

АНОТАЦІЯ

Ковальова І.В. Екологічні наслідки порушень циклу Нітрогену в різних типах гідроекосистем. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 – Екологія в галузі знань 10 – Природничі науки. Рівненський державний гуманітарний університет, Рівне, 2025.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню прояву екологічних наслідків для фітопланктону внаслідок порушення циклу Нітрогену у різних типах гідроекосистем: зміненій (р. Стубелка), істотно зміненій (Хрінницьке вдсх.), природній (оз. Засвітське) та штучній (водойма Морозівського кар'єру).

Порушення циклу Нітрогену найбільш виражено проявляється перевищенням допустимих значень вмісту нітрогенвмісних сполук у воді, погіршенням її якості, зміщенням рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітрати, що зумовлює різноманітні екологічні наслідки для гідроекосистем. Дуже чутливою до таких змін у воді є автотрофна ланка, а саме фітопланктон.

Мета роботи – встановити основні екологічні наслідки, що виникають у різних типах гідроекосистем внаслідок порушення циклу Нітрогену.

Об'єкт дослідження – процеси порушення циклу Нітрогену в різних типах гідроекосистем (змінена – річка, істотно змінена – водосховище, природна – озеро та штучна – водойма кар'єру) та екологічні наслідки для фітопланктону.

Предмет дослідження – гідрохімічні показники (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , рН, Т, БСК₅, ХСК, SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^- , Р, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+); стехеометричні відношення та кореляційні залежності елементів, що відображають формування циклу Нітрогену та зміщення рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітрати; екологічні ознаки розвитку фітопланктонних угруповань (видове багатство, чисельність, біомаса, сапробність, індекс Шеннона).

Дослідженнями виявлено, що в різних типах гідроекосистем переважаючою сполукою Нітрогену є нітроген амонійний. Перевищення ГДК нітрогену амонійного характерно для зміненої гідроекосистеми (у 1,2–4,4 рази), істотно

зміненої (у 1,2–4,2 рази), штучної (у 1,6 рази) та природної (у 1,5 рази). Встановлено перевищення ГДК нітритів у змінній гідроекосистемі (у 2,3 рази), істотно змінній (у 1,1–1,8 рази) та природній (у 3,9–24,6 рази). Порівняння вмісту сполук Нітрогену в гідроекосистемах різних типів описується наступним чином: NH_4^+ – змінена > істотно змінена > штучна > природна; NO_2^- – природна > змінена > істотно змінена > штучна; NO_3^- – істотно змінена > змінена > штучна > природна.

Якість води за вмістом NH_4^+ змінюється від «помірно забруднена» до «забруднена» у змінній та істотно змінній гідроекосистемах та від «чиста» до «помірно забруднена» у природній та штучній. За вмістом NO_2^- якість води варіює від «помірно забруднена» до «забруднена» у змінній гідроекосистемі, від «забруднена» до «сильно забруднена» – у природній, від «чиста» до «помірно забруднена» – у штучній, «помірно забруднена» – у істотно змінній. Якість води за вмістом NO_3^- змінюється від «чиста» до «забруднена» у змінній гідроекосистемі, від «помірно забруднена» до «сильно забруднена» – у істотно змінній, від «дуже чиста» до «чиста» – у природній, від «чиста» до «помірно забруднена» – у штучній.

За сумарним вмістом сполук Нітрогену ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) гідроекосистеми розподіляються наступним чином (мг/дм³): істотно змінена (45,33) > змінена (32,59) > штучна (13,08) > природна (10,36). Найбільш виражено зміщення рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітрати в бік нітратів у воді зміненої, природної та штучної гідроекосистем. Відповідно переважання процесу нітрифікації ($\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$) свідчить про додаткове надходження сполук Нітрогену з дифузних джерел. У воді істотно зміненої гідроекосистеми виявлено зміщення рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітрати в бік амонію, що показує більше вираження процесу амоніфікації ($\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$) та інтенсивне надходження сполук Нітрогену з точкових джерел.

Кореляційні залежності підтверджують прямий та опосередкований вплив гідрохімічних показників водного середовища на цикл Нітрогену в різних типах гідроекосистем. Тісний зв'язок виявлено: між вмістом SO_4^{2-} та NO_3^- у істотно

зміненій гідроекосистемі ($r = 0,76$, $p < 0,01$), а з NO_2^- у природній ($r = 0,98$, $p < 0,01$); між ХСК та NO_2^- у штучній гідроекосистемі ($r = 0,66$, $p < 0,05$); між вмістом Na^+ та NH_4^+ у змінній ($r = -0,70$, $p < 0,01$), а з NO_2^- у природній гідроекосистемі ($r = 0,94$, $p < 0,01$).

З'ясовано, що помітним екологічним наслідком порушення циклу Нітрогену у гідроекосистемах, є зміни структурно-функціональних показників фітопланктону. Ідентифіковано 114 видів (115 внутрішньовидових таксонів) фітопланктону у істотно змінній гідроекосистемі, 109 видів (111 в.в.т.) у змінній, 87 видів (88 в.в.т.) у штучній та 61 вид (62 в.в.т.) у природній. Тісний зв'язок виявлено між кількістю видів та вмістом NO_3^- ($r = -0,70$, $p < 0,05$) у штучній гідроекосистемі. Середню кореляцію встановлено: між кількістю видів та вмістом NO_2^- ($r = 0,50$, $r = -0,53$ і $r = -0,69$, $p < 0,05$) у змінній, істотно змінній та природній гідроекосистемах, а з вмістом NH_4^+ ($r = 0,64$, $p < 0,05$) у істотно змінній; між кількістю видів та вмістом NO_3^- ($r = 0,60$, $p < 0,05$) у природній гідроекосистемі.

Подібність видового складу фітопланктону згідно коефіцієнту Серенсена (K_s) змінюється від 0,43 до 0,58. Найменш подібний видовий склад притаманний для зміненої та природної гідроекосистем (річка ↔ озеро – 0,43), а найбільш – для зміненої та істотно зміненої гідроекосистем (річка ↔ водосховища – 0,58).

Чисельність фітопланктону у різних типах гідроекосистем змінюється наступним чином: штучна > істотно змінена > змінена > природна. Виявлено, що розвиток фітопланктону в досліджених гідроекосистемах регулюється змінами концентрації сполук Нітрогену у воді. Тісний зв'язок встановлено між чисельністю фітопланктону та нітритами ($r = 0,99$, $p < 0,01$) у істотно змінній гідроекосистемі, а середній – з нітратами ($r = 0,66$, $p < 0,05$) у природній. Суттєвий вплив на чисельність *Cyanobacteria* здійснюють нітрити ($r = 0,97$, $p < 0,01$) у істотно змінній гідроекосистемі, а на чисельність *Bacillariophyta* нітрати ($r = 0,92$, $p < 0,05$) у природній та нітрити ($r = 0,89$, $p < 0,05$) у змінній і штучній ($r = -0,81$, $p < 0,05$). Біомаса фітопланктону розподіляється таким чином: істотно змінена > змінена > штучна > природна. Тісний зв'язок між біомасою фітопланктону та вмістом амонію встановлено у істотно змінній гідроекосистемі ($r = 0,85$, $p < 0,05$), а з

нітратами у штучній ($r= 0,86, p<0,05$). Суттєвий вплив на біомасу *Bacillariophyta* здійснюють нітрити ($r= 0,76, p<0,05$ і $r= -0,70, p<0,05$) у змінений та штучній гідроекосистемах, амоній ($r= 0,81, p<0,05$) у істотно змінений, нітрати ($r= 0,88, p<0,05$) у природній. На біомасу *Cyanobacteria* найбільший вплив здійснюють нітрити ($r= 0,98, p<0,01$) у змінений гідроекосистемі та нітрати ($r= 0,96, p<0,05$) у природній.

Встановлено, що найвище інформаційне різноманіття фітопланктону за чисельністю та біомасою характерно для зміненої гідроекосистеми, а найменше – для штучної. Найбільш значиму залежність виявлено між індексом Шеннона за біомасою та концентрацією амонію у змінений та істотно змінений гідроекосистемах і нітратами у штучній. У змінений гідроекосистемі на індекс видового різноманіття Шеннона найбільше впливають нітрити, у природній – нітрати, у штучній – амоній. Найвищий індекс сапробності виявлено у змінений гідроекосистемі, а найнижчий – у штучній. На індекс сапробності за фітопланктоном у змінений, природній та штучній гідроекосистемах суттєво впливає вміст амонію, а у істотно змінений – концентрація нітритів та нітратів. За індексом сапробності вода у змінений та штучній гідроекосистемах відповідає II–III класам якості (чиста, помірно забруднена), у істотно змінений – III класу (помірно забруднена), а у природній – III–VI класам якості (помірно забруднена, забруднена).

Показано, що за середніми значеннями відношення N : P розвиток фітопланктону у змінений та істотно змінений гідроекосистемах інтенсивніше регулюється вмістом Фосфору, а у природній та штучній – концентрацією Нітрогену.

Встановлено пряму та обернену залежність між біомасою видів-домінантів фітопланктону та біогенними сполуками і елементами. Ідентифіковано спільні види-домінанти для гідроекосистем, які викликають «цвітіння» води: природна та істотно змінена – *Cuspidothrix issatschenkoi*; природна та штучна – *Oocystis submarina*; змінена та штучна – *Ceratium hirundinella*, *Microcystis aeruginosa*; природна, змінена та істотно змінена – *Ulnaria ulna*; змінена, природна та штучна

– *Cyclotella* sp. Крім того, ідентифіковано спільні для всіх чотирьох типів гідроекосистем два види-домінанти – *Snowella lacustris* та *Microcystis pulverea*. Виявлено тісну залежність: між біомасою *S. lacustris* та вмістом амонію ($R^2 = 0,97$), фосфатів ($R^2 = 0,90$), фосфору ($R^2 = 0,79$) та відношенням N : P ($R^2 = 0,83$) у змінній гідроекосистемі; між біомасою *S. lacustris* та вмістом нітратів ($R^2 = 1$), фосфатів ($R^2 = 1$), відношенням N : P ($R^2 = 1$) і фосфору ($R^2 = 1$) у істотно змінній гідроекосистемі; між біомасою *S. lacustris* та вмістом амонію ($R^2 = 1$), нітритів ($R^2 = 0,74$), нітратів ($R^2 = 0,91$), фосфатів ($R^2 = 0,53$) та фосфору ($R^2 = 0,61$) у природній гідроекосистемі; між біомасою *S. lacustris* та вмістом нітритів ($R^2 = 0,82$), фосфатів ($R^2 = 0,95$), фосфору ($R^2 = 0,74$) і відношенням N : P ($R^2 = 0,76$) у штучній гідроекосистемі; між біомасою *M. pulverea* та вмістом амонію ($R^2 = 1$), нітритів ($R^2 = 0,96$), нітратів, фосфатів, фосфору і відношенням N : P ($R^2 = 1$) у штучній гідроекосистемі.

У всіх типах гідроекосистем індикатори типу живлення та відношення до кількості нітрогенвмісних органічних сполук (НОС) згідно класифікації Г. Ван Дама переважно представлені видами-автотрофами, які витримують підвищені концентрації НОС: змінена (65%) > істотно змінена (45%) > штучна (41%) > природна (36%). За рівнем трофності найбільша кількість мезоевтрофних видів: істотно змінена (44%) > штучна (43%) > змінена (41%) > природна (25%). Евтрофні види представлені наступним чином: природна (20%) > змінена (17%) > істотно змінена (16%) > штучна (14%).

Види-індикатори органічного забруднення води (за системою Ватанабе) переважно представлені еврисапробами, а за системою Пантле-Бук (в модифікації Сладечека) – бета-мезосапробіонтами, що свідчить про помірне забруднення води. Відповідно за рівнем органічного забруднення вода усіх досліджених гідроекосистем переважно характеризується III класом якості (помірно забруднена).

Індекс самоочищення (*WESI*) змінюється від 0,8 до 2,0. У змінній (1,3), природній (2,0) та штучній (2,0) гідроекосистемах завдяки фотосинтетичній активності фітопланктону процес самоочищення ефективний, але у істотно

зміненій (0,8) – порушений, внаслідок перевищення вмісту біогенних сполук у воді.

У результаті комплексного аналізу вмісту гідрохімічних, біологічних, індикаційних та стехіометричних показників досліджуваних гідроекосистем виявлено, що формування циклу Нітрогену та зміни рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітрати відбувається з порушеннями у зміненій та істотно зміненій гідроекосистемах. У штучній та природній гідроекосистемах ці процеси зазнають менших порушень.

Враховуючи отримані результати дослідження надано рекомендації для різного типу гідроекосистем з метою регулювання порушення циклу Нітрогену, зміщення рівноваги в системі амоній ↔ нітрити ↔ нітрати та запобігання негативним екологічним наслідкам для фітопланктону. Зокрема, запропоновано: оптимізувати систему управління водними ресурсами басейну зміненої гідроекосистеми; контролювати надходження до істотно зміненої гідроекосистеми господарсько-побутових стічних вод, ведення сільського господарства, зміну поживних режимів водосховища для збільшення рибної продукції; регулювати рекреаційне навантаження на природну гідроекосистему; збільшити кількість зелених насаджень поблизу штучної гідроекосистеми.

Ключові слова: гідроекосистема, амоній, нітрити, нітрати, біомаса, чисельність, видове багатство, індекс Шеннона, сапробність, домінантний комплекс, біоіндикація

ANNOTATION

Kovalova I.V. Ecological consequences of violations of the Nitrogen cycle in different types of hydroecosystems. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 101 – Ecology in the field of knowledge 10 – Natural sciences. Rivne State University of Humanities, Rivne, 2025.

The dissertation is devoted to the study of the manifestation of ecological consequences for phytoplankton due to the violation of the Nitrogen cycle in various

types of hydroecosystems: altered (Stubelka River), significantly altered (Khrynnitsky Reservoir), natural (Lake Zasvitske) and artificial (reservoir of the Morozivsky quarry).

Violation of the Nitrogen cycle is most clearly manifested by exceeding the permissible values of the content of nitrogen-containing compounds in water, deterioration of its quality, a shift in the balance in the ammonium ↔ nitrite ↔ nitrate system, which causes various ecological consequences for hydroecosystems. The autotrophic link, specifically phytoplankton, is very sensitive to such changes in the water.

The purpose of the work is to establish the main ecological consequences that arise in different types of hydroecosystems as a result of disruption of the Nitrogen cycle.

The object of research is the processes of nitrogen cycle disruption in different types of hydroecosystems (altered - river, significantly altered - reservoir, natural - lake and artificial - quarry reservoir) and ecological consequences for phytoplankton.

The subject of the study is hydrochemical indicators (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , pH, T, BSK₅, HSC, SO_4^{2-} , Cl^- , PO_4^- , P, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+); stoichiometric ratios and correlations of elements reflecting the formation of the Nitrogen cycle and the shift of equilibrium in the system ammonium ↔ nitrite ↔ nitrate; ecological signs of the development of phytoplankton communities (species richness, abundance, biomass, saprobity, Shannon index).

Studies have shown that in various types of hydroecosystems, the predominant nitrogen compound is ammonium nitrogen. Exceeding the MPC of ammonium nitrogen is typical for the changed hydroecosystem (by 1.2–4.4 times), significantly changed (by 1.0–4.2 times), artificial (by 1.6 times) and natural (by 1.5 times). Exceeding the MPC of nitrites was established in the altered hydroecosystem (by 2.3 times), significantly altered (by 1.1–1.8 times) and natural (3.9–24.6 times). Comparison of the content of Nitrogen compounds in hydroecosystems of different types is described as follows: NH_4^+ – changed > significantly changed > artificial > natural; NO_2^- – natural > changed > significantly changed > artificial; NO_3^- – significantly modified > modified > artificial > natural.

Water quality by NH_4^+ content varies from «moderately polluted» to «polluted» in altered and significantly altered hydroecosystems and from «clean» to «moderately polluted» in natural and artificial. According to the NO_2^- content, water quality varies from «moderately polluted to «polluted» in a modified hydroecosystem, «moderately polluted» in a significantly changed one, from «polluted» to «heavily polluted» in a natural one, from «clean» to «moderately polluted» – in significantly changed. The quality of water according to the NO_3^- content varies from «clean» to «polluted» in the altered hydroecosystem, from «moderately polluted» to «heavily polluted» in the significantly altered one, from «very clean» to «clean» in the natural one, from «clean» to «moderately polluted» – in artificial.

By total content of Nitrogen compounds ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$), hydroecosystems are distributed as follows (mg/dm^3): significantly changed (45.33) > changed (32.59) > artificial (13.08) > natural (10.36). The most pronounced shift in the balance in the ammonium ↔ nitrite ↔ nitrate system is towards nitrates in the water of modified, natural and artificial hydroecosystems. Accordingly, the predominance of the nitrification process ($\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$) indicates an additional supply of nitrogen compounds from diffuse sources. In the water of a significantly changed hydroecosystem, a shift in the balance in the ammonium ↔ nitrite ↔ nitrate system was found in the direction of ammonium, which shows a greater expression of the ammonification process ($\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$) and an intensive supply of nitrogen compounds from point sources.

Correlations confirm the direct and indirect influence of hydrochemical parameters of the aquatic environment on the Nitrogen cycle in different types of hydroecosystems. A close relationship was found: between the content of SO_4^{2-} and NO_3^- in a significantly modified hydroecosystem ($r = 0.76$, $p < 0.01$), and with NO_2^- in a natural one ($r = 0.98$, $p < 0.01$); between CSC and NO_2^- in an artificial hydroecosystem ($r = 0.66$, $p < 0.05$); between the content of Na^+ and NH_4^+ in a modified ($r = -0.70$, $p < 0.01$), and with NO_2^- in a natural hydroecosystem ($r = 0.94$, $p < 0.01$).

It was found that a noticeable ecological consequence of the disruption of the Nitrogen cycle in hydroecosystems is changes in the structural and functional indicators

of phytoplankton. 114 species (115 intraspecific taxa) of phytoplankton were identified in a significantly modified hydroecosystem, 109 species (111 taxa) in a modified one, 87 species (88 taxa) in an artificial one, and 61 species (62 taxa) in a natural one. A close relationship was found between the number of species and the content of NO_3^- ($r = -0.70$, $p < 0.05$) in an artificial hydroecosystem. The average correlation was established: between the number of species and the content of NO_2^- ($r = 0.50$, $r = -0.53$ and $r = -0.69$, $p < 0.05$) in the modified, significantly modified and natural hydroecosystems, and with the content of NH_4^+ ($r = 0.64$, $p < 0.05$) in the significantly modified; between the number of species and the content of NO_3^- ($r = 0.60$, $p < 0.05$) in the natural hydroecosystem.

The similarity of the species composition of phytoplankton according to the Serensen coefficient (K_S) varies from 0.43 to 0.58. The least similar species composition is characteristic of altered and natural hydroecosystems (river ↔ lake – 0.43), and the most similar to altered and significantly altered hydroecosystems (river ↔ reservoirs – 0.58).

The abundance of phytoplankton in different types of hydroecosystems changes as follows: artificial > significantly modified > modified > natural. It was found that the development of phytoplankton in the studied hydroecosystems is regulated by changes in the concentration of Nitrogen compounds in water. A close relationship was established between the abundance of phytoplankton and nitrites ($r = 0.99$, $p < 0.01$) in the significantly modified hydroecosystem, and an average relationship with nitrates ($r = 0.66$, $p < 0.05$) in the natural one. The abundance of *Cyanobacteria* is significantly influenced by nitrites ($r = 0.97$, $p < 0.01$) in the significantly modified hydroecosystem, and the abundance of *Bacillariophyta* is significantly influenced by nitrates ($r = 0.92$, $p < 0.05$) in the natural and nitrites ($r = 0.89$, $p < 0.05$) in the modified and artificial ($r = -0.81$, $p < 0.05$). The biomass of phytoplankton is distributed as follows: significantly modified > modified > artificial > natural. A close relationship between phytoplankton biomass and ammonium content was established in the significantly modified hydroecosystem ($r = 0.85$, $p < 0.05$), and with nitrates in the artificial ($r = 0.86$, $p < 0.05$). The biomass of *Bacillariophyta* is significantly affected by nitrites ($r = 0.76$, $p < 0.05$ and

$r = -0.70$, $p < 0.05$) in the modified and artificial hydroecosystems, ammonium ($r = 0.81$, $p < 0.05$) in the significantly modified one, and nitrates ($r = 0.88$, $p < 0.05$) in the natural one. The biomass of *Cyanobacteria* is most affected by nitrites ($r = 0.98$, $p < 0.01$) in the modified hydroecosystem and nitrates ($r = 0.96$, $p < 0.05$) in the natural one.

It was found that the highest information diversity of phytoplankton in terms of abundance and biomass is characteristic of the modified hydroecosystem, and the lowest - for the artificial one. The most significant dependence was found between the Shannon index in terms of biomass and ammonium concentration in the modified and significantly modified hydroecosystems and nitrates in the artificial one. In the modified hydroecosystem, the Shannon index of species diversity is most influenced by nitrites, in the natural one – nitrates, in the artificial one – ammonium. The highest saprobity index was found in the modified hydroecosystem, and the lowest – in the artificial one. The saprobity index for phytoplankton in modified, natural and artificial hydroecosystems is significantly affected by the ammonium content, and in significantly modified – by the concentration of nitrites and nitrates. According to the saprobity index, water in modified and artificial hydroecosystems corresponds to II–III quality classes (clean, moderately polluted), in significantly modified – to III class (moderately polluted), and in natural – to III–VI quality classes (moderately polluted, polluted).

It is shown that according to the average values of the N : P ratio, the development of phytoplankton in changed and significantly changed hydroecosystems is more intensively regulated by the content of Phosphorus, and in natural and artificial ones by the concentration of Nitrogen.

A direct and inverse relationship between the biomass of dominant phytoplankton species and biogenic compounds and elements was established. Common dominant species for hydroecosystems that cause water «blooming» have been identified: natural and significantly altered – *Cuspidothrix issatschenkoi*; natural and artificial – *Oocystis submarina*; modified and artificial – *Ceratium hirundinella*, *Microcystis aeruginosa*; natural, altered and significantly altered – *Ulnaria ulna*; modified, natural and artificial – *Cyclotella sp.* In addition, two dominant species common to all four types of

hydroecosystems were identified – *Snowella lacustris* and *Microcystis pulverea*. A close relationship was revealed: between the biomass of *S. lacustris* and the content of ammonium ($R^2 = 0.97$), phosphates ($R^2 = 0.90$), phosphorus ($R^2 = 0.79$) and the N : P ratio ($R^2 = 0.83$) in changed hydroecosystem; between the biomass of *S. lacustris* and the content of nitrates ($R^2 = 1$), phosphates ($R^2 = 1$), the ratio of N : P ($R^2 = 1$) and phosphorus ($R^2 = 1$) in a significantly changed hydroecosystem; between the biomass of *S. lacustris* and the content of ammonium ($R^2 = 1$), nitrite ($R^2 = 0.74$), nitrate ($R^2 = 0.91$), phosphate ($R^2 = 0.53$) and phosphorus ($R^2 = 0.61$) in natural hydroecosystem; between the biomass of *S. lacustris* and the content of nitrites ($R^2 = 0.82$), phosphates ($R^2 = 0.95$), phosphorus ($R^2 = 0.74$) and the N : P ratio ($R^2 = 0.76$) in an artificial hydroecosystem; between the biomass of *M. pulverea* and the content of ammonium ($R^2 = 1$), nitrites ($R^2 = 0.96$), nitrates, phosphates, phosphorus and the N : P ratio ($R^2 = 1$) in an artificial hydroecosystem.

In all types of hydroecosystems, indicators of the type of nutrition and the relationship to the amount of nitrogen-containing organic compounds (NOCs) according to the classification of G. Van Dam are mainly represented by autotrophic species that withstand elevated NOC concentrations: modified (65%) > significantly modified (45%) > artificial (41%) > natural (36%). In terms of trophic level, the largest number of mesoeutrophic species is: significantly modified (44%) > artificial (43%) > modified (41%) > natural (25%). Eutrophic species are represented as follows: natural (20%) > modified (17%) > significantly modified (16%) > artificial (14%).

The indicator species of organic water pollution (according to the Watanabe system) are mainly represented by euryzaprobes, and according to the Pantle-Buk system (modified by Sladeczek) - by beta-mesosaprobionts, which indicates moderate water pollution. Accordingly, in terms of the level of organic pollution, the water of all studied hydroecosystems is mainly characterized by the III quality class (moderately polluted).

The self-cleaning index (WESI) varies from 0.8 to 2.0. In modified (1.3), natural (2.0) and artificial (2.0) hydroecosystems, due to the photosynthetic activity of phytoplankton, the self-cleaning process is effective, but in significantly modified (0.8)

it is impaired due to the excess content of biogenic compounds in the water.

The most effective regulation of the Nitrogen cycle and the natural ratio of NO_3^- , NO_2^- and NH_4^+ was found in artificial and natural hydroecosystems, and less effective in altered and significantly altered ones.

As a result of a comprehensive analysis of the content of hydrochemical, biological, indicator and stoichiometric indicators of the studied hydroecosystems, it was found that the formation of the Nitrogen cycle and changes in the equilibrium in the system ammonium \leftrightarrow nitrite \leftrightarrow nitrate occurs with disturbances in modified and significantly modified hydroecosystems. In artificial and natural hydroecosystems, these processes are subject to smaller disturbances.

Taking into consideration the results of the study, recommendations for different types of hydroecosystems are provided in order to regulate the violation of the Nitrogen cycle, shift the equilibrium in the ammonium \leftrightarrow nitrite \leftrightarrow nitrate system and prevent negative environmental consequences for phytoplankton. In particular, it was proposed to: optimize the water resources management system of the basin of the modified hydroecosystem; control the flow of domestic wastewater into the significantly modified hydroecosystem, agricultural activities, change the nutrient regimes of the reservoir to increase marketable fish production; regulate the recreational load on the natural hydroecosystem; increase the number of green spaces near the artificial hydroecosystem.

Key words: hydroecosystem, ammonium, nitrites, nitrates, biomass, abundance, species richness, Shannon index, saprobity, dominant complex, bioindication

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ
НАУКОВІ ПРАЦІ, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНО ОСНОВНІ НАУКОВІ
РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ**

Статті у міжнародних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних

Web of Science Core Collection та/або Scopus

1. Sukhodolska I.L., Basaraba I.V. Seasonal Dynamics of Algal Flora of Lake Zaslavtske (Rivne Region, Ukraine). *International Journal on Algae*. Vol. 25, Issue 4, 2023. PP. 353–364. URL: <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v25.i4.40> (Scopus) p – ISSN: 1521-9429, e – ISSN: 1940-4328 (Особистий внесок 50%: відбір та обробка проб, участь у написанні і оформленні статті).

Статті в наукових фахових виданнях України

2. Суходольська І.Л., Басараба І.В. Основні джерела надходження сполук Нітрогену до водних екосистем. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. Київ, 2022. Вип. №43. С. 65–69. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.10> (Особистий внесок 70%: аналіз теоретичного матеріалу, участь у написанні і оформленні статті).

3. Суходольська І.Л., Басараба І.В. Вплив сполук Нітрогену на формування угруповань фітопланктону озера Засвітське. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. Київ, 2023. Вип. №2(47). С. 73–82. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.2-47.12> (Особистий внесок 50%: відбір та обробка проб, статистична обробка отриманих результатів, участь у написанні і оформленні статті).

4. Ковальова І.В. Зміни хімічного складу води у гідроекосистемах різного типу. *Acta Carpathica*. 2023. №1. С. 28–33. URL: <https://doi.org/10.32782/2450-8640.2023.1.3>

5. Басараба І.В., Суходольська І.Л. Вміст сполук Нітрогену у водних екосистемах різного типу. *Біологія та екологія*. 2023. Том 9. №1. С. 75–84. URL: <https://doi.org/10.33989/2023.9.1.290185> (Особистий внесок 80% : відбір та обробка проб, участь у написанні і оформленні статті).

6. Суходольська І.Л., Ковальова І.В. Вміст сполук Нітрогену у воді річки

Стубелка та його вплив на фітопланктон. *Науково-практичний журнал «Екологічні науки»*. Київ, 2023. Вип. 6(51). С.50–57. URL: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.8> (Особистий внесок 60%: відбір та обробка проб, участь у написанні і оформленні статті).

7. Ковальова І.В. Сезонна динаміка вмісту нітрогенвмісних сполук у воді річки Стубелка. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2023. №4 (104). С.74–85. URL: <https://doi.org/10.31713/vs420236>

8. Ковальова І.В., Суходольська І.Л. Оцінка якості води річки Стубелка за показниками фітопланктону. *Український журнал природничих наук*. 2023. №6. С.125–135. URL: <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.6.2023.13> (Особистий внесок 60%: відбір та обробка проб, участь у написанні і оформленні статті).

Опубліковані праці апробаційного характеру

9. Суходольська І.Л., Басараба І.В., Батьковець Я.І. Роль вищої водної рослинності у формуванні екологічного стану гідроекосистем. Регіональні геоекологічні проблеми в умовах сталого розвитку. *Збірник наукових праць IV Міжнар. наук.-практ. конференції* (м. Рівне, 22–24 вересня 2020 р.) / Голова редкол. проф. Д.В. Лико [та ін.]. Рівне: видавець О. Зень, 2020. С.160–163. URL: https://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/2020/zb_20.pdf

10. Басараба І.В., Суходольська І.Л. Вміст сполук Нітрогену у воді річки Хомора. *Інноваційний розвиток науки та освіти: глобальний та національний виміри змін: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції* (Полтава, 9 вересня 2021 р.). Полтава: ЦФЕНД, 2021. С. 61–62. URL: https://drive.google.com/uc?export=download&confirm=no_antivirus&id=10ipOVpX2nwjMНk2pBNTlgVzQXoanghrs

11. Басараба І.В. Вплив антропогенного навантаження на басейни малих річок України. *Topical issues of modern science, society and education. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”* (Kharkiv, January 29–31, 2022). Kharkiv, 2022. С.126–131. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/02/TOPICAL-ISSUES-OF-MODERN->

12. Басараба І.В., Суходольська І.Л. Сезонні зміни хімічного складу води річки Хомора. *Проблеми та перспективи реалізації та впровадження міждисциплінарних наукових досягнень: матеріали III Міжнародної наукової конференції* (м. Луцьк, 3 червня, 2022 р.) / Міжнародний центр наукових досліджень. Вінниця: Європейська наукова платформа, 2022. С.159–162. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/mcnd/issue/view/03.06.2022/752>

13. Суходольська І.Л., Мазур А.І., Басараба І.В. Використання фітопланктону та вищих водних рослин при оцінюванні стану водних екосистем. *The XXII International Scientific and Practical Conference «Multidisciplinary academic research, innovation and results»* (Prague, Czech Republic, June 07–10, 2022). Czech Republic, 2022. P. 83–85. URL: <https://isg-konf.com/wp-content/uploads/2022/06/Multidisciplinary-academic-research-innovation-and-results.pdf>

14. Суходольська І.Л., Ковальова І.В., Масовець Б.П. Структура угруповань фітопланктону та якість води річки Стубелка. *Міжнародна наукова конференція за участю молодих науковців «Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування»* (м. Одеса, 11–12 квітня 2024 р.). Одеса, 2024. С.197–201. URL: https://drive.google.com/file/d/171PCiSW-vUGD3W1N1Dh-0NzGFC56y_2/view

15. Суходольська І.Л., Ковальова І.В., Масовець Б.П. Оцінка якості води озера Засвітське за видами-індикаторами фітопланктону. *VII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні проблеми біології, екології та хімії»* (м. Запоріжжя, 25–27 квітня 2024 р.). Запоріжжя, 2024. С.250–252. URL: <http://surl.li/oqharn>

16. Ковальова І.В., Масовець Б.П., Суходольська І.Л. Структура фітопланктону та якість води Хрінницького водосховища. *XVII Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти та молодих учених «Наука, освіта, суспільство очима молодих»* (м. Рівне, 17 травня 2024 р.). Рівне, 2024. С.85–87. URL: <https://kegt.rshu.edu.ua/images/2024/nosom2024.pdf>

17. Ковальова І., Масовець Б., Суходольська І. Екологічні наслідки зміни вмісту сполук Нітрогену для фітопланктону штучної гідроекосистеми. *V Міжнародна науково-практична конференції «Стан природних ресурсів, перспективи їх збереження та відновлення»* (м. Дрогобич, 17–18 жовтня 2024 р.). Дрогобич, 2024. С. 73–77. URL: <https://drive.google.com/file/d/1B--dGphyzyH1ayN-Nn8OLYzqUDG8nQiX/view>

ОПУБЛІКОВАНІ ПРАЦІ, ЯКІ ДОДАТКОВО ВІДОБРАЖАЮТЬ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

18. Sukhodolska I., Krupko H., Portukhai O., Basaraba I., Kostiuk K. Heavy metals concentration in the water of human-made objects. *Environmental Problems*. 2022. 7(4). P. 177–187. URL: <https://doi.org/10.23939/ep2022.04.177> (Особистий внесок 20%: аналіз матеріалу, статистична обробка, підготовка статті до друку).

19. Крупко Г.Д., Суходольська І.Л., Лико Д.В., Басараба І.В. Оцінка вмісту важких металів у підземних водах сільської місцевості Рівненщини. *Агроекологічний журнал*. 2022. №4. С. 93–104. URL: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2022.273255> (Особистий внесок 25%: аналіз матеріалу, статистична обробка, підготовка статті до друку).