

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 504.453

DOI: 10.31649/2311-1429-2024-2-200-207

С. М. Кватернюк
В. С. Мандебура
Д. Р. Латуша
М. П. Максименко
О. В. Михальчук

ЗАПОБІГАННЯ ЗАБРУДНЕННЮ Р.ПІВДЕННИЙ БУГ НІТРОГЕНВІСНИМИ СПОЛУКАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ-ВОДНО БОЛОТНИХ УГІДЬ

Вінницький національний технічний університет

У роботі досліджено причини виникнення явищ масового цвітіння фітопланктону, заростання водойм певними видами вищих водних рослин у верхній течії р. Південний Буг шляхом їх співставлення з результатами вимірювань параметрів, отриманих з відкритих ресурсів Державного агентства водних ресурсів України. Проведено статистичну обробку результатів вимірювань нітрогенвісних сполук за відкритими даними Державного агентства водних ресурсів України та оцінено екологічні ризики. За допомогою програми STATISTICA 12 та власного програмного забезпечення на мові Python було створено діаграми розмаху та гістограми показниками амоній-іонів, біохімічного споживання кисню, завислих (суспендованих) речовин, кисню розчиненого, нітрат-іонів, нітрит-іонів, сульфат-іонів, фосфат-іонів (поліфосфатів), хлорид-іонів. Для перевірки відповідності нормального закону розподілу застосовано критерії Колмогорова-Смірнова та Ліллієфорса та виявлено, що закон розподілу відрізняється від нормального для всіх досліджуваних показників. Для подальшої обробки даних та побудови діаграми розмаху використано значення медіани і інтерквартильного розмаху. Оцінено ризики перевищення ГДК для всіх постів спостереження за вказаними показниками. Виявлено значні перевищення гранично допустимих рівнів нітрогенвісними сполуками, зокрема, нижче м. Хмельницький. За рахунок процесів самоочищення, що відбуваються у річці показники рівнів нітрогенвісних сполук зменшуються до допустимих значень при вимірюваннях у питному водозаборі м. Вінниця, однак при цьому суттєво зростає концентрація фітопланктону. Досліджено кореляційні зв'язки між параметрами забруднення та отримано діаграми розсіювання. З використанням лінійної регресії досліджено кореляційний зв'язок між показаними амоній-іони та нітрат-іони та отримано коефіцієнт регресії $r=0,41$, що вказує на наявність слабого зв'язку між вказаними параметрами. Також виявлено слабкий зв'язок між такими параметрами, як нітрат-іони і нітрит-іони (коефіцієнт регресії $r=0,26$) та кисень розчинений і біохімічне споживання кисню ($r=0,21$). Природнім механізмом очищення вод забруднених нітрогенвісними сполуками з сільськогосподарських джерел, які потрапляють у водні об'єкти є природні та штучні водно-болотні угіддя, розміщені у прибережній захисній смузі. Крім очисної функції водно-болотні угіддя особливо важливі для збереження біорізноманіття.

Ключові слова: вода, забруднення, екологічний моніторинг, статистичні дослідження, нітрогенвісні сполуки, водно-болотні угіддя

Вступ

Південний Буг - одна з великих річок України. Його водозбірна площа повністю розташована в межах країни. Висока зарегульованість, розвинений аграрний сектор, низка великих міст, енергетичних об'єктів та промисловості обумовлюють значне антропогенне навантаження на річку, яке в першу чергу виражається в збагаченні води поживними речовинами, зокрема сполуками азоту (1, 2).

Для визначення тенденцій зміни параметрів якості річки Південний Буг доцільно використання методів дистанційного зондування Землі, зокрема, з використанням супутників Європейського космічного агентства та NASA. При цьому інформація зі штучних супутників дозволяє отримати дані про погіршення якості водних об'єктів, масове цвітіння фітопланктону, заростання водойм певними видами вищих водних рослин (3, 4). Для того, щоб встановити причину цих явищ потрібно їх співставити з результатами вимірювань параметрів на місці, які доступні на відкритих ресурсах Державного агентства водних ресурсів України (5).

Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення достовірності оцінювання впливу сільського господарства на водні об'єкти та розробки відповідних методів та засобів для зменшення впливу сільського господарства на водні об'єкти.

Метою дослідження є дослідження тенденцій зміни забруднення р. Південний Буг нітрогенвісними сполуками та аналіз використання штучних водно-болотних угідь для запобігання цього забрудненню.

Матеріали та методи

Об'єктом аналізу є дані моніторингу від Державного агентства водних ресурсів України по постах спостереження у верхній течії р. Південний Буг до питного водозабору м. Вінниця (табл.1). Ми обробили дані з 01.01.2000 р. до 20.04.2024 р., що були у відкритому доступі на сайті Держводгоспу (5). В онлайн системі автоматично формується графік зміни показників з необхідний період, однак він є малоінформативним в наслідок наявності випадкової складової зміни досліджуваних параметрів. Для того, щоб оцінити загальні тенденції у зміні параметрів якості води їх необхідно обробити статистичними методами.

Таблиця 1

Пости спостереження у верхній течії р. Південний Буг

№	Повна назва поста спостережень
1	р. Південний Буг, 744 км, с. Копистин, нижче м.Хмельницький
2	р. Південний Буг, 711 км, смт. Меджибіж, Меджибіжське вдсх.
3	р. Південний Буг, 692 км, с. Щедрове, Щедрівське вдсх.
4	р. Південний Буг, 652 км, м. Хмільник, питний в/з, вище міста
5	р. Південний Буг, 607 км, с. Гушинці, нижче села, питний водозабір м.Калинівка
6	р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця, Сабарівське вдсх, питний в/з міста, вище міста

За допомогою програми STATISTICA 12 та власного програмного забезпечення на мові Python було створено діаграми розмаху та гістограми за такими показниками: амоній-іони, біохімічне споживання кисню за 5 діб, завислі (суспендовані) речовини, кисень розчинений, нітрат-іони, нітрит-іони, сульфат-іони, фосфат-іони (поліфосфати), хлорид-іони. Діаграми розмахів, або "ящики з вусами" (англ. Box-whiskerplots), отримали свою назву за характерний вид: точку або лінію, відповідну медіані або середньої арифметичної, оточує прямокутник ("ящик"), довжина якого відповідає одному з показників розкиду або точності оцінки генерального параметра. Додатково від цього прямокутника відходять "вуса", також відповідні по довжині одному з показників розкиду або точності. Графіки цього типу дуже популярні, оскільки дозволяють дати максимально повну статистичну характеристику аналізованої сукупності.

Для перевірки відповідності нормального закону розподілу застосовуємо критерії Колмогорова-Смірнова та Ліллієфорса. Ризик оцінюється по шкалі від 0 до 1. Гістограма за показником амоній-іони наведена на рис. 1. З даної гістограми ми бачимо, що у даному випадку, як за формою гістограми, так і за критеріями Колмогорова-Смірнова ($p < 0,01$) та Ліллієфорса ($p < 0,01$) закон розподілу відрізняється від нормального. Такі ж результати отримано для решти досліджуваних показників. Тому для подальшої обробки даних та побудови діаграми розмаху використаємо значення медіани і інтерквартильного розмаху.

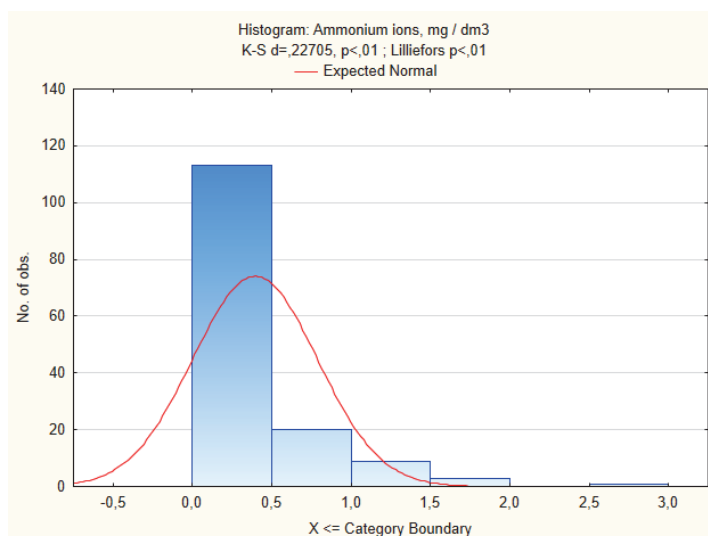
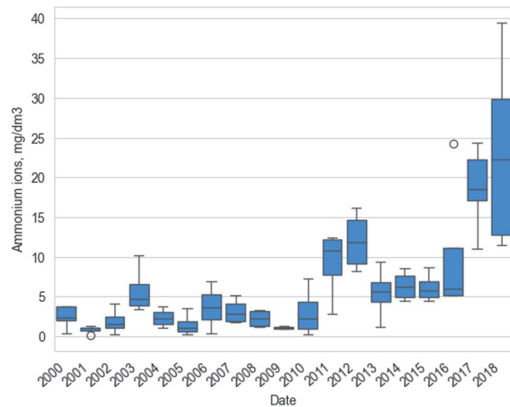


Рисунок 1 – Гістограма за показником Амоній-іони, мг/дм³

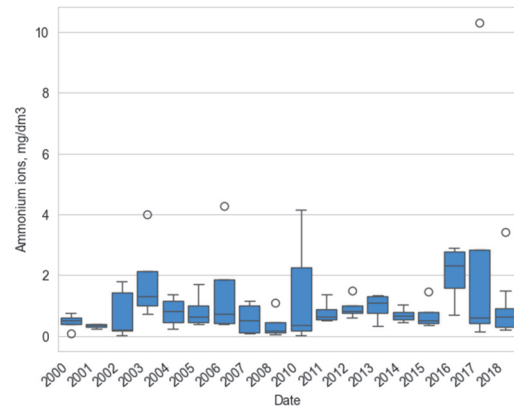
Результати та Обговорення

Ризик перевищення ГДК для водних об'єктів (2 мг/дм³) за показником амоній-іони (рис. 2) великий за всі роки спостережень. Для використання цієї води у якості питної норматив складає 0,5

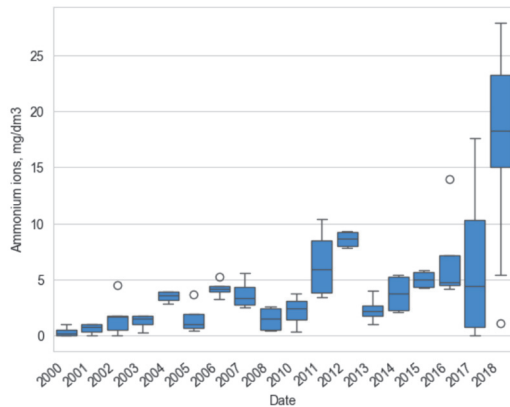
мг/дм³, при цьому вода у даному місці водозабору перевищує вказаний норматив за більшість років спостережень, що викликає необхідність використання спеціальних фізико-хімічних методів для її очищення. При цьому помітно багатократне перевищення ГДК за цим показником у верхній течії Південного Бугу, а також поступове погіршення якості води починаючи 2000 р. За рахунок процесів самоочищення, що протікають у ріці в середній течії показник амоній-іонів зменшується до допустимих значень.



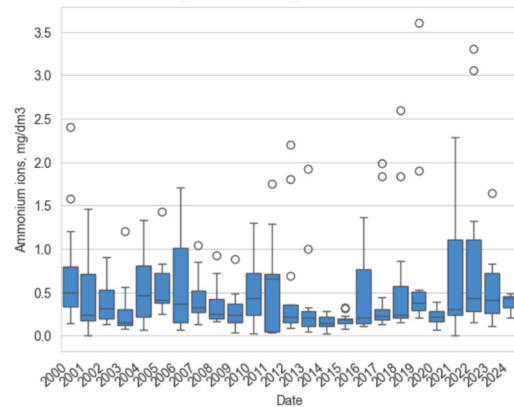
ПС №1 р. Південний Буг, 744 км,
с. Копистин, нижче м.Хмельницький



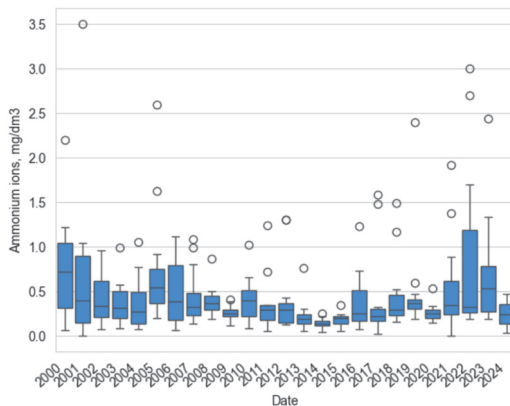
ПС №3 р. Південний Буг, 692 км,
с. Щедрове, Щедрівське вдсх.



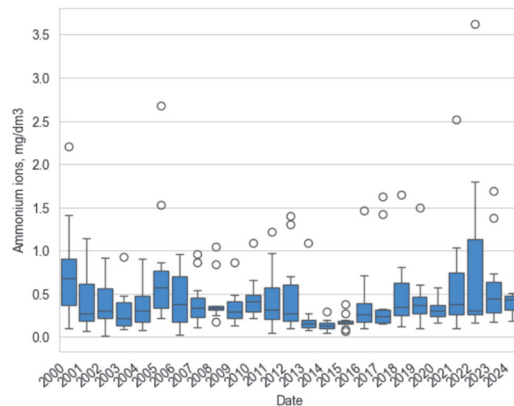
ПС №2 р. Південний Буг, 711 км,
смт. Меджибіж, Меджибізьке вдсх



ПС №4 р. Південний Буг, 652 км,
м. Хмільник, питний в/з, вище міста



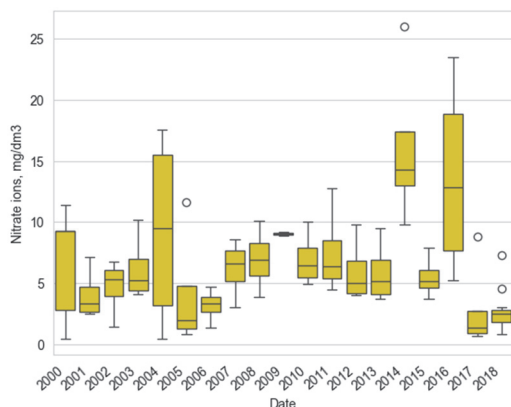
ПС №5 р. Південний Буг, 607 км, с. Гушинці, нижче села,
питний водозабір м.Калинівка



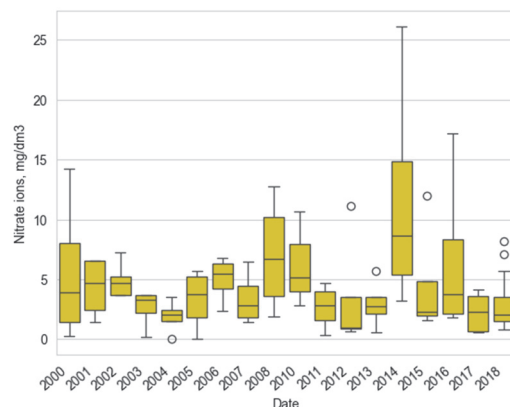
ПС №6 р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця,
Сабарівське вдсх, питний в/з міста, вище міста

Рисунок 2 – Діаграми розмаху за показником Амоній-іони у верхній течії р. Південний Буг

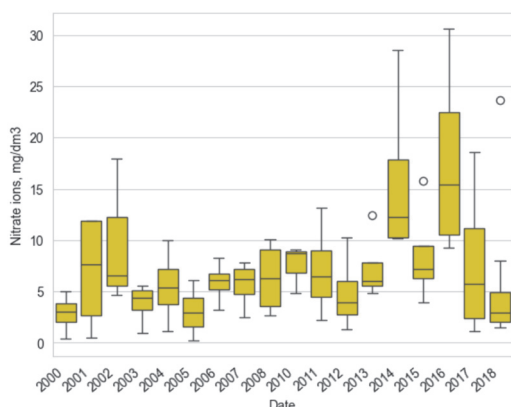
Ризик перевищення ГДК для водних об'єктів (10,0 мг/дм³) за показником нітрат-іони присутній і певній мірі, оскільки за 24 роки спостережень (з 01.01.2000 р. до 20.04.2024 р.) на пості спостережень №6 (р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця, Сабарівське вдсх, питний в/з міста, вище міста) цей показник перевищував ГДК у трьох із них, зокрема 2013, 2014 та 2021 роках (рис.3).



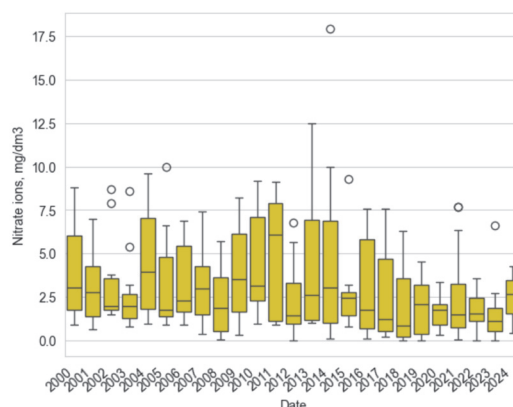
ПС №1 р. Південний Буг, 744 км,
с. Копистин, нижче м.Хмельницький



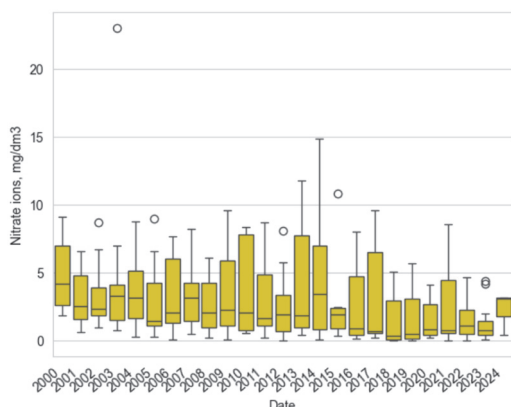
ПС №3 р. Південний Буг, 692 км,
с. Щедрове, Щедрівське вдсх.



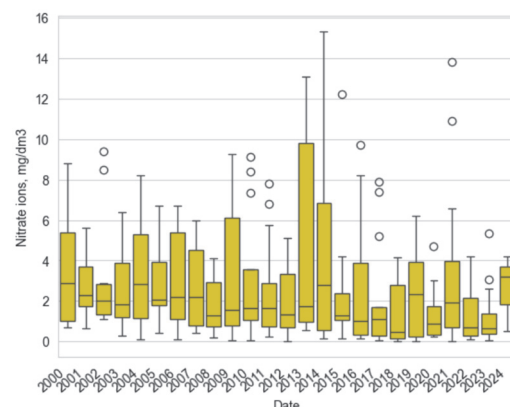
ПС №2 р. Південний Буг, 711 км,
смт. Меджибіж, Меджибіжське вдсх



ПС №4 р. Південний Буг, 652 км,
м. Хмільник, питний в/з, вище міста



ПС №5 р. Південний Буг, 607 км, с. Гушинці, нижче села,
питний водозабір м.Калинівка



ПС №6 р. Південний Буг, 582 км, м. Вінниця,
Сабарівське вдсх, питний в/з міста, вище міста

Рисунок 3 – Діаграми розмаху за показником нітрат-іони у верхній течії р. Південний Буг

Діаграма розсіювання для показників амоній-іони та нітрат-іони при опрацюванні даних з 2010 по 2022 роки на пості спостережень № 6 наведена на рис. 4.

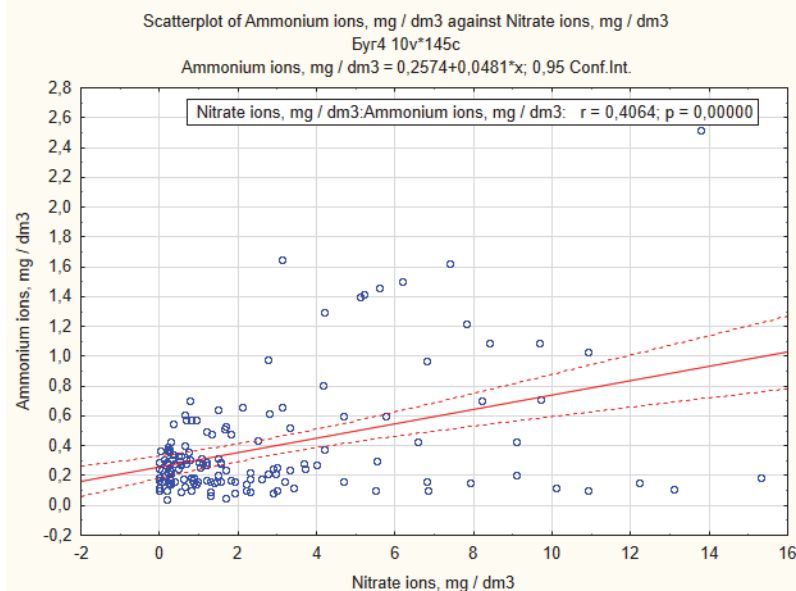


Рисунок 4 – Діаграма розсіювання для показників амоній-іони та нітрат-іони даних з 2010 по 2022 роки

Оскільки для лінійної регресії показників амоній-іони та нітрат-іони отримано коефіцієнт регресії $r=0,41$, то це вказує на наявність слабкого зв'язку між вказаними параметрами. Оскільки $r < 0,7$, то наявність цього зв'язку можна не враховувати та пояснити слабокорельовану зміну показників амоній-іони та нітрат-іони впливом інших додаткових факторів.

Крім того, кореляційний аналіз дозволив виділити наявність слабкого зв'язку між такими параметрами, як нітрат-іони та нітрит-іони (коефіцієнт регресії $r=0,26$) та кисень розчинений та біохімічне споживання кисню ($r=0,21$).

Природним механізмом очищення вод забруднених нітрогенвмісними сполуками з сільсько-господарських джерел, які потрапляють у водні об'єкти є природні та штучні водно-болотні угіддя, розміщені у прибережній захисній смузі (6). Відновлення і захист водно-болотних угідь захищається Рамсарською конвенцією. Крім очисної функції водно-болотні угіддя особливо важливі для збереження біорізноманіття.

Погіршення якості води у водних об'єктах внаслідок забруднення нітрогенними сполуками вимагає пошуку нових способів економічно ефективних методів очищення води (7). Штучні водно-болотні угіддя є природним і економічно ефективним процесом очищення та покращення якості води (8) і зменшення загальної евтрофікації (9). Штучні водно-болотні угіддя використовуються з 50-х років і забезпечують кращу очистку різних видів стічних вод, таких як міські стоки, муніципальні стічні води, промислові стічні води, сільськогосподарські відходи та дренаж кислотних шахт, при цьому, імітуючи біологічні, фізичні та хімічні процеси, які відбуваються в природних водно-болотних угіддях (10). Використання штучних водно-болотних угідь для очищення стічних вод різко зросло за останні роки (11). Штучні водно-болотні угіддя вважаються екологічною системою для заміни традиційних вторинних та третинних муніципальних та промислових процесів очищення стічних вод (12).

Штучні водно-болотні угіддя для очищення стічних вод замінили звичайні процеси очищення стічних вод і створили надійну систему очищення на основі складної природної екосистеми (13). Водно-болотні угіддя як нетрадиційна технологія очищення стічних вод мають великий потенціал у країнах, що розвиваються, що забезпечує деяку перевагу перед звичайними, механізованими процесами очищення і є економічно доцільним (13). Як правило, добре відомі штучні водно-болотні угіддя складаються з побудованого басейну, який складається з води, матеріалу субстрату та судинних рослин. Ці компоненти можуть бути використані при створенні водно-болотного угіддя (14). Крім того, водно-болотні угіддя містять мікробні спільноти та водних безхребетних, які можуть рости природним шляхом в угрупованні вищих водних рослин і донному субстраті. Потік води у штучних водно-болотних угіддях необхідно контролювати для рівномірно поширення у донному субстраті і вищих водних рослинах. Штучні водно-болотні угіддя імітують оптимальні умови обробки, які можна знайти в природних водно-болотних угіддях (15). Добре відомі штучні водно-болотні угіддя з макрофітами, що розвиваються, використовуються для очищення муніципальних стічних вод, що представляє третинну стадію очищення (16). У штучних водно-болотних угіддях стічні води протікають поверх наявного ґрунту (поверхневі водно-болотні угіддя) або через пористе середовище, таке як гравій (підповерхневі водно-болотні угіддя). Було запропоновано різні

механізми для покращення якості води у створених водно-болотних угіддях, і вони часто взаємопов'язані (17):

- відстоювання зважених частинок забруднюючих речовин;
- фільтрація та хімічне осадження забруднюючих речовин через контакт стічних вод із субстратною підстилкою та рослинами;
- хімічні перетворення забруднюючих речовин;
- адсорбція та іонний обмін на поверхні вищих водних рослин та субстраті;
- розкладання і перетворення забруднюючих речовин мікроорганізмами біоплівки на поверхні вищих водних рослин та структурних елементів донного субстрату;
- поглинання рослинами поживних сполук розчинених у стічних водах.

Як природні так і штучні водно-болотні угіддя мають переваги перед активним мулом або системами фільтрів. Водно-болотні угіддя споживають менше енергії, є більш надійними, потребують менше витрат на експлуатацію та обслуговування, і, як наслідок, коштують менше та мають додаткові екологічні функції (18).

Субстрати водно-болотних угідь необхідні для підтримки вищих водних рослин, безпосередньо в них відбуваються процеси біохімічних і хімічних перетворень забруднюючих речовин, а також забезпечується місце для зберігання видалених забруднюючих речовин і відходів. Зазвичай субстрати можуть включати ґрунт, пісок, гравій та органічні матеріали (19). З міркувань проектування при виборі ґрунтів слід враховувати різні властивості ґрунту, щоб включати ємність катіонного обміну, рН ґрунту, електропровідність (ЕС), структуру ґрунту та органічну речовину ґрунту. Рекомендується мати субстрат з піску або гравію, коли побутові та сільськогосподарські стічні води, що приймаються, мають значне навантаження нітрогенвмісними речовинами. Повідомлялося, що ґрунти, які містять більше 15% глини, як правило, придатні для створення водно-болотного субстрату (20). Крім того, гравій і пісок добре підходять для донного субстрату і вважаються недорогими матеріалами та забезпечують ідеальну структуру для посадки вручну. Крім того, органічний матеріал, що міститься в субстраті, є джерелом вуглецю для підтримки активності мікроорганізмів. Органічний матеріал також споживає кисень і створює безкисневе середовище, необхідне для деяких процесів очищення (21).

Періоди затоплення водно-болотних угідь зумовлені гідрологічним режимом їх роботи. Гідрологічні умови впливають на ґрунти та характеристики поживних речовин, які, у свою чергу, впливають на стан біоти (22). Потік і накопичувальний об'єм визначають тривалість часу, який вода проводить у водно-болотних угіддях, і, отже, можливість взаємодії між вищими водними рослинами та забруднюючими речовинами (23). Гідрологічні характеристики водно-болотних угідь включають час утримання, глибину води, швидкість течії через водно-болотні угіддя та кількість днів на рік, коли водно-болотні угіддя затоплюються (23).

Наявність макрофітів є однією з найбільш очевидних ознак водно-болотних угідь, і вона відрізняє штучні водно-болотні угіддя від незасаджених ґрунтових фільтрів. Водно-болотні угіддя можуть є домівкою для різноманітних груп рослин, включаючи види, що зникають, плаваючі та занурені у воду (24). Появою та розподілом макрофітів, що виникають, легко керувати, і вони визначені для очищення стічних вод водно-болотних угідь (25).

Висновок

Для визначення тенденцій зміни параметрів якості річки Південний Буг доцільно використано методи дистанційного зондування Землі з використанням супутників Європейського космічного агентства Sentinel. Дистанційні знімки з супутника у видимому і ближньому інфрачервоному діапазонах дозволили ідентифікувати в часі погіршення якості водних об'єктів, масове цвітіння фіто-планктону, заростання водойм певними видами вищих водних рослин. Для того, щоб встановити причину цих явищ було здійснено їх співставлення з результатами вимірювань параметрів на міс-ці, отриманих з відкритих ресурсів Державного агентства водних ресурсів України. За результатами вимірювань виявлено значне перевищення показників за показниками нітрогенвмісних сполук у верхній течії Південного Бугу, що очевидно призводило до явищ масового цвітіння фітопланктону і розвитку вищих водних рослин. Проведено статистичну обробку результатів вимірювань нітрогенвмісних сполук за відкритими даними Державного агентства водних ресурсів України та оцінено екологічні ризики.

REFERENCES

1. Kvaterniuk, S. M., Ishchenko, V. A., & Kvaterniuk, O. Y. (2010). Estimation of ecological state of water objects in Vinnytsia on the based on indexes of bioindication by phytoplankton, *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*, 6, 13–16.
2. Kvaterniuk, S. M. (2017). Control of Ecological Safety of Sewage with the Help of Multispectral Method and Bioindication on Phytoplankton, *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*, 6, 26–33.
3. Kvaterniuk, S. M., & Petruk, V. G. (2023). Multispectral methods and means of computerized environmental monitoring of water bodies. Vinnytsia: VNTU.
4. Pogrebennyk, V. D., et al. (2023). Systems of operational control of integral parameters of the water environment. Volume. 1. Mathematical modeling and principles of construction of operational control systems. Zhytomyr: Buk-Druk Publishing House.
5. Monitoring and environmental assessment of water resources of Ukraine. State Agency of Water Resources of Ukraine (2024). Retrieved from <http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index>.
6. Arndt, S., et al., (2013) Quantifying the degradation of organic matter in marine sediments: a review and synthesis. *Earth-science reviews*, 123, 53-86.
7. Vymazal, J. (2010) Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, *Water*, 2(3), 530-549.
8. Awad, A.M. & H.I. Saleh, (2001) Evaluating contaminants removal rates in sub-surface flow constructed wetland in Egypt, in *Wetlands Engineering & River Restoration*. -10.
9. Bastian, R. & Hammer, D. (2020) The use of constructed wetlands for wastewater treatment and recycling, in *Constructed wetlands for water quality improvement*. CRC Press, 59-68.
10. Batool, A. and T.A. Saleh, (2020). Removal of toxic metals from wastewater in constructed wetlands as a green technology; catalyst role of substrates and chelators. *Ecotoxicology environmental safety*. 189, 109924.
11. Bendoricchio, G., L. Cin, and J. Persson, (2000) Guidelines for free water surface wetland design. *EcoSys Bd.*, 8, 51-91.
12. Białowiec, A., A. Albuquerque, and P.F. Randerson, (2014) The influence of evapotranspiration on vertical flow subsurface constructed wetland performance. *Ecological Engineering*, 67, 89-94.
13. Braskerud, B., (2002) Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. 19(1),41-61.
14. Brix, H. (2003) Plants used in constructed wetlands and their functions. in 1st International Seminar on the use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands, edit. Dias V., Vymazal J. Lisboa, Portugal.
15. Brix, H., (1997) Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science and Technology*, 35(5), 11-17.
16. Brix, H., (1994) Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science Technology*, 29(4), 71-78.
17. Carty, A., et al., (2008) The universal design, operation and maintenance guidelines for farm constructed wetlands (FCW) in temperate climates. *Bioresource technology*, 99(15), 6780-6792.
18. Coban, O., et al., (2015) Nitrogen transforming community in a horizontal subsurface-flow constructed wetland, *Water Research*, 74, 203-212.
19. Crites, R.W., (1994) Design Criteria and Practice for Constructed Wetlands. *Water Science and Technology*, 29(4), 1-6.
20. Cui, L., et al., (2015) Removal of nutrients from septic tank effluent with baffle subsurface-flow constructed wetlands. *Journal of environmental management*, 153, 33-39.
21. Davis, L., (1995) A handbook of constructed wetlands: a guide to creating wetlands for: agricultural wastewater, domestic wastewater, coal mine drainage, stormwater in the Mid-Atlantic Region. Washington: U.S. Government Printing Office.
22. Dhote, S. and S. Dixit, (2009) Water quality improvement through macrophytes-a review. *Environmental monitoring assessment*, 152(1), 149-153.
23. Dong, Y., et al., (2011) Impact of hydraulic loading rate and season on water contaminant reductions within integrated constructed wetlands. *Wetlands*, 31(3), 499-509.
24. Dotro, G., et al., (2017) *Treatment wetlands*: IWA publishing.
25. Drexler, J.Z., et al., (2004) A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration. *Hydrological processes*, 18(11), 2071-2101.

Кватернюк Сергій Михайлович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-1296-8249

Мандебура Святослав Васильович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7952-5974

Латуша Дмитро Русланович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: dima.latusha27@gmail.com, orcid.org/0009-0005-7808-1300

Максименко Максим Павлович – аспірант кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: obzzorator@gmail.com, orcid.org/0009-0004-3921-3174

Михальчук Олена Василівна – студентка факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: olenamykhalchuk02@gmail.com

S. Kvaterniuk
S. Mandebura
D. Latusha
M. Maksimenko
O. Mykhalchuk

PREVENTION OF POLLUTION OF THE SOUTHERN BUG RIVER BY NITROGEN-CONTAINING COMPOUNDS WITH THE USE OF CONSTRUCTED WETLANDS

The paper investigates the causes of mass blooms of phytoplankton, the overgrowth of water bodies with certain species of higher aquatic plants in the upper reaches of the Southern Bug River by comparing them with the results of parameter measurements obtained from open resources of the State Agency of Water Resources of Ukraine. Statistical processing of the results of measurements of nitrogen-containing compounds according to open data of the State Agency of Water Resources of Ukraine was carried out and ecological risks were assessed. With the help of the STATISTICA 12 program and our own Python software, scale diagrams and histograms were created with indicators of ammonium ions, biochemical oxygen consumption, suspended (suspended) substances, dissolved oxygen, nitrate ions, nitrite ions, sulfate ions, phosphate ions (polyphosphates), chloride ions. To check the conformity of the normal distribution law, the Kolmogorov-Smirnov and Lilliefors criteria were applied and it was found that the distribution law differs from the normal distribution for all the investigated indicators. Median and interquartile range values were used for further data processing and construction of the range diagram. The risks of exceeding the MPC were assessed for all observation posts based on the indicated indicators. Significant excesses of the maximum permissible levels of nitrogen-containing compounds were detected, particularly below the city of Khmelnytskyi. Due to the self-purification processes taking place in the river, the indicators of the levels of nitrogen-containing compounds decrease to permissible values when measured in the drinking water intake of the city of Vinnytsia, but at the same time, the concentration of phytoplankton increases significantly. Correlations between pollution parameters were investigated and scatter diagrams were obtained. Using linear regression, the correlation between the indicated ammonium ions and nitrate ions was investigated and the regression coefficient $r=0.41$ was obtained, which indicates the presence of a weak connection between the specified parameters. A weak relationship was also found between such parameters as nitrate ions and nitrite ions (regression coefficient $r=0.26$) and dissolved oxygen and biochemical oxygen consumption ($r=0.21$). Natural and artificial wetlands, located in the coastal protective strip, are a natural mechanism for cleaning waters polluted by nitrogen-containing compounds from agricultural sources that enter water bodies. In addition to the cleaning function, wetlands are especially important for the preservation of biodiversity.

Keywords: water, pollution, environmental monitoring, statistical research, nitrogen-containing compounds, wetlands

Kvaternuk Serhii— Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-1296-8249

Mandebura Sviatoslav— Postgraduate Student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: eko14b.mandebura@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7952-5974

Latusha Dmytro— Postgraduate Student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: dima.latusha27@gmail.com, orcid.org/0009-0005-7808-1300

Maksymenko Maksym— Postgraduate Student of the Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: obzzorator@gmail.com, orcid.org/0009-0004-3921-3174

Mykhalchuk Olena— Student of the Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: olenamykhalchuk02@gmail.com