИМИР АРТЕМОВИЧ

УДК 502/504:574: 592:556.531-047.36(043.3)

ДІАГНОСТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ РІЧКОВИХ ЕКОСИСТЕМ ЗА
ПОКАЗНИКАМИ ЗООБЕНТОСУ ТА БІОТЕСТУВАННЯ ДОННИХ ВІДКЛАДІВ

03.00.16 - екологія

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ - 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі екології та зоології Навчально-наукового центру «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор біологічних наук, професор
Лукашов Дмитро Володимирович,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
завідувач кафедри екології та зоології

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, доцент
Бєдункова Ольга Олександрівна,
Національний університет водного господарства та
природокористування,
професор кафедри екології, технології захисту
навколишнього середовища та лісового господарства

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник
Коновець Ігор Миколайович,
Інститут гідробіології НАН України,
завідувач лабораторії біологічно активних сполук відділу
екологічної фізіології гідробіонтів та біотехнології

Захист дисертації відбудеться «12» травня 2021 року о 16⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.001.24 Київського Національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: м. Київ, проспект Академіка Глушкова, 2, ННЦ «Інститут біології та медицини», ауд. 434

Поштова адреса: 01601, м. Київ, вул. Володимирська 64/3, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННЦ «Інститут біології та медицини», спеціалізована вчена рада Д 26.001.24

З дисертацією можна ознайомитись у Науковій бібліотеці ім. М. Максимовича Київського національного університету імені Тараса Шевченка за адресою: м. Київ, вул. Володимирська, 58, зал № 12

Автореферат розісланий «10» квітня 2021 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат біологічних наук



Н. Г. Ракша

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Протягом останніх десятиліть концепція оцінки якості водного середовища як ресурсу замінюється концепцією оцінки середовища як місця мешкання гідробіонтів, що проявляється у заміні «критеріального» підходу на «референційний» підхід до оцінки екологічного стану водних об'єктів [Afanasiyev, 2002; Романенко, 2012]. Інтеграція міжнародних підходів у практику екологічного моніторингу водних об'єктів в Україні регламентується положеннями Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60 [ВРД, 2006] через запровадження нового Порядку здійснення державного моніторингу вод (постанова Кабінету Міністрів України № 758 від 19 вересня 2018 року). Згідно до цього Порядку встановлюються процедури діагностичного, операційного та дослідницького моніторингу масивів поверхневих вод. Діагностичний моніторинг визначено як перший етап в системі державного екологічного моніторингу для оцінки поточного стану водних об'єктів, встановлення референційних умов для масивів поверхневих вод та оцінки їх довгострокових змін.

Однією зі складових діагностичного моніторингу є спостереження за біологічними показниками розвитку угруповань зообентосу. Відповідно до Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60 організми зообентосу визнаються одним із дескрипторів екологічного стану водних об'єктів [ВРД, 2006]. Враховуючи положення «Методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [Методика, 1998] та проекту її нової редакції [Гриценко, 2012] в основу екологічної класифікації водних екосистем України має бути покладено підхід, за яким оцінка екологічного стану водних об'єктів ґрунтується на узагальненні результатів біоіндикації та біотестування. Проте ці комплекси методів базуються на різних критеріях відповіді організму на параметри довкілля, адже організми-біоіндикатори є стенобіонтами, а тест-організми - еврибіонтами. Тому необхідне встановлення відповідності оцінок екологічного стану водних об'єктів, отриманих за допомогою цих методів.

Таким чином, актуальність роботи полягає в обґрунтуванні можливості комбінованого використання структурних параметрів зообентосу та показників біотестування донних відкладів для оцінки стану річкових екосистем на прикладі угруповань донних безхребетних різнотипних водотоків України, які були обрані як модельні річкові екосистеми - Дунай, Удай, Ворскла та Рось.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційну роботу виконано в Навчально-науковому центрі «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка на кафедрі екології та зоології в рамках наукових тем: «Комплексне дослідження сучасного стану окремих груп тварин України» - номер теми НДР: 16КФ03603 (2015-2016 рр.); «Комплексна оцінка стану екосистем, їх складових та адаптацій біосистем до умов навколишнього середовища» - державний реєстраційний номер теми 0117U002599 (2017-2019 рр.); Моніторинг структурно-функціональної організації біотичних угруповань з метою оцінки стану екосистем у змінних умовах довкілля» - номер теми НДР: 20КФ036-02 (початок виконання теми 01.2020). У роботу також включені наукові результати, які отримані автором під час

виконання програм Літопису природи Національного природного парку «Пирятинський» та Літопису природи Гетьманського Національного природного парку (відповідно до Наказу Міністерства екології та природних ресурсів України № 465/430 від 25 листопада 2002 р.).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – встановити відповідність структурних параметрів угруповань зообентосу та токсичності донних відкладів для комплексної оцінки стану річкових екосистем у системі державного діагностичного моніторингу.

Для досягнення зазначеної мети були поставлені та вирішені такі *завдання*:

- визначити видове багатство та кількісні показники угруповань зообентосу пониззя Дунаю та центральних частин річок Удай, Ворскла та Рось, як модельних річкових екосистем України;
- на основі аналізу структурних характеристик угруповань зообентосу модельних річкових екосистем за біотичними індексами оцінити стан річкових екосистем та за індексами сапробності оцінити рівень органічного забруднення поверхневих вод;
- оцінити рівень токсичного забруднення донних відкладів модельних річкових екосистем методами біотестування;
- провести порівняльну оцінку чутливості та індикаторної здатності методів біоіндикації та біотестування для оцінки стану річкових екосистем;

Об'єкт дослідження: екологічний стан водних об'єктів.

Предмет дослідження: комплексний аналіз якості поверхневих вод, екологічного стану річок методами біоіндикації за угрупованнями зообентосу та забруднення донних відкладів методами біотестування.

Методи дослідження. У роботі використано загальноприйняті гідробіологічні методи збору якісних та кількісних бентосних проб; камеральної обробки гідробіологічного матеріалу [Методи..., 2006]; методи біоіндикації: індекс видового різноманіття Шеннона, індекс подібності видового складу Жаккара, біотичні індекси – Trent Biotic Index (TBI), Belgian Biotic Index (BBI), Biological Monitoring Working Party Index (BMWP) [Харченко, 2006; Aristica, 2006; Semenchenko, 2009], індекси сапробності Гуднайта-Уїтлі та Зелінки-Марвана; загальноприйняті методи біологічного тестування за допомогою тест-організмів *Lactuca sativa* L., *Allium cepa* L., *Daphnia magna* Strauss [Fiskesjö, 1993]; індекс оцінки стану річкових екосистем - Ecological Quality Index (EQI) [Barbour, 1996; Semenchenko, 2009; Yadav, 2015]; статистичні методи обробки результатів [Glantz, 2011].

Під час роботи над дисертацією не було порушено біоетичних норм.

Інформаційну основу дисертаційної роботи склали зібрані, опрацьовані та узагальнені особисто автором первинні матеріали багаторічних польових досліджень; аналіз опублікованих даних вітчизняних та зарубіжних авторів.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше проведено дослідження таксономічного складу угруповань зообентосу р. Удай та р. Ворскла на природоохоронних територіях в межах національних природних парків «Пирятинський» та «Гетьманський». На території Гетьманського НПП виявлено один вид донних безхребетних, нетиповий для цього географічного регіону, –

Anax parthenope Selys. Здійснено комбіновану оцінку стану модельних річкових екосистем за структурними параметрами угруповань зообентосу та показниками біотестування донних відкладів. Обґрунтовано об'єктивність сумісного застосування біоіндикації за структурними показниками угруповань зообентосу та біотестування донних відкладів для здійснення діагностичного моніторингу масивів поверхневих вод. Запропоновано уточнення до програми державного моніторингу водних об'єктів, що полягають у комбінованому використанні структурних параметрів угруповань зообентосу та показників біотестування донних відкладів для оцінки стану річкових екосистем.

Практичне значення одержаних результатів. Відповідно до рекомендацій Водної Рамкової Директиви ЄС 2000/60 розроблено та апробовано уніфіковану п'ятибальну систему оцінки стану річкових екосистем за структурними показниками угруповань зообентосу та оцінки токсичного забруднення донних відкладів за методами біотестування. Для вдосконалення та узгодження національної та міжнародних систем здійснення екологічного моніторингу природних поверхневих вод запропоновано сумісне використання біотичних індексів ТВІ, ВВІ, ВМWP, індексу сапробності Зелінки-Марвана та біотестування за *Lactuca sativa* L., *Allium cepa* L., *Daphnia magna* Strauss.

Результати досліджень використовуються в навчальному процесі під час викладання освітніх програм «Біологія» та «Екологія» на кафедрі екології та зоології ННЦ «Інститут біології та медицини» Київського національного університету імені Тараса Шевченка як наочні матеріали під час викладання курсів «Зоологія», «Екологія тварин», «Гідроекологія», «Моніторинг довкілля» та «Основи екологічної токсикології»; під час проведення навчальної практики у Канівському природному заповіднику; на заняттях гуртка «Основи гідробіології» Київського Палацу дітей та юнацтва.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем обґрунтована мета, основні завдання роботи, зібрано та оброблено проби зообентосу, проведено біотестування токсичності донних відкладів, проведено статистичну обробку отриманих даних, їх аналіз, узагальнення та формулювання висновків. Особисто та у співавторстві опубліковано наукові праці, в яких викладено основні результати проведених досліджень.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації були представлені на 38^{ій} та 39^{ій} конференціях International Association of Danube Research (IAD) (Дрезден, 2010 та Сентендре, 2012); IV всеросійській конференції з водної екотоксикології, присвяченій пам'яті Б.А. Флерова «Антропогенний вплив на водні організми та екосистеми» (Борок, 2011); X та XI міжнародних міждисциплінарних науково-практичних конференціях студентів, аспірантів та молодих вчених «Шевченківська весна. Біологічні науки» (Київ, 2012 та Київ, 2013); III Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень» (Київ, 2016).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи відображено в 12 наукових роботах. З них 2 у міжнародних фахових виданнях, які індексуються

базами даних Scopus та Web of Science Core Collection та належать до видань 3-го квартилю (*Acta Zoologica Bulgarica*, *Hydrobiological Journal*); 3 - у фахових виданнях, які включено до категорії "Б" переліку наукових фахових видань України за спеціальностями «Біологічні науки».

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та 2 додатків. Робота викладена на 143 сторінках, із них 129 сторінок основного тексту. Містить 19 таблиць та 6 рисунків. Список використаних джерел нараховує 109 найменувань, з яких 47 іноземні.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Сучасні підходи до використання біологічних методів дослідження поверхневих вод. На основі комплексного аналізу наукових літературних джерел показано зміни у науковому підході до оцінки якості водного середовища. Розглянуто особливості «критеріального» та «референційного» підходів до оцінки екологічного стану водних об'єктів [Afanasiyev, 2002]. У розділі проаналізовано втілення зобов'язань щодо впровадження положень Водної Рамкової Директиви ЄС (ВРД), ратифікованих українською стороною [Романенко, 2012]. Розглянуто сучасний стан нормативно-правового забезпечення системи державного моніторингу вод, а саме положення Постанови Кабінету міністрів України № 758 від 19 вересня 2018 року про затвердження нового Порядку здійснення державного моніторингу вод. Процедура діагностичного моніторингу є прямим впровадженням положень ВРД, адже однією з її цілей є встановлення референційних умов для водних об'єктів. Проте, забезпеченість іншими нормативними документами в сфері державного моніторингу поверхневих вод є недостатньою – чинна «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» опублікована у 1998 році і тому не враховує сучасні підходи до оцінки стану гідроекосистем [Гриценко, 2012]. Отже, є потреба у науково-методичних роботах, що допомагають узгодити оцінки стану гідроекосистем, здійснені за допомогою різноманітних методів, зокрема біотестування та біоіндикації.

Еколого-географічна характеристика місця досліджень. У розділі наведено обґрунтування вибору чотирьох річок як модельних екосистем для апробації комплексного застосування методів біологічної індикації за структурними показниками угруповань зообентосу та методів біологічного тестування донних відкладів для оцінки екологічного стану річок. Описано їх основні еколого-географічні особливості - річки Удай, Ворскла та Рось належать до середніх за розмірами річок, розташованих в екорегіоні Східні рівнини. Річка Дунай належить до великих річок екорегіону Понтійська провінція. Станції спостереження на річках Дунай, Удай та Ворскла обирались у межах природоохоронних територій – Дунайського біосферного заповідника та Національних природних парків «Пирятинський» та «Гетьманський». Станції спостереження на р. Рось обирались з метою екологічної оцінки наслідків аварійного надходження пестицидів до р. Рось.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Робота є результатом досліджень угруповань зообентосу та біотестування донних відкладів модельних річок, які проводили відповідно до рекомендацій ВРД та процедури діагностичного моніторингу, що затверджена у Порядку здійснення державного моніторингу вод (Постанова КМУ від 19 вересня 2018 р. № 758). Матеріалом для виконання роботи стали 445 проб зообентосу та 240 зразків донних відкладів, відібраних протягом 2007-2020 рр. на 22 станціях спостереження. Дослідження проводили у типових біотопах, які визначали за складом ґрунту, швидкістю течії та угрупованнями вищої водної рослинності [Методи..., 2006].

Проби донних відкладів для визначення видового складу зообентосу відбирали за допомогою загальноприйнятих приладів та знарядь – секційний дночерпак СДЧ-100, дночерпак Петерсена, гідробіологічний сачок [Методи..., 2006]. Проби промивали через гідробіологічне сито (газ №23), фіксували 4% розчином формальдегіду та транспортували до лабораторії для камеральної обробки. За спеціалізованими визначниками [Кутикова, 1977; Матушкіна, 2002; Лукашов, 2004] представників зообентосу визначено до найнижчого таксону, зручного для розрахунку біотичних індексів - нижчого ідентифікованого таксону (НІТ) [Баканов, 1997].

Біоіндикацію стану річкових екосистем за структурними параметрами угруповань зообентосу виконано із застосуванням загальноприйнятих біотичних індексів: ТВІ, ВВІ, ВМWP [Харченко, 2006; Aristica, 2006; Semenchenko, 2009]. Для оцінки рівня органічного забруднення розраховано два індекси сапробності: Гуднайта-Уїтлі та Зелінки-Марвана. Видове різноманіття угруповань зообентосу оцінювали за індексом Шеннона, а попарну схожість видового складу - за індексом Жаккара [Методи..., 2006; Aristica, 2006]. Для порівняння схожості видового складу одночасно на кількох станціях спостереження використано метод кластерного аналізу – незваженого попарного середнього [Glantz, 2011].

Рівень токсичності донних відкладів визначали методами біотестування на рослинних (*Lactuca sativa* L., *Allium cepa* L.) та тваринних тест-організмах (*Daphnia magna* Strauss) [Fiskesjö, 1993]. Статистичний аналіз результатів проводили за допомогою програми Microsoft Excel. Для уникнення проблеми множинних порівнянь використано метод дисперсійного аналізу з подальшим застосуванням статистичного критерію Даннета [Glantz, 2011]. Відмінності вважали статистично достовірними для рівня значимості $p < 0,05$.

Відповідно до сучасних підходів оцінки якості гідроекосистем [Водна Рамкова Директива..., 2006] розроблено оригінальну п'ятибальну шкалу оцінки стану річкових екосистем за структурними показниками угруповань зообентосу, рівнем органічного забруднення поверхневих вод та токсичного забруднення донних відкладів (табл. 1). Використання запропонованої шкали оцінювання попередньо апробовано у низці наукових робіт [Lyashenko, 2010; Ляшенко, 2011; Liashenko, 2012; Ляшенко, 2013; Liashenko, 2014; Ляшенко, 2015; Lyashenko, 2019; Ляшенко, 2020].

Шкала для оцінки стану річкових екосистем за методами біоіндикації та біотестування

Біотичний індекс	Стан екосистем за угрупованнями зообентосу				
	Відмінний	Добрий	Задовільний	Поганий	Дуже поганий
TBI	9—10	7—8	5—6	3—4	0—2
VBI	9—10	7—8	5—6	3—4	0—2
BMWP	> 51	31—50	21—30	11—20	0—10
Індекс сапробності	Рівень органічного забруднення поверхневих вод				
	Відмінний	Добрий	Задовільний	Поганий	Дуже поганий
Гуднайта-Уїтлі	0—45	46—70	71—80	81—90	91—100
Зелінки-Марвана	< 1,5	1,5—2,5	2,5—3,5	3,5—4,5	> 4,5
Метод біотестування	Рівень токсичного забруднення донних відкладів				
	Відсутнє	Низьке	Помірне	Високе	Дуже високе
Відхилення росту <i>Lactuca sativa</i> та <i>Allium cepa</i> , %	<10	10—25	26—50	51—75	>75
Смертність <i>Daphnia magna</i> , %	<10	10—20	21—33	34—50	>50

Еталонні значення застосованих біологічних показників встановлено для ділянки р. Удай в межах Національного природного парку «Пирятинський» - станція 1, с. Кроти, у 2016 році. Надалі ці значення використано як еталонні для оцінки екологічного стану р. Удай на решті станцій, а також для оцінки стану екосистем інших річок - р. Ворскла, р. Рось та р. Дунай.

Для порівняння фактичних значень структурних показників зообентосу на станціях спостереження із еталонними розраховували значення індексу EQI [Barbour, 1996; Semenchenko, 2009; Yadav, 2015].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Структурні показники угруповань зообентосу модельних річкових екосистем та біоіндикація якості їх поверхневих вод. З 2007 по 2012 роки в українській частині дельти р. Дунай виявлено 89 видів зообентосу. Представники зообентосу належали до 17 таксономічних груп, значимих для розрахунку біотичних індексів. Окремо на станціях спостереження зареєстровано від 29 до 41 нижчих ідентифікованих таксонів зообентосу, чисельністю від 16600 до 38000 екз/м². Представники родини Chironomidae, що налічували 31 НІТ, та підкласу Oligochaeta (20 НІТ), домінували за видовим багатством та чисельністю на усіх станціях спостереження.

За результатами розрахунку біотичних індексів та індексів сапробності за усередненими шестирічними даними структурних показників угруповань

зообентосу стан річкових екосистем дельти р. Дунай у межах Дунайського біосферного заповідника найчастіше відповідав оцінці «добрий» (табл. 2).

Таблиця 2

Стан екосистем р. Дунай у межах Дунайського біосферного заповідника за структурними параметрами угруповань зообентосу та рівнем органічного забруднення поверхневих вод

Станції спостереження	Біотичний індекс			Індекс сапробності	
	ТВІ	ВВІ	ВМWP	Гуднайга-Уїтлі	Зелінки-Марвана
1) Кілійський рукав, 21 км	7 Добрий	7 Добрий	47 Добрий	45 Відмінний	2,68 Задовільний
2) Очаківський рукав, 17 км	8 Добрий	6 Задовільний	35 Добрий	45 Відмінний	2,43 Добрий
3) Очаківський рукав, 6 км	8 Добрий	6 Задовільний	38 Добрий	83 Поганий	3,11 Задовільний
4) Бистрий рукав, 10 км	7 Добрий	7 Добрий	36 Добрий	45 Відмінний	2,71 Задовільний
5) Бистрий рукав, 0 км	7 Добрий	7 Добрий	24 Задовільний	75 Задовільний	3,05 Задовільний
6) Восточний рукав, 8 км	7 Добрий	7 Добрий	32 Добрий	38 Відмінний	2,53 Задовільний
7) Восточний рукав, 0 км	8 Добрий	6 Задовільний	48 Добрий	74 Задовільний	3,12 Задовільний

Примітки. Тут і в табл. 3-5: вгорі – значення індексів за оригінальними методиками; знизу – вербальна характеристика за авторською шкалою. Оцінку проведено на основі аналізу 210 проб зообентосу.

Дослідженнями угруповань зообентосу на ділянці р. Удай у межах Національного природного парку «Пирятинський» з 2011 по 2016 роки було зареєстровано 58 видів. Представники зообентосу належали до 16 таксономічних груп, значимих для розрахунку біотичних індексів. Окремо на станціях спостереження зареєстровано від 13 до 31 НІТ зообентосу, чисельністю від 7330 до 13745 екз/м². За кількістю видів домінували такі таксономічні групи: клас *Gastropoda* (11 НІТ) та родина *Chironomidae* (10 НІТ). Найчисельнішими таксономічними групами на всіх станціях спостереження були підклас *Oligochaeta* і родина *Chironomidae*.

За результатами розрахунку біотичних індексів та індексів сапробності за усередненими шестирічними даними структурних показників угруповань зообентосу стан річкових екосистем р. Удай у межах Національного природного парку «Пирятинський» найчастіше відповідав оцінці «добрий» (табл. 3). Найнижчі розраховані показники притаманні станції 4, розташованій в районі м. Пирятин.

Стан екосистем р. Удай у межах Національного природного парку «Пирятинський» за структурними параметрами угруповань зообентосу та рівнем органічного забруднення поверхневих вод

Станції спостереження	Біотичний індекс			Індекс сапробності	
	ТВІ	ВВІ	ВМWP	Гуднайта-Уїтлі	Зелінки-Марвана
1) с. Кроти	9 Відмінний	8 Добрий	84 Добрий	25 Відмінний	2,34 Добрий
2) с. Гурбинці	9 Відмінний	8 Добрий	81 Добрий	21 Відмінний	2,36 Добрий
3) с. Леляки	9 Відмінний	6 Задовільний	70 Задовільний	40 Відмінний	2,40 Добрий
4) м. Пирятин	6 Задовільний	5 Задовільний	26 Поганий	48 Добрий	2,80 Задовільний
5) с Повстин	9 Відмінний	7 Добрий	67 Задовільний	23 Відмінний	2,44 Добрий

Примітка: оцінку проведено на основі аналізу 150 проб зообентосу.

У серпні 2020 року в складі зообентосу р. Ворскла було ідентифіковано 26 видів, які належали до 13 таксономічних груп, значимих для розрахунку біотичних індексів. Окремо на станціях спостереження зареєстровано від 6 до 33 НІТ, чисельністю від 29 до 70 екз/м². Представники класу Gastropoda, що налічували 7 НІТ, та ряду Odonata (6 НІТ) домінували за видовим багатством та чисельністю на усіх станціях спостереження.

Найнижчі результати оцінки стану екосистем р. Ворскла у межах Гетьманського Національного природного парку за структурними показниками зообентосу зареєстровано на станції 4 (табл. 4). Цю станцію розташовано біля автомобільного мосту через р. Ворскла, тому зниження видового багатства зообентосу на ній можна пояснити антропогенним впливом. У пробах були відсутні представники підкласу Oligochaeta, що унеможливило розрахунок значення індексу Гуднайта-Уїтлі. Через це сапробність поверхневих вод оцінено лише за індексом Зелінки-Марвана, величина якого вказує на низький рівень забруднення органічними речовинами на усіх станціях спостереження.

Стан екосистем р. Ворскла у межах Національного природного парку «Гетьманський» за структурними параметрами угруповань зообентосу та рівнем органічного забруднення поверхневих вод

Станції спостереження	Біотичний індекс			Індекс сапробності
	ТВІ	ВВІ	ВМWP	Зелінки-Марвана
1) с. Велика Писарівка	7 Добрий	4 Поганий	62 Відмінний	2,24 Добрий
2) смт. Кириківка	9 Відмінний	5 Задовільний	71 Відмінний	2,10 Добрий
3) с. Климентове	8 Добрий	5 Задовільний	102 Відмінний	2,18 Добрий
4) с. Лутище	2 Дуже поганий	4 Поганий	30 Задовільний	2,11 Добрий
5) с. Куземин, 100 м вище греблі	9 Відмінний	6 Задовільний	95 Відмінний	2,01 Добрий
6) с. Куземин, 100 м нижче греблі	4 Поганий	5 Задовільний	65 Відмінний	2,13 Добрий

Примітка: оцінку проведено на основі аналізу 30 проб зообентосу.

За повідомленням Державної Служби Надзвичайних Ситуацій України 9.06.2019 у с. Збаржівка Вінницької області сталася автомобільна аварія, внаслідок якої до р. Рось потрапило біля 1000 літрів пестицидів, що спричинило масове отруєння гідробіонтів. Для оцінки екологічних наслідків цієї аварії протягом червня-липня 2019 року було досліджено структурні показники угруповань зообентосу на чотирьох станціях спостереження. Було ідентифіковано 22 види зообентосу. Представники зообентосу належали до 14 таксономічних груп, значимих для розрахунку біотичних індексів. Окремо на станціях спостереження зареєстровано від 4 до 18 НІТ, чисельністю від 13 до 266 екз/м². За видовим багатством на усіх станціях спостереження домінували представники ряду Heteroptera (7 НІТ) та клас Gastropoda (4 НІТ).

За результатами розрахунку біотичних індексів та індексів сапробності за структурними показниками угруповань зообентосу найнижчі оцінки стану екосистем зареєстровано для станції 2 - безпосереднє місце аварії (табл. 5). Структурні показники угруповань зообентосу та рівень сапробності вод на інших станціях спостереження подібні між собою, тому можна зробити висновок про локальний характер забруднення токсичними речовинами - лише безпосереднє місце аварії характеризується зниженням видового багатства, різноманіття та чисельності зообентосу.

Стан екосистем р. Рось в ділянці надходження токсичних речовин за структурними параметрами угруповань зообентосу та рівнем органічного забруднення поверхневих вод

Станції спостереження		Біотичний індекс			Індекс сапробності	
		ТВІ	ВВІ	ВМWP	Гуднайта-Уїтлі	Зелінки-Марвана
1) 6 км вище місця аварії	11.6. 2019	5 Задовільний	4 Поганий	17 Поганий	13 Відмінний	1,60 Добрий
	17.6. 2019	7 Добрий	6 Задовільний	48 Добрий	5 Відмінний	1,72 Добрий
	17.7. 2019	8 Добрий	5 Задовільний	65 Добрий	5 Відмінний	1,56 Добрий
2) місце аварії	11.6. 2019	2 Дуже поганий	3 Поганий	11 Поганий	63 Добрий	N/A
	17.6. 2019	2 Дуже поганий	4 Поганий	8 Дуже поганий	38 Відмінний	N/A
	17.7. 2019	-	-	-	-	-
3) 700 м нижче місця аварії	11.6. 2019	8 Добрий	6 Задовільний	73 Відмінний	1 Відмінний	2,44 Добрий
	17.6. 2019	8 Добрий	5 Задовільний	60 Добрий	5 Відмінний	2,24 Добрий
	17.7. 2019	8 Добрий	5 Задовільний	64 Добрий	3 Відмінний	1,63 Добрий
4) 5 км нижче місця аварії	11.6. 2019	7 Добрий	5 Задовільний	55 Добрий	40 Відмінний	1,77 Добрий
	17.6. 2019	6 Задовільний	4 Поганий	32 Задовільний	29 Відмінний	1,52 Добрий
	17.7. 2019	6 Задовільний	4 Поганий	36 Задовільний	25 Відмінний	1,80 Добрий

Примітка. «-» - не вдалося відібрати пробу у зв'язку з осушенням водойми; «N/A» - недостатньо даних для розрахунків. Оцінку проведено на основі аналізу 55 проб зообентосу.

Оцінка рівня токсичного забруднення донних відкладів за допомогою методів біотестування. Результати біотестування донних відкладів р. Дунай протягом 2007-2012 рр., вказують на постійну наявність токсичного ефекту для обраних тест-об'єктів, що свідчить про хронічне токсичне забруднення (табл. 6). Проте токсичність донних відкладів не можна безпосередньо пов'язати зі змінами структурних показників зообентосу – роки з найвищим зареєстрованим токсичним забрудненням не відповідають рокам із найменшим видовим різноманіттям та чисельністю зообентосу. Через високу мінливість зареєстрованого токсичного ефекту донних відкладів не виявлено суттєвих відмінностей рівня токсичного забруднення між станціями спостереження при їх порівнянні між собою.

Показники токсичного забруднення донних відкладів р. Дунай у межах Дунайського біосферного заповідника за біотестуванням

Станції спостереження		2007	2008	2010	2011	2012
1) Кілійський, 21 км	<i>L. sativa</i>	-22* Низьке	-17* Низьке	8 Відсутнє	6 Відсутнє	2 Відсутнє
	<i>A. cepra</i>	-43* Помірне	-33* Помірне	-40* Помірне	-15* Низьке	34* Помірне
	<i>D. magna</i>	84* Дуже високе	17* Низьке	0 Відсутнє	88* Дуже високе	0 Відсутнє
2) Очаківськ., 17 км	<i>L. sativa</i>	-13* Низьке	-18* Низьке	-14* Низьке	-11* Низьке	7 Відсутнє
	<i>A. cepra</i>	-49* Помірне	-43* Помірне	-21* Низьке	2 Відсутнє	27* Помірне
	<i>D. magna</i>	97* Дуже високе	55* Дуже високе	6 Відсутнє	71* Дуже високе	60* Дуже високе
3) Очаківськ., 6 км	<i>L. sativa</i>	-24* Низьке	-20* Низьке	3 Відсутнє	-4 Відсутнє	23* Низьке
	<i>A. cepra</i>	-65* Високе	-37* Помірне	-43* Помірне	-13* Низьке	27* Помірне
	<i>D. magna</i>	77* Дуже високе	17* Низьке	69* Дуже високе	92* Дуже високе	100* Дуже високе
4) Бистрий, 10 км	<i>L. sativa</i>	-13* Низьке	-37* Помірне	-20* Низьке	-41* Помірне	15* Низьке
	<i>A. cepra</i>	-43* Помірне	-38* Помірне	-19* Низьке	18* Низьке	24* Низьке
	<i>D. magna</i>	90* Дуже високе	17* Низьке	53* Дуже високе	88* Дуже високе	40* Високе
5) Бистрий, 0 км	<i>L. sativa</i>	-25* Низьке	-27* Низьке	-16* Низьке	-6 Відсутнє	-2 Відсутнє
	<i>A. cepra</i>	-48* Помірне	-17* Низьке	-39* Помірне	-18* Низьке	45* Помірне
	<i>D. magna</i>	100* Дуже високе	33* Помірне	0 Відсутнє	83* Дуже високе	100* Дуже високе
6) Восточний, 8 км	<i>L. sativa</i>	-19* Низьке	11 Низьке	-15* Низьке	-13 Низьке	-17* Низьке
	<i>A. cepra</i>	-54* Високе	-39* Помірне	-37* Помірне	-6 Відсутнє	39* Помірне
	<i>D. magna</i>	100* Дуже високе	15* Низьке	22* Помірне	96* Дуже високе	0 Відсутнє
7) Восточний, 0 км	<i>L. sativa</i>	-28* Низьке	-17* Низьке	-8 Відсутнє	-13 Низьке	-4 Відсутнє
	<i>A. cepra</i>	-37* Помірне	-32* Помірне	-35* Помірне	2 Відсутнє	19* Низьке
	<i>D. magna</i>	81* Дуже високе	10* Низьке	11* Низьке	88* Дуже високе	0 Відсутнє

Примітки. Тут і в табл. 7-9: «*» - відмінності досліду і контролю є статистично значущими, $p < 0,05$; угорі – відхилення росту рослин або смертність тварин у %; знизу – вербальна характеристика за авторською шкалою.

Оцінка токсичності донних відкладів р. Удай протягом 2011-2014 рр., вказує на незначний рівень їх токсичного забруднення (табл. 7). Найвищий токсичний ефект зареєстровано на станції 1 (с. Кроти) у 2011-2012 рр. та на станції 4 (м. Пирятин) у 2012 році. За результатами біотестування зроблено припущення про короткотривале надходження забруднюючих речовин з м. Пирятин та з ділянок р. Удай, розташованих вище Національного природного парку «Пирятинський».

Таблиця 7

Показники токсичного забруднення донних відкладів р. Удай у межах Національного природного парку «Пирятинський» за біотестуванням

Станції спостереження		2011	2012	2013	2014	2015	2016
1) с. Кроти	<i>L. sativa</i>	76* Дуже високе	55* Високе	-13* Низьке	33 Помірне*	9 Відсутнє	-12* Низьке
	<i>A. cepa</i>	17* Низьке	-14* Низьке	11* Низьке	6 Відсутнє	16* Низьке	-4 Відсутнє
	<i>D. magna</i>	15* Низьке	55* Високе	15* Низьке	15* Низьке	3 Відсутнє	15* Низьке
2) с. Гурбинці	<i>L. sativa</i>	80* Дуже високе	-2 Відсутнє	5 Відсутнє	-4 Відсутнє	12* Низьке	9 Відсутнє
	<i>A. cepa</i>	18* Низьке	23* Низьке	-17* Низьке	-5 Відсутнє	-3 Відсутнє	16* Низьке
	<i>D. magna</i>	0 Відсутнє	27* Помірне	7 Відсутнє	13* Низьке	7 Відсутнє	3 Відсутнє
3) с. Леляки	<i>L. sativa</i>	75* Дуже високе	6 Відсутнє	23* Помірне	-12* Низьке	-12* Низьке	12* Низьке
	<i>A. cepa</i>	21* Низьке	17* Низьке	-28* Помірне	-4 Відсутнє	-4 Відсутнє	-3 Відсутнє
	<i>D. magna</i>	4 Відсутнє	23* Помірне	7 Відсутнє	15* Низьке	15* Низьке	7 Відсутнє
4) м. Пирятин	<i>L. sativa</i>	82* Дуже високе	5 Відсутнє	-16* Низьке	44* Помірне	12* Низьке	3 Відсутнє
	<i>A. cepa</i>	42* Помірне	37* Помірне	-35* Помірне	-17* Низьке	-3 Відсутнє	12* Низьке
	<i>D. magna</i>	0 Відсутнє	55* Високе	15* Низьке	0 Відсутнє	7 Відсутнє	-3 Відсутнє
5) с. Повстин	<i>L. sativa</i>	88* Дуже високе	37* Помірне	9 Відсутнє	12* Низьке	12* Низьке	-4 Відсутнє
	<i>A. cepa</i>	18* Низьке	-14* Низьке	16* Низьке	-3 Відсутнє	-3 Відсутнє	15* Низьке
	<i>D. magna</i>	15* Низьке	15* Низьке	3 Відсутнє	7 Відсутнє	7 Відсутнє	9 Відсутнє

Протягом серпня 2020 року було проведено оцінку токсичного забруднення донних відкладів р. Ворскла в межах Гетьманського Національного природного парку (табл. 8). За результатами біотестування донних відкладів за *Lactuca sativa* рівень їх токсичності відповідав оцінці «низьке». Лише донні відклади зі станції 3 характеризувалися оцінкою «відсутнє» забруднення. За допомогою тест-організмів

Allium cepa та *Daphnia magna* на жодній зі станцій спостереження токсичний ефект донних відкладів не виявлено. Оцінки токсичності донних відкладів за біотестуванням добре узгоджуються з результатами біоіндикації за структурними показниками угруповань зообентосу – за обома групами методів розраховано високі оцінки екологічного стану досліджених ділянок р. Ворскла.

Таблиця 8

Показники токсичного забруднення донних відкладів р. Ворскла у межах Національного природного парку «Гетьманський» за біотестуванням

Станції спостереження	<i>L. sativa</i>	<i>A. cepa</i>	<i>D. magna</i>
1) с. Велика Писарівка	17* Низьке	7 Відсутнє	3 Відсутнє
2) смт. Кириківка	14* Низьке	-5 Відсутнє	0 Відсутнє
3) с. Климентове	6 Відсутнє	3 Відсутнє	0 Відсутнє
4) с. Лутище	17* Низьке	-2 Відсутнє	6 Відсутнє
5) с. Куземин, 100 м вище греблі	14* Низьке	8 Відсутнє	0 Відсутнє
6) с. Куземин, 100 м нижче греблі	13* Низьке	8 Відсутнє	3 Відсутнє

За результатами біотестування донних відкладів р. Рось з ділянок, що піддалися впливу токсичних речовин, за допомогою тест-об'єктів *Lactuca sativa*, *Allium cepa* та *Daphnia magna* найчастіше зареєстровано «відсутнє» токсичне забруднення донних відкладів (табл. 9). Лише на найбільш відділеній станції 4 оцінка за рослинними тест-організмами вказує на «помірне» токсичне забруднення донних відкладів, що не пов'язано з впливом витоку токсичних речовин. Такі результати пояснюються належністю пестицидів, що потрапили в р. Рось, до помірно небезпечних токсичних речовин за екологічною класифікацією. Внаслідок розбавлення пестицидів водами річки та завдяки здатності екосистем до самоочищення токсичний ефект виявився локальним у просторі та часі.

Зауважимо, що за структурними показниками угруповань зообентосу стан гідроекосистеми безпосередньо на місці аварії оцінено між «поганим» та «дуже поганим». Припускаємо, що організми зообентосу швидко загинули від високих концентрацій токсичних речовин у воді, а також реагували на довгострокові наслідки масової загибелі гідробіонтів. Тому в даному випадку вважаємо більш доцільним надавати перевагу методам біологічної індикації за угрупованнями зообентосу для оцінки екологічних наслідків цієї аварії.

Показники токсичного забруднення донних відкладів р. Рось в ділянці надходження токсичних речовин за біотестуванням

Станції спостереження		11.6.2019	17.6.2019	17.7.2019
1) 6 км вище місця аварії	<i>L. sativa</i>	11* Низьке	17* Низьке	7 Відсутнє
	<i>A. cepa</i>	15* Низьке	8 Відсутнє	13* Низьке
	<i>D. magna</i>	0 Відсутнє	0 Відсутнє	0 Відсутнє
2) місце аварії	<i>L. sativa</i>	1 Відсутнє	15* Низьке	59* Високе
	<i>A. cepa</i>	17* Низьке	21* Низьке	43* Помірне
	<i>D. magna</i>	7 Відсутнє	0 Відсутнє	0 Відсутнє
3) 700 м нижче місця аварії	<i>L. sativa</i>	18* Низьке	42* Помірне	22* Низьке
	<i>A. cepa</i>	6 Відсутнє	13 Низьке*	17 Низьке*
	<i>D. magna</i>	7 Відсутнє	0 Відсутнє	0 Відсутнє
4) 5 км нижче місця аварії	<i>L. sativa</i>	27* Помірне	36* Помірне	15* Низьке
	<i>A. cepa</i>	22* Помірне	25* Помірне	24* Помірне
	<i>D. magna</i>	0 Відсутнє	0 Відсутнє	0 Відсутнє

Порівняльний аналіз чутливості структурних параметрів угруповань зообентосу та показників біотестування донних відкладів для оцінки стану річкових екосистем.

Результати шестирічного моніторингу стану екосистем р. Удай дозволяють встановити еталонні значення структурних показників угруповань зообентосу як одного з дескрипторів екологічного стану [Guidance..., 2003; Водна..., 2006].

Спираючись на встановлені значення видового багатства та різноманіття угруповань зообентосу, значення біотичних індексів та індексів сапробності, а також враховуючи результати оцінки токсичного забруднення донних відкладів, як еталонні значення обрано структурні показники угруповань зообентосу, зареєстровані на станції 1 (с. Кроти) в липні 2016 року. На даній станції в цей час було зареєстровано «відмінні» оцінки за усіма методами біоіндикації, а токсичне забруднення донних відкладів за методами біотестування оцінено як «відсутнє» або «низьке».

Для порівняння обраних еталонних значень структурних показників угруповань зообентосу із фактичними показниками на інших станціях спостереження, було

використано показник Ecological Quality Index (EQI) [Barbour, 1996; Semenchenko, 2009; Yadav, 2015], за яким визначається стан річкових екосистем відповідно до ВРД [Водна..., 2006]. Приклади розрахунку цього індексу для найвищих та найнижчих оцінок, проведених для кожної з модельних річкових екосистем, наведено у Табл. 10.

Таблиця 10

Схема оцінки стану річкових екосистем за величиною індексу EQI

		ТВІ	ВВІ	ВМWP	Зелінки-Марвана
Еталонні значення	Фактичне значення	8	7	76	2,16
	Відносно еталону	1,00	1,00	1,00	1,00
	Вербальна оцінка	Відмінний	Відмінний	Відмінний	Відмінний
р. Удай (найвищі оцінки)	Фактичне значення	8	7	76	2,16
	Відносно еталону	1,00	1,00	1,00	1,00
	Вербальна оцінка	Відмінний	Відмінний	Відмінний	Відмінний
р. Удай (найнижчі оцінки)	Фактичне значення	3	2	3	3,58
	Відносно еталону	0,38	0,29	0,04	1,66
	Вербальна оцінка	Задовільний	Поганий	Дуже поганий	Поганий
р. Ворскла (найвищі оцінки)	Фактичне значення	8	5	102	2,18
	Відносно еталону	1,00	0,71	1,34	1,01
	Вербальна оцінка	Відмінний	Добрий	Добрий	Відмінний
р. Ворскла (найнижчі оцінки)	Фактичне значення	2	4	30	2,11
	Відносно еталону	0,25	0,57	0,39	0,98
	Вербальна оцінка	Поганий	Задовільний	Задовільний	Відмінний
р. Рось (найвищі оцінки)	Фактичне значення	8	5	65	1,56
	Відносно еталону	1,00	0,71	0,86	0,72
	Вербальна оцінка	Відмінний	Добрий	Добрий	Добрий
р. Рось (найнижчі оцінки)	Фактичне значення	2	3	8	1,53
	Відносно еталону	0,25	0,43	0,11	0,70
	Вербальна оцінка	Поганий	Задовільний	Поганий	Добрий
р. Дунай (найвищі оцінки)	Фактичне значення	8	5	41	2,90
	Відносно еталону	1,00	0,71	0,54	1,34
	Вербальна оцінка	Відмінний	Добрий	Задовільний	Добрий
р. Дунай (найнижчі оцінки)	Фактичне значення	2	2	3	3,58
	Відносно еталону	0,25	0,29	0,04	1,66
	Вербальна оцінка	Поганий	Поганий	Дуже поганий	Поганий

За розрахунками індексу EQI найвищі оцінки стану екосистем серед досліджених ділянок р. Удай притаманні для станцій 1 (с. Кроти) та 2 (с. Гурбинці), а найнижчі – для станції 4 (м. Пирятин). З 2011 по 2016 роки на усіх станціях спостереження за усіма показниками зареєстровано підвищення оцінок стану екосистем принаймні на одну категорію. Рівень токсичного забруднення донних відкладів на усіх станціях спостереження знижується з 2011 по 2016 роки.

Для р. Ворскла найнижчі оцінки стану екосистем за структурними параметрами зообентосу зареєстровано на станції 4 (с. Лутище) – оцінки відповідають

уїтлкатегоріям «задовільний» або «поганий». Стан екосистем на усіх інших станціях спостереження на р. Ворскла оцінено як «добрий». За методами біотестування на усіх станціях спостереження виявлено «відсутнє» або «низьке» токсичне забруднення донних відкладів.

Для р. Рось найнижчі оцінки стану екосистем за угрупованнями зообентосу зареєстровано на станції 2 (безпосередньо місце надходження пестицидів) – оцінки відповідають категоріям «задовільний» або «поганий». Для розрахунку індексів сапробності на цій станції спостереження було недостатнє видове багатство зообентосу. За методами біотестування найчастіше виявлено «відсутнє» або «низьке» токсичне забруднення донних відкладів.

Для всіх станцій спостереження на р. Дунай розраховані значення показника EQI переважно коливаються між «поганим» та «задовільним» станом екосистем. Такі результати можуть бути пояснені значним рівнем антропогенного навантаження на екосистеми пониззя р. Дунай. Проте також варто врахувати, що для оцінки екологічного стану цього водного об'єкту як еталонні структурні показники угруповань зообентосу нами використано показники, притаманні для незарегульованої р. Удай. Склад угруповань зообентосу для цих відмінних водних об'єктів вочевидь має сильно відрізнятись, тому ми вважаємо доцільним обмежити використання встановлених нами еталонних показників для оцінки екологічного стану лише середніх рівнинних річок.

Таким чином, розроблена система сумісного використання структурних показників угруповань зообентосу та біотестування токсичного забруднення донних відкладів дозволяє проводити оцінку екологічного стану екосистем середніх за розмірними ознаками річок рівнинної частини України.

ВИСНОВКИ

Встановлено відповідність між результатами біоіндикації за організмами угруповань зообентосу та біотестування токсичності донних відкладів за умов їх комбінованого використання для оцінки стану річкових екосистем. Для вдосконалення та узгодження національної та міжнародних систем здійснення екологічного моніторингу природних поверхневих вод запропоновано сумісне використання біотичних індексів ТВІ, ВВІ, ВМWP, індексу сапробності Зелінки-Марвана та біотестування за *Lactuca sativa* L., *Allium cepa* L., *Daphnia magna* Strauss.

1. Видове багатство та чисельність організмів зообентосу модельних річкових екосистем за період дослідження склали: для р. Дунай - 89 видів зообентосу чисельністю від 16600 до 38000 екз/м²; для р. Удай - 58 видів зообентосу чисельністю від 7330 до 13745 екз/м²; для р. Ворскла - 26 видів зообентосу чисельністю від 29 до 70 екз/м²; для р. Рось - 22 види зообентосу чисельністю від 13 до 266 екз/м². За видовим багатством на усіх чотирьох річках домінує клас Gastropoda. Для річок Дунай, Удай та Рось встановлено домінування за чисельністю представників класу Oligochaeta та родини Chironomidae.
2. Оцінка стану річкових екосистем за біотичними індексами, розрахованими за структурними показниками зообентосу, вказує на переважання «доброго» стану

екосистем модельних річок Удай, Ворскла та Рось. Зареєстроване зниження видового багатства зообентосу для р. Удай у 1,5 рази пов'язане із впливом м. Пирятин; а для р. Рось зниження видового багатства зообентосу у 4,25 рази обмежене місцем надходження пестицидів у річку. Для обох річок зареєстровано відновлення структурних показників зообентосу на ділянках розташованих нижче за течією, що свідчить про ефективність процесів самоочищення. Для стану екосистем річки Дунай за показниками угруповань зообентосу переважають оцінки «задовільний» та «поганий».

3. Оцінка рівня органічного забруднення поверхневих вод модельних річок Дунай, Удай, Ворскла та Рось за індексами сапробності, розрахованими за структурними показниками зообентосу, вказує на переважання «доброго» стану їх екосистем.
4. Оцінка токсичного ефекту донних відкладів на рівні «відсутнього» або «низького» токсичного забруднення вказує на переважання доброго стану екосистем усіх досліджених ділянок річок. За період 2007-2012 рр. для донних відкладів р. Дунай зареєстровано коливання рівня токсичного забруднення донних відкладів між усіма можливими значеннями оцінки. Такі результати вказують на мінливість хімічного складу донних відкладів. За період 2011-2016 рр. для донних відкладів р. Удай зареєстровано зниження рівня токсичного забруднення донних відкладів від оцінки «дуже високе» у 2011 до оцінок «відсутнє» та «низьке» у 2016.
5. У результаті дослідження забруднення донних відкладів р. Рось доведено перевагу використання методів біоіндикації над методами біотестування для оцінки наслідків забруднення пестицидами.
6. Діагностичний моніторинг стану річкових екосистем показав, що методи біоіндикації на річках Дунай та Удай реєструють поступові довготривалі зміни структурних параметрів угруповань зообентосу, у той час як біотестування донних відкладів виявляє короткострокові коливання рівня їх токсичності.
7. Встановлені еталонні значення структурних показників угруповань зообентосу р. Удай рекомендовано для визначення екологічного стану виключно середніх за розмірними ознаками річок рівнинної частини України. Для оцінки екологічного стану малих та великих річок України необхідна розробка окремих систем оцінювання із використанням інших еталонних значень структурних показників угруповань зообентосу.

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. **Ляшенко В.А.**, Гончарова М.Т. Оцінка токсичності донних відкладів водних об'єктів Дунайського біосферного заповідника. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного ун-ту Серія «Біологія». 2011; С. 89–93. *(Збір та аналіз матеріалів, написання публікації)*
2. **Ляшенко В.А.**, Лукашов Д.В. Оцінка рівня токсичного забруднення р. Удай у межах НПП «Пирятинський» (Полтавська обл.). Наукові записки Тернопільського

національного педагогічного ун-ту Серія «Біологія». 2015;3: С. 403–406. *(Збір та аналіз матеріалів, написання публікації)*

3. **Ляшенко В.А.** Оцінка якості вод р. Ворскла за організмами макрозообентосу в межах Гетьманського НПП. Біорізноманіття, екологія та експериментальна біологія. 2020;22(2): С. 53–59.

Статті у виданнях, внесених до наукометричних баз даних:

4. **Liashenko V.A.** Assessment of Water Quality in the Ukrainian Part of the Danube Delta Based on Biotesting and Bioindication of Bottom Sediments. Acta Zool Bulg. 2014. – 66(suppl. 7) – p. 159–163.

5. **Lyashenko V.A.,** Lukashov D.V. Water quality assessment in the Uday river within the territory of the Pyryatyn national natural park in terms of macrozoobenthos organisms. Hydrobiol J. 2019;55(3): p. 20–28. *(Збір та аналіз матеріалів, написання публікації)*

Опубліковані праці апробаційного характеру:

6. **Ляшенко В.А.,** Лукашов Д.В. Проблема нормування забруднення важкими металами прісноводних екосистем. За ред. Щербак В.І. Інтегроване управління водними ресурсами (науковий збірник). Київ: ДІА; 2013. с. 85–94 *(Збір та аналіз матеріалів, написання публікації)*

7. **Lyashenko V.** Bioindication and biotesting of water and bottom sediments of water bodies of the Danube Biosphere Reserve/ V Lyashenko, M Goncharova // Danube meets Elbe Challenges – Strategies – Solutions: Матер. 38 Міжнар. наук.-практ. конф. – 22–25 June 2010, Dresden, Germany *(Збір та аналіз матеріалів, написання публікації)*

8. **Ляшенко В.А.** Определение экотоксикологического состояния водотоков украинской дельты Дуная, с использованием методик биотестирования и биоиндикации / Ляшенко В.А., Маковский В.В. // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы: Матер. IV Всерос. науч.-практ. конф. по водной экотоксикологии, посвященной памяти Б.А.Флерова - Борок, 2011 *(Збір та аналіз матеріалів, написання публікації)*

9. **Ляшенко В.А.** Біотестування донних відкладів з Дунайського Біосферного заповідника/ Ляшенко В.А. // Шевченківська весна: Матер. X Міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених – Київ, 2012

10. **Lyashenko V.** Investigation of sediment toxicity in several water bodies of the Danube`s Ukrainian part of the Kyliya branch / V Lyashenko, M Goncharova // Living Danube: Матер. 39 Міжнар. наук.-практ. конф. IAD - 21-24 August, 2012 Szentendre, Hungary *(Збір та аналіз матеріалів, написання публікації)*

11. **Ляшенко В.А.** Оцінка екологічного стану водойм Дунайського біосферного заповідника біологічними методами / Ляшенко В.А. // Шевченківська весна: Матер. XI Міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених – Київ, 2013

12. **Ляшенко В.А.** Проблеми визначення та нормування рівня забруднення прісноводних екосистем / Ляшенко В.А. // Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень: Матер. III Всеук. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених – Київ, 17-18.11.2016

АНОТАЦІЯ

Ляшенко В.А. Діагностичний моніторинг стану річкових екосистем за показниками зообентосу та біотестування донних відкладів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія. – Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Міністерство освіти і науки України. – Київ, 2021.

Вперше проведено діагностичний моніторинг стану річкових екосистем, визначеного за структурними показниками угруповань зообентосу та оцінкою рівня токсичного забруднення донних відкладів за біотестуванням на рослинних та тваринних тест-організмах, для чотирьох модельних річкових екосистем - Дунай, Удай, Ворскла та Рось. Робота є результатом досліджень проб зообентосу та донних відкладів, відібраних протягом 2007-2019 років на 22 станціях спостереження.

Для р. Дунай виявлено 89 види зообентосу чисельністю від 16600 до 38000 екз/м²; для р. Удай - 58 видів чисельністю від 7330 до 13745 екз/м²; для р. Ворскла - 26 видів чисельністю від 29 до 70 екз/м²; для р. Рось - 22 види чисельністю від 13 до 266 екз/м².

Оцінка стану річкових екосистем за біотичними індексами, розрахованими за структурними показниками зообентосу, вказує на переважання «доброго» стану екосистем модельних річок Удай, Ворскла та Рось. Для стану екосистем річки Дунай переважають оцінки «задовільний» та «поганий». Оцінка рівня органічного забруднення поверхневих вод модельних річок за індексами сапробності вказує на переважання «доброго» стану їх екосистем.

Оцінка токсичного ефекту донних відкладів на рівні «відсутнього» або «низького» токсичного забруднення вказує на переважання «доброго» стану екосистем усіх досліджених ділянок річок.

Показано придатність встановлених еталонних значень показників зообентосу р. Удай для визначення екологічного стану середніх річок рівнинної частини України. Результати дисертаційної роботи сприяють вирішенню проблеми визначення референційних умов для водних об'єктів, що є необхідним етапом для здійснення програм державного моніторингу масивів вод.

Ключові слова: *екологічний моніторинг, біорізноманіття, зообентос, біоіндикація якості вод, біотестування компонентів екосистем, екологічний стан, динаміка якісних показників.*

АННОТАЦИЯ

Ляшенко В.А. Диагностический мониторинг состояния речных экосистем по показателям зообентоса и биотестирования донных отложений. - Квалификационная научная работа на правах рукописи. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.16 - экология. - Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Министерство образования и науки Украины. - Киев, 2021.

Впервые проведен диагностический мониторинг состояния речных экосистем, определенного по структурным показателям сообществ зообентоса и оценке уровня токсического загрязнения донных отложений биотестированием на растительных и животных тест-организмах, для четырех модельных речных экосистем - Дунай, Удай, Ворскла и Рось. Работа основана на исследовании проб зообентоса и донных отложений, отобранных в течение 2007-2019 годов на 22 станциях наблюдения.

Для р. Дунай обнаружено 89 видов зообентоса численностью от 16600 до 38000 экз/м²; для р. Удай - 58 видов численностью от 7330 до 13745 экз/м²; для р. Ворскла - 26 видов численностью от 29 до 70 экз/м²; для р. Рось - 22 вида численностью от 13 до 266 экз/м².

Оценка состояния речных экосистем по биотическим индексам, рассчитанным по структурным показателям зообентоса, указывает на преобладание «хорошего» состояния экосистем модельных рек Удай, Ворскла и Рось. Для состояния экосистем реки Дунай преобладают оценки «удовлетворительное» и «плохое». Оценка уровня органического загрязнения поверхностных вод модельных рек по индексам сапробности указывает на преобладание «хорошего» состояния их экосистем.

Оценка токсического эффекта донных отложений на уровне «отсутствующего» или «низкого» токсического загрязнения указывает на преобладание «хорошего» состояния экосистем всех исследованных участков рек.

Показана пригодность установленных эталонных значений показателей зообентоса р. Удай для определения экологического состояния средних рек равнинной части Украины. Результаты диссертационной работы способствуют решению проблемы определения референсных условий для водных объектов, что является необходимым этапом для осуществления программ государственного мониторинга массивов поверхностных вод.

Ключевые слова: *экологический мониторинг, биоразнообразие, зообентос, биоиндикация качества вод, биотестирование компонентов экосистем, экологическое состояние, динамика качественных показателей.*

SUMMARY

Liashenko V.A. Diagnostic monitoring of river bodies ecological state in terms of zoobenthos and biotesting of bottom sediments. – Manuscript. Thesis for scientific degree of candidate of biological sciences by specialty 03.00.16 – ecology. Taras Shevchenko National University of Kyiv of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to the complex analysis of river ecosystems surface water quality and establishment of their ecological condition. For the first time, long-term diagnostic monitoring of surface water quality was performed using biological indication and biological testing methods. The dissertation includes surface water quality assessment performed by studying benthic macroinvertebrate communities; carried out in conjunction with establishing the bottom sediments contamination by biological testing on plant and animal test organisms. The following widely used biotic indices were calculated: the Trent Biotic Index, the Belgian Biotic Index and the Biological Monitoring Working Party

Index. To assess the level of organic pollution, the Goodnight-Whitley and the Zelinka-Marvan saprobity indices were calculated. The species diversity on benthic invertebrates was assessed by the Shannon index, the similarity of species composition was assessed by the Jacquard index with further cluster analysis. To estimate the bottom sediments pollution level biological testing with the following test organisms was performed: *Lactuca sativa* L., *Allium cepa* L. and *Daphnia magna* Strauss. The study was conducted for four model river ecosystems - Danube, Uday, Vorskla and Ros` rivers.

The work represents result of fourteen year study. The dissertation is based on the material including 445 samples of benthic macroinvertebrates and 240 samples of bottom sediments taken during 2007-2019 at 22 observation stations. The total number of macrozoobenthos species identified during the study is 126. For the Danube River 89 species of benthic macroinvertebrates were registered with the total abundance from 16,600 to 38,000 specimens per square meter. For the Uday River 58 species of benthic macroinvertebrates were registered with the total abundance from 7330 to 13745 specimens per square meter. For the Vorskla River 26 species of benthic macroinvertebrates were registered with the total abundance from 29 to 70 specimens per square meter. For the Ros` River 22 species of benthic macroinvertebrates were registered with the total abundance from 13 to 266 specimens per square meter.

Surface water quality assessment performed by biotic indicators of benthic macroinvertebrate communities indicates the predominance of "good" quality class among all studied river ecosystems. Estimation of the bottom sediments pollution level performed by biological testing on plant and animal test organisms indicates the predominance of "low" pollution level among all studied river ecosystems.

It was shown for the first time that integrated using of surface water quality biological indication and bottom sediment pollution level biological testing is a promising area of modern environmental monitoring. Long-term gradual changes in surface water quality are registered with the help of biological indication by benthic macroinvertebrate communities on the example of Danube and Uday rivers. On the other hand short-term fluctuations in pollution level of water ecosystems are registered with the help of bottom sediment toxicity biological testing on plant and animal test organisms.

The suitability of the established reference values from the Udai River benthic macroinvertebrate communities for determining the ecological state of other rivers of Ukraine was shown. Results of the dissertation can be used to find solution of the reference conditions determining problem for water bodies. This task is a necessary step for the implementation of surface waters monitoring Ukraine state programs.

Keywords: *ecological monitoring, biological diversity, benthic macroinvertebrates, biological indication of water quality, biological testing, ecological state, dynamics of quality indicators.*