

ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА НАДХОДЖЕННЯ СПОЛУК НІТРОГЕНУ ДО ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Суходольська І.Л., Басараба І.В.

Рівненський державний гуманітарний університет
вул. Ст. Бандери, 12, 33028, м. Рівне
iryna.sukhodolska@rshu.edu.ua; ilona.basaraba@rshu.edu.ua

У статті розглянуто основні джерела забруднення водойм сполуками Нітрогену. Охарактеризовано точкові та дифузні джерела та підкреслено роль внутрішньоводоймних процесів у формуванні якості води та стану водних екосистем. Точкові джерела (стічні води господарсько-побутових, промислових підприємств та тваринницьких комплексів) мають постійну локалізацію, більш менш постійні кількісні параметри та не залежать від зовнішніх умов. На жаль, недостатнє вилучення нітрогенвмісних сполук існуючими системами очищення стічних вод призводить до їх постійного надходження у водойми. За умов потрапляння з точкових джерел у водоймах переважає Нітроген амонійний. Дифузні джерела (вимивання з водозбірних площ та сільськогосподарських угідь) регулюються властивостями підстильної поверхні та ґрунтів, гідрологічними, кліматичними умовами та рівнем антропогенного навантаження. Інтенсивне використання сільськогосподарських земель зумовлює постійне внесення нітрогенвмісних добрив для отримання високих врожаїв культур. Частина внесених добрив вимивається у водойми та погіршує стан екосистеми. За умов надходження з дифузних джерел у водоймі збільшується вміст нітратів, оскільки вони швидко розчиняються і добре вимиваються з ґрунтів. Швидкість вимивання сполук Нітрогену з сільськогосподарських угідь визначається водним режимом, коефіцієнтами фільтрації верхнього та нижнього шарів ґрунту та значенням балансу Нітрогену. Території вважають вразливими до забруднення, якщо перевищення сумарного вмісту сполук Нітрогену ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) становить 50 мл/дм³ (11,3 мл N/дм³) та прослідковуються ознаки евтрофікації. Водночас надходження сполук Нітрогену до водойм створює сприятливі умови для інтенсивного розвитку гідробіонтів. У процесі своєї життєдіяльності вони можуть як поглинати, так і виділяти нітрогенвмісні сполуки. Саме тому, високі концентрації сполук Нітрогену найчастіше спостерігаються після завершення вегетаційного періоду та відмирання гідробіонтів. *Ключові слова:* нітрогенвмісні сполуки, дифузні джерела, точкові джерела, гідробіонти, евтрофікація.

Main sources of the Nitrogen compounds restocking to water ecosystems. Sukhodolska I., Basaraba I.

The study deals with the main sources of waters pollution with the nitrogen compounds. The author characterizes point and diffuses sources and highlights the role of internal water resources processes in water quality formation and water ecosystems state. Point sources (sewage of household and industrial enterprises, and livestock facilities) have permanent localization, more or less permanent quantitative parameters and do not depend on external conditions. Unfortunately, insufficient extraction of the nitrogen-containing compounds with the existing systems of cleaning systems of sewage causes their permanent restocking to the waters. Under the conditions of point sources restocking the ammonium nitrogen in the waters is increasing. Diffuses sources (leaching from the watersheds and agriculture lands) are regulated with the characteristics of underlying surfaces and soils, hydrological, climate conditions and the level of human induced pressures. Intensive use of agriculture lands causes permanent nitrogen-containing fertilization to get high crops yields. Some part of fertilization is leached to the reservoir and makes ecosystem status even worse. Under the conditions of restocking from diffuses sources the nitrogen content is increasing as they dissolve fast and are well-launched from the soils. The speed of the nitrogen compounds leaching from the agriculture lands is defined with water regime, filtration coefficients of the top layer of soil and the bottom layer of soil and with the meaning of nitrogen balance. Territories are considered as the impressionable to the pollution if the excess of the total content of the nitrogen compounds ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) is 50 ml/dm³ (11,3 ml N/dm³) and the features of eutrophication are noticed. At the same time the nitrogen compounds restocking to the reservoirs forms favorable conditions for intensive development of aquatic organisms. In the process of their vital activity they may either absorb compounds or isolate the nitrogen-containing compounds. That is why high concentrations of the nitrogen compounds are noticed in the most cases after the completion of the vegetative period and aquatic organisms atrophy. *Key words:* the nitrogen-containing compounds, diffuse sources, point sources, aquatic organisms, eutrophication.

Постановка проблеми та актуальність дослідження. Нітроген входить до складу амінокислот, білків, ферментів, нуклеїнових кислот, хлорофілу, вітамінів та багатьох інших біомолекул. У водних екосистемах Нітроген представлений органічними та неорганічними сполуками, які характеризуються різною швидкістю трансформації. Органічні сполуки є більш інертними, а неорганічні здатні швидко змінювати свою форму у середовищі внаслідок додаткового надходження з точкових та дифузних джерел, життєдіяльності гідробіонтів, їх перетво-

рення та зв'язування у мікробіологічних і біохімічних процесах за безпосередньої участі біоти. Вміст та співвідношення неорганічних сполук Нітрогену у водних екосистемах регулюється різними чинниками (O_2 , рН, температура води, забруднення металами, біота), але постійне зростання антропогенного тиску суттєво впливає на їх рівновагу [18]. Низький вміст сполук Нітрогену зумовлює порушення ультраструктури хлоропластів, зміну біосинтезу пігментів, уповільнення поглинання CO_2 та інтенсивності фотосинтезу, скорочення фаз вегетації рослин

і відповідно зниження їхньої продуктивності [14]. За оптимальних концентрацій сполуки Нітрогену, навпаки, підвищують біологічну продуктивність водних екосистем. Насамперед зростає продукція фітопланктону, фітобентосу та вищих водних рослин. Перевищення нормативних показників вмісту NO_3^- , NO_2^- та NH_4^+ приводить до погіршення якості води, зниження вмісту розчиненого кисню, підвищення токсичності для гідробіонтів, порушення процесів самоочищення та самовідновлення водойми [1]. Зрештою, високі концентрації сполук Нітрогену у водній екосистемі зумовлюють зміщення рівноваги в системі амоній-нітри-нітрати, що спричиняє зростання евтрофікації, зміни консортивних зв'язків, швидкості проходження сукцесійних процесів, посилення токсичного ефекту на біоту та відповідно трансформації структурно-функціональної організації водних екосистем. Об'єктивна інформація про джерела надходження сполук Нітрогену до водних об'єктів важлива для розробки дієвих механізмів захисту від забруднення, регулювання та підтримання оптимального екологічного стану водойми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Збільшення обсягів скиду стічних вод очисних споруд, діяльність підприємств, тваринних комплексів, зростання урбанізації, особливості ведення сільського і комунального господарства та вплив інших чинників призводять до сезонних чи постійних перевищень гранично допустимих концентрацій сполук Нітрогену у водних екосистемах [12]. Внаслідок чого виникла потреба не лише фіксувати ці перевищення, але і пояснити можливі причини їх надходження до водойми. Найчастіше аналізували надходження сполук Нітрогену з точкових джерел. Оскільки вони мають постійну локалізацію, відзначаються відносно постійними кількісними параметрами та не залежать від зовнішніх умов [12]. Вплив точкових джерел визначається за обсягом надходження стічних вод, що враховує сумарний еквівалент навантаження та мінімальний річний стік води. Розраховуючи надходження очищених стічних вод враховують ефективність їх очищення за відповідним показником [15]. Однак досягнути суттєвих змін покращення ситуації, здійснюючи усі необхідні водоохоронні заходи, не вдалося. Основна причина полягає в тому, що не було враховано дії дифузних джерел. Зрештою, цей вплив часто нівелювався через суттєву зміну їх кількісних параметрів та істотну залежність від водного стоку [12]. Згідно [22] саме дифузні джерела зумовлюють 42% загального забруднення річки сполуками Нітрогену. Однак чітко визначити конкретне джерело, що зумовило потрапляння амонію, нітритів чи нітратів до водойми, було досить складно. Проте авторами [16, 17] запропонована методика виділення зон, вразливих до (накопичення) нітратів (наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 244 від 15.04.2021), що дозволяє визначити потенційні

умови вимивання сполук Нітрогену з водозбірної площі водних об'єктів та шляхи їх потрапляння від джерел сільськогосподарського походження. Згідно запропонованого підходу за умови $\text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$ домінують точкові джерела, якщо $\text{NH}_4^+ < \text{NO}_3^-$ переважають дифузні, а при $\text{NH}_4^+ = \text{NO}_3^-$ вплив перших та других однаковий [16, 17]. Також ймовірність забруднення від дифузних джерел визначають обчислюючи площу ведення сільського господарства у водозборі (рослинництво) та загальну площу водозбору. Забруднення від дифузних джерел тваринницької галузі визначається за чисельністю поголів'я на гектар або км^2 , що відображає узагальнену одиницю поголів'я та площу водозбору [15]. Крім того, важливим джерелом утворення та трансформації сполук Нітрогену у водоймі є процеси життєдіяльності та відмирання гідробіонтів, які важливо враховувати при здійсненні розрахунків забруднення від тих чи інших джерел.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Концентрація сполук Нітрогену у водних екосистемах зазнає нехарактерних змін внаслідок додаткового їх надходження з точкових та дифузних джерел. Очевидно, що вони впливають на процеси амоніфікації, нітрифікації, денітрифікації, азотфіксації та зумовлюють порушення колообігу Нітрогену. Саме тому, концентрації сполук Нітрогену, що надходять до водної екосистеми з різних джерел, необхідно оцінювати та аналізувати з метою регуляції існуючих порушень.

Викладення основного матеріалу. До важливих джерел надходження неорганічних сполук Нітрогену (NO_3^- , NO_2^- та NH_4^+) у водні екосистеми належать комунальне і сільське господарство, промисловість, тваринництво та атмосферні опади [2]. Так, у неочищених міських стічних водах концентрація Нітрогену амонійного складає 8,8–70 мг/дм^3 , нітритів – 0,08–0,6 мг/дм^3 , а нітратів – 0,6–3 мг/дм^3 . Досить висока концентрація Нітрогену амонійного характерна для стічних вод підприємств молочної промисловості (10,6–22 мг/дм^3), м'ясокомбінатів (50–80 мг/дм^3) та рибоконсервних заводів (30–35 мг/дм^3) [5]. У висококонцентрованих стічних водах м'ясопереробних підприємств вміст Нітрогену амонійного може становити 30–180 мг/дм^3 . Внаслідок надходження з міськими стічними водами концентрація Нітрогену амонійного становить 15–60 мг/дм^3 [8]. Значні концентрації аміаку та Нітрогену містять стічні води тваринницьких комплексів, тому в разі потрапляння до водойми спричиняють загибель риби та інших гідробіонтів [6]. Вміст аміаку у воді вище 0,2 мг/дм^3 зумовлює зниження життєстійкості риб [21], а вже за більш високих концентрацій проявляються ознаки отруєння. Найбільш помітними з них є порушення координації руху, підвищена рухливість, висока швидкість руху, зростання інтенсивності дихання, судоми, специфічне плавання, спроби

заковтнути повітря з поверхні води, збільшення слизової секреції зябер та поверхневих покривів тіла, крововиливи в зябрах та потемніння шкіри [10].

Загальна кількість Нітрогену у складі стічних вод тваринницьких комплексів визначається не лише чисельністю тих чи інших видів тварин, але і особливостями їх утримання. Загалом вміст Нітрогену у стічних водах коливається від 2,3 до 10,3% [3]. Згідно з [9, 23] стічні води ферм великої рогатої худоби містять 0,5–2,3 гN/дм³ Нітрогену амонійного, а свиноферми – 2,3 гN/дм³.

Особливе навантаження викликає сумарна дія впливу декількох джерел на водні екосистеми внаслідок забруднення водозбірних площ, повітряного перенесення і випадіння різних речовин з атмосферними опадами на водну поверхню [6]. Середній вміст Нітрогену амонійного у атмосферних опадах становить 0,45–0,47 мл/дм³ [4], 1,2 мл/дм³, а нітратів 3,58 мл/дм³ [7]. Також з атмосферними опадами до ґрунтів і водойм потрапляють нітрогенвмісні сполуки (NH₃ та NO_x), які утворюються під час спалахів блискавки, інтенсивних лісових пожежах, спалюванні викопних видів палива тощо. Зазначені сполуки впливають на кількісні та якісні показники гідробіонтів. Нітроген, який потрапляє з атмосфери у водойми та ґрунти фіксується водними (5%), наземними організмами і рослинами (81%), а також розчиняється (14%). До атмосфери з наземних екосистем повертається 31% фіксованого Нітрогену, а із водних – 56%. Така суттєва різниця, зважаючи на загальну біомасу екосистем (у водних значно менша ніж у наземних), зумовлена швидкістю «обороту» елементів. У водних екосистем цей процес триває близько 30 днів, а у наземних до 5 років [20].

Інтенсивне використання ґрунтів обумовлює внесення значної кількості нітрогенвмісних добрив, з яких лише 50% споживається рослинами на формування врожаю, а решта внаслідок вимивання потрапляє у водойми [14]. Швидкість вимивання сполук Нітрогену з сільськогосподарських угідь визначається водним режимом ґрунту (промивним, періодично промивним, непромивним). Враховуючи даний показник, коефіцієнти фільтрації верхнього та нижнього шарів ґрунтів та значення балансу Нітрогену виділяють три типи зон ймовірного забруднення води внаслідок вимивання. До першої зони високої ймовірності забруднення вод відносяться території з промивним, періодично промивним водним режимом та позитивним балансом Нітрогену в ґрунті. До другої зони потенційного забруднення вод відносяться території з промивним, періодично промивним водним режимом та дефіцитом балансу Нітрогену в ґрунті. До третьої зони короткострокового забруднення вод відносяться території з непромивним режимом та позитивним балансом Нітрогену в ґрунті [17]. Території вважають вразливими до забруднення, якщо перевищення сумарного вмісту сполук Нітрогену (NO₃⁻ +

NO₂⁻ + NH₄⁺) становить 50 мл/дм³ (11,3 мл N/дм³) та прослідковуються ознаки евтрофікації. Умова Nнеорг ≥ 11,3 мг N/дм³ застосовується для річок, що мають коефіцієнт Штрахлера < 5 та підземних вод з показником більше 5 при Nнеорг ≥ 43 мл/дм³ (9,7 мг N/дм³). Зазначені коефіцієнти характерні для усіх малих річок (1–3 індекс Штрахлера) та частини середніх (4–7 індекс Штрахлера). Вразливість водойм до забруднення сполуками Нітрогену, що мають коефіцієнт Штрахлера ≥ 5, визначають за евтрофікацією [16, 17].

Водночас природні біофільтри (луки, ліси, лісосмуги, поля) здатні частково затримувати надходження сполук Нітрогену до водної екосистеми від джерел сільськогосподарського походження. Їхня ефективність регулюється розмірами площі, яку вони займають, станом рослинного покриву, що вкриває ці території, а також потужністю та активністю кореневої системи рослинності [6].

Також органічні мінеральні добрива потрапляють до водних екосистем внаслідок регулювання поживних режимів для забезпечення росту темпів і обсягів виробництва товарної рибної продукції. Нітрогенвмісні речовини, які надходять до водойми внаслідок внесення добрив абсорбуються на зависях, змінюють хімічний склад донних відкладів та води, знижують її прозорість і створюють умови для розвитку бактеріопланктону. Значна кількість речовин може осідати на дно водойми та сприяти масовому розвитку на мілководдях вищої водної рослинності. Крім того, необґрунтовано завищені дози внесення добрив призводять до критично низької концентрації кисню, що зумовлює надходження у водну екосистему недоокиснених отруйних метаболітів. Вони чинять безпосередній вплив на життєдіяльність гідробіонтів [6].

Точкові та дифузні джерела забруднення сприяють активному надходженню сполук Нітрогену до водойми. Точкові місця скиду стічних вод комунально-побутових та промислових вод зумовлюють потрапляння сполук Нітрогену переважно у формі амонію. З розподілених територією водозабору дифузних джерел сільськогосподарського походження (використання добрив, вирощування та випас худоби) вимиваються добре розчинні нітратні форми [11].

Найважливішим внутрішнім джерелом надходження сполук Нітрогену до водойми є біота. Зокрема, водорості, вищі водні рослини, риби та інші гідробіоти у процесі своєї життєдіяльності здатні як виділяти, так і поглинати нітрогенвмісні сполуки. Частина доступних нітрогенвмісних сполук утилізується організмами, беручи участь у процесах їх пластичного і енергетичного обміну [6]. Зокрема, вищі водні рослини та фітопланктон поглинають сполуки Нітрогену для забезпечення процесів фотосинтезу, азотного обміну, а також запасують у значних кількостях для можливого використання

за несприятливих умов. Найчастіше мінімальні концентрації сполук Нітрогену фіксуються у вегетаційний період, далі збільшуються восени і досягають максимуму взимку. Внаслідок мінімального споживання Нітрогену відбувається розкладання органічних речовин і його перехід з органічних форм у неорганічні [13]. Певна частка сполук Нітрогену може надходити до водойми внаслідок відмирання видів після закінчення вегетаційного періоду [18].

Головні висновки. Сполуки Нітрогену надходять до водних екосистем внаслідок повітряного перенесення і випадіння з атмосферними опадами, вимивання з водозбірних площ та сільськогосподарських угідь, забруднення ґрунтових вод, скидання промислових і господарсько-побутових стічних вод, потрапляння стічних вод тваринницьких комплексів, внесення необґрунтовано завищених доз добрив для регулювання поживних режимів з метою збільшення товарної рибної продукції, коливання

процесів життєдіяльності та відмирання гідробіонтів. Різноманітність джерел надходження сполук Нітрогену до водних екосистем створює загрози для їх нормального функціонування. Рівень забруднення та небезпеки, внаслідок потрапляння сполук Нітрогену, від точкових та дифузних джерел залежить від їх концентрацій, антропогенного навантаження, особливостей водного об'єкту, геоморфології, рельєфу, властивостей підстильної поверхні, водного режиму ґрунтів, глибини залягання ґрунтових вод, гідрологічних та кліматичних умов. Найбільш суттєві зміни відбуваються у водоймі внаслідок дії декількох джерел одночасно та протягом тривалого інтервалу часу.

Перспективи використання результатів дослідження. Врахування сумарної дії впливу точкових і дифузних джерел дозволить розробити низку ефективних водоохоронних заходів для покращення екологічного стану водних екосистем.

Література

1. Власюк Я.В., Вовкодав Г.М. Оцінка якості води Київського водосховища за еколого-санітарними показниками. *Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони*: матеріали III-ого міжнародного наукового семінару. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2018. С. 66–69.
2. Вовкодав Г.М., Семенов Д.В. Оцінка сучасного стану вод річки Тиса. *Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони*: матеріали III-ого міжнародного наукового семінару. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2018. С. 72–76.
3. Воронцов О.О. Стічні води тваринницьких комплексів як субстрат для анаеробної ферментації. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2016. Т. 22, № 6. С. 52–65.
4. Герецун Г.М., Масікевич Ю.Г., Гольонко Р.А. Аналіз забруднення атмосферних опадів домішками на вулицях міста. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. Т. 29, № 1. С. 66–69.
5. Долина Л.Ф. Очистка сточних вод от биогенных элементов: монография. Днепропетровск: Континент, 2011. 198 с.
6. Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування: монографія. К.: Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. 297 с.
7. Карабин В.В., Рак Ю.М. Хімічний склад атмосферних опадів в околицях м. Борислава. *Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища*. К.: ІГНС, 2016. Вип. 26. С. 41–49.
8. Ковальчук В.А. Біологічна нітрифікація-денітрифікація у стічних водах із високими концентраціями амонійного азоту. *Комунальне господарство міст* 2012. № 105. С. 315–319.
9. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод. Рівне: Рівненська друкарня, 2002. 622 с.
10. Кофонов К., Потрохов О.С., Зінковський О.Г. Вплив амонійного азоту на біохімічні показники молоді карася сріблястого (*Carassius auratus* Gibelio V.). *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія*. 2019. № 1. С. 61–68.
11. Лобода Н.С., Катинська І.В. Визначення антропогенних навантажень та екологічних ризиків в басейні р. Кривий Торець (за програмою підтримки ЄС водної політики України). *Український гідрометеорологічний журнал*, 25. 2020. С. 81–92.
12. Лузовіцька Ю.А., Осадча Н.М., Артеменко В.А. Визначення чинників формування біогенного складу річки Десни за допомогою сумарних та різницевих інтегральних кривих. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*. 2016. № 269. С. 86–93.
13. Маджд С.М., Кіпніс Л.С., Франчук Г.М. Перспективи розробки методів біотестування для контролю впливу на довкілля авіатранспортних процесів. *Наука та молодь*. К.: НАУ, 2003. С. 125–129.
14. Макрушин М.М., Макрушина Є.М., Петерсон Н.В., Мельников М.М. Фізіологія рослин / за ред. М.М. Макрушина. Вінниця: Нова Книга, 2006. 416 с.
15. Методичні рекомендації щодо визначення основних антропогенних навантажень та їхніх впливів на стан поверхневих вод / Вихрист С., Мудра К., Осійський Е., Скоблей М., Ярошевич О. Держводагентство. 2018. 21 с.
16. Наказ Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України «Про затвердження Методики визначення зон, вразливих до (накопичення) нітратів» № 244 від 15.04.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0776-21#Text> (дата звернення: 25.05.2022).
17. Осадча Н.М., Осадчий В.І., Осипов В.В., Білецька С.В., Ковальчук Л.А., Артеменко В.А. Методика виділення зон, вразливих до забруднення поверхневих і підземних вод нітратними сполуками. *Український географічний журнал: науково-теоретичний журнал*. 2020/2. № 4. С. 38–48. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.04.038>
18. Суходольська І.Л., Грубінко В.В. Механізми підтримання гомеостазу Нітрогену та його вторинне використання у гідроекосистемах: монографія. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2019. 192 с.

19. Ухань О.О., Осадча Н.М. Оцінка антропогенного навантаження біогенними елементами та органічними речовинами у басейні р. Тетерів. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2021. № 1(59). С. 58–63.
20. Хендерсон-Селлерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования. Л. : Гидрометеиздат, 1990. 280 с.
21. Abdalla A., El-Shebly, Heba Allah M.J. Gad Effect of chronic ammonia exposure on growth performance, serum growth hormone (GH) levels and gill histology of nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Microbiol. Biotech. Res.* 2011. 1(4). P. 183–197.
22. Maps of the Danube River Basin District Management Plan 2015. URL: <https://www.icpdr.org/main/publications/maps-danube-river-basin-district-management-plan-2015> (дата звернення: 12.06.2022).
23. Moussa V.S. Nitrification in Saline Industrial Wastewater: Dissertation for The Degree Doctor of Philosophy. *Delft University of Technology*, Delft, Netherland, 2004. 176 p.