

ЗМІНИ ВМІСТУ ФОСФАТІВ І ЙОНІВ АМОНІЮ У ТЕРНОПІЛЬСЬКОМУ ВОДОСХОВИЩІ ПРОТЯГОМ РОКУ ТА РОЛЬ *CHLORELLA VULGARIS* BEIJER У ЙОГО ОПТИМІЗАЦІЇ

Г. В. ЧВАЛЮК, В. В. ГРУБІНКО

Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка,
0986372888g@gmail.com

Збільшення антропогенного навантаження на гідроєкосистему природних водойм призвело до евтрофікації, а відтак і до «цвітіння води» зі всіма його наслідками та забруднення середовища існування гідробіонтів. Метою статті було проаналізувати регуляцію вмісту фосфатів та йонів амонію у Тернопільському ставі. Дослідження проводилися впродовж 2023-2024 років (від вересня до вересня), з відбором проб щомісяця кожних два тижні (за винятком зимових місяців, коли температурні показники були значно нижчими температури замерзання води і став був покритий кригою) на глибині 0,5 метра. Аналіз зразків проводився за допомогою іоніміру AI-123 та КФК-2-УХЛ 4.2. Фізико-хімічними показниками для моніторингу забрудненості води було обрано: кислотність, наявність фосфатів та йонів амонію. За результатами досліджень здійснено графічне моделювання, яке показало, що на тлі стабільного показника кислотності води (рН) зміни вмісту йонів амонію та фосфатів були співмірними у жовтні-листопаді 2023 року та у травні-червні 2024 року. У липні 2024 року потенціали вмісту вимірюваних йонів різко відрізнялися. На нашу думку зниження вмісту йонів у воді ставу в середині червня пояснюється активним перетворенням в органічні сполуки нерозчинних фосфатів мікроводоростями *Chlorella vulgaris* Beijer, які були внесені 3 червня 2024 року до Тернопільського ставу у вигляді пасти у кількості 200 кг (Регіональний офіс водних ресурсів у Тернопільській області, 2024.).

Ключові слова: фосфорний обмін, амонійний обмін, фосфат-йони, йони амонію, Тернопільський став, евтрофікація, гідроєкосистема, *Chlorella vulgaris* Beijer

Вступ. У зв'язку із посиленням антропогенної діяльності зросло навантаження на гідроєкосистеми (збільшення об'ємів міських стічних вод, змивів з сільськогосподарських угідь, зарегулювання стоку річок у водосховищах), а найбільше потерпають екосистеми малих та середніх річок, ставків та озер. Як відомо, більшість стічних вод Тернопільщини не очищаються для видалення органічних забруднень. Зростання рівня таких біогенних речовин, як сполуки фосфору та азоту, особливо у спекотний період літа, є визначальними для функціонування гідроєкосистем, про що сигналізує зростання евтрофікації. Сформовані умови забезпечують оптимальні параметри для експоненціального росту популяцій мікроскопічних водоростей, переважно представників відділів ціанобактерій та зелених, що є причиною такого явища, як "цвітіння води". Розвитку водоростей сприяє збільшення температури й сонячної радіації. (Золотарьова та ін, 2008)

Аналіз метаболічного шляху органічних речовин в тому числі за сприяння *Chlorella vulgaris* Beijer дасть змогу досконаліше зрозуміти шляхи та можливості для видалення

поживних речовин з гідроєкосистем (Suggey Guerra-Renteria, et al. 2019).

Гідрохімічні показники води у Тернопільському ставі є інтегральним критерієм екологічного стану всього водозбірного басейну, відображаючи сумарний вплив антропогенних та природних факторів. (Скиба, 2017). Тому, метою нашого дослідження було відобразити рівні забруднення води Тернопільського ставу фосфатами та йонами амонію, що стане основою для подальшого розроблення імовірних шляхів та потенціалу очищення води за допомогою *Chlorella vulgaris* Beijer. Мікроводорості окремо або в спільному культивуванні з бактеріями пропонують багатообіцяючий підхід до видалення та повторного використання поживних речовин, таких як азот і фосфор, оскільки їх можна засвоїти в біомасі (Beuckels, et al., 2014).

Йони амонію (NH_4^+) утворюються в результаті амоніфікації білкових сполук, що містяться у воді. Мікроводорість *Chlorella vulgaris* Beijer поглинає з води подальші продукти розпаду аміачного азоту у вигляді нітрат-йонів (NO_3^-), які метаболізують і

утворюються з нітритного азоту (NO_2^-), що окислився в аеробних умовах.

Колегами А. Suggey Guerra-Renteria та ін. розраховано теоретичні виходи для видалення фосфору за фотогетеротрофних умов, визначивши їх значення як $0,042$ ммоль PO_4^{3-} на грам сухої маси *Chlorella vulgaris* Beijer, $19,43$ ммоль фосфору (P) на грам сухої маси *Chlorella vulgaris* Beijer (Suggey Guerra-Renteria, et al. 2019).

Аналізуючи метаболізм фосфору у воді, слід згадати, що Фосфор (P), важливий структурний і функціональний компонент усіх живих організмів. Він знаходиться у поверхневих водах у вигляді орто- чи поліфосфатів, а також органічних сполук. (Christine Ferrier-Pagès, 2016). Щоб перетворити його сполуки у біодоступні для консументів, водорості переробляють відходи та перетворюють розчинені неорганічні поживні речовини в органічні молекули. Внаслідок біогеохімічних процесів, пов'язаних з життєдіяльністю та розкладанням гідробіонтів,

органічні сполуки фосфору переходять з біомаси у водне середовище. Зниження вмісту фосфатів у воді спостерігається внаслідок споживання в основному ортофосфатів мікробіодоростями.

Матеріали та методи. Для дослідження ми використовували воду Тернопільського ставу, яку відбирали регулярно впродовж періоду з вересня 2023 року до вересня 2024 року двічі на місяць з глибини $0,5$ м (за винятком зимових місяців, коли температурні показники були значно нижчими температури замерзання води і став був покритий кригою). Аналіз зразків проводився за допомогою Іономіру AI-123 та КФК-2-УХЛ 4.2.

Фізико-хімічними показниками для моніторингу забрудненості води було обрано кислотність (pH), наявність фосфатів (P_2O_5) та йонів амонію (NH_4^+).

Результати та їх обговорення. Графічне моделювання показало, що на тлі стабільного показника кислотності води зміни вмісту йонів амонію та фосфатів були співмірними (рис. 1).

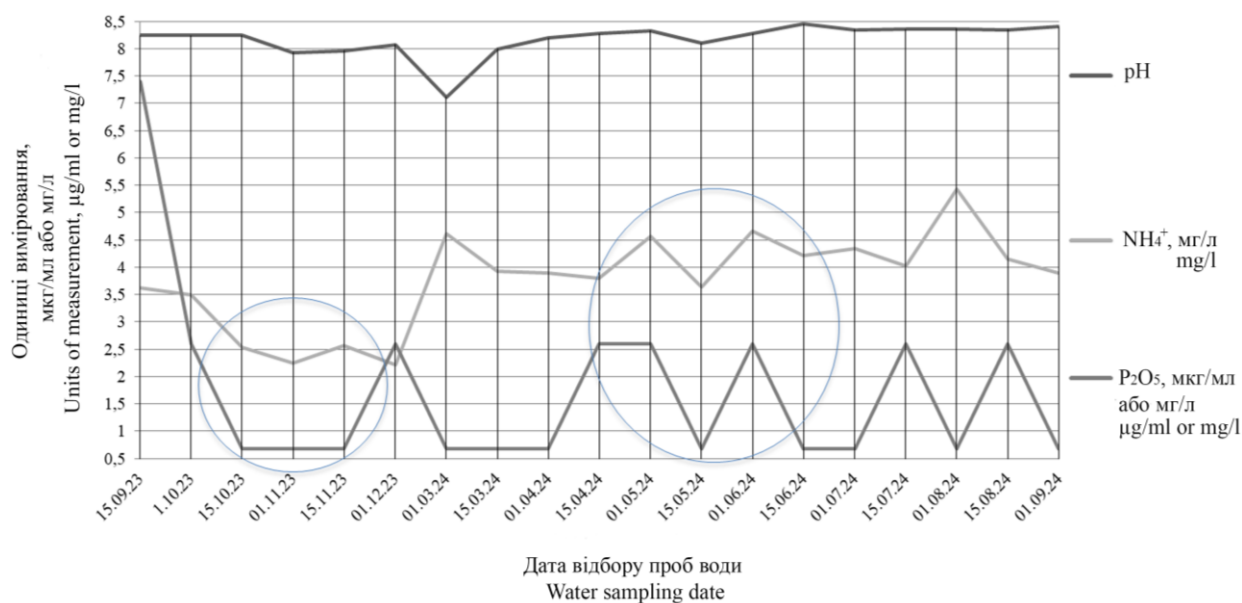


Рис. 1. Співвідношення вмісту йонів фосфатів, амонію і кислотності у Тернопільському водосховищі.
Fig. 1. The ratio of phosphate, ammonium, and acidity ions in the Ternopil Reservoir

Сезонне підвищення температури води у літні місяці супроводжувалося незначними відмінностями вмісту йонів амонію та ортофосфатів впродовж досліджуваного періоду, а от показники йонів фосфатів кожних 2 тижні характеризувалися параболічними змінами, що пояснюється антропогенним впливом на воду ставу, що є відпочинковою зоною. Зокрема ми спостерігали синхронні зміни показників у жовтні-листопаді 2023 року та у травні-червні 2024 року. У липні 2024 року потенціали вмісту вимірюваних йонів різко відрізнялися. На нашу думку зниження вмісту фосфатів у воді ставу в

середині червня пояснюється активним перетворенням в органічні сполуки нерозчинних фосфатів мікробіодоростями хлорели, яка була внесена 3 червня 2024 року до «Тернопільського ставу» у вигляді пасти у кількості 200 кілограмів. (Регіональний офіс водних ресурсів у Тернопільській області, 2024.) Згідно літературних джерел, фосфати є ключовим біогенним елементом у гідроекосистемах, регулюючи процеси біопродуктивності, трофічних взаємодій та формування біорізноманіття. Антропогенна евтрофікація, зумовлена надмірним надходженням фосфатів, є

одним з найбільш актуальних екологічних проблем сучасності, що призводить до деградації водних екосистем та погіршення якості водного середовища (Suggey Guerra-Renteria, et al. 2019)

Висновки. Результати отриманих вимірювань свідчать про те, що мікроводорість *Chlorella vulgaris* Веїджер впливає на зниження вмісту йонів амонію (NH_4^+) і фосфатів (P_2O_5) та може бути застосована для оптимізації їх вмісту, а відтак зниження евтрофікації і природнього очищення води Тернопільського ставу протягом року.

Конфлікт інтересів: Автори заявляють про відсутність будь-яких фінансових або комерційних зв'язків, які могли б поставити під сумнів неупередженість результатів дослідження.

Фінансування та подяки: дане дослідження було профінансовано власними доходами авторів, тому конфлікту інтересів уникнуто.

Список використаної літератури:

1. Вплив фосфору на водні екосистеми. Цвітіння води. Регіональний офіс водних ресурсів у Тернопільській області. 31.07.2020 <https://rovrtto.davr.gov.ua/6374/>
2. Перспективи використання мікроводоростей у біотехнології / О.К. Золотарьова, Є.І. Шнюкова, О.О. Сиваш, Н.Ф. Михайленко; Під ред. О.К. Золотарьової. – К.: Альтерпрес, 2008. – 234с.
3. Скиба О. І. Закономірності формування вмісту та розподілу сполук фосфору у річках Тернопільщини у зв'язку із ступенем антропогенного навантаження : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : [спец.] 03.00.16 "Екологія" / Скиба Олена Ігорівна; Чернівець. нац. ун-т ім. Юрія Федьковича, [Тернопіль. нац. пед. ун-т ім. Володимира Гнатюка]. — Чернівці, 2017. — 20 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 15—18.
4. У Став внесли хлорелу, щоб вода не цвіла: скільки коштів витратили та чи допоможе це? - 20 хвилин. 04.06.2024 <https://te.20minut.ua/Podii/u-stav-vnesli-hlorelu-schob-voda-ne-tsvila-skilki-koshtiv-vitratili-ta-11930535.html>
5. Beuckels, A., Smolders, E.; Muylaert, K. (2014). Nitrogen availability influences phosphorus removal in microalgae-based wastewater treatment. *Water Res.*, 77, 98–106. *Water Research*, 77, 15 Pages 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.03.018>
6. Christine Ferrier-Pagès, Claire Godinot, Cecilia D'Angelo, Jörg Wiedenmann, Renaud Grover. *Reviews*. (2016). Phosphorus metabolism of reef organisms with algal symbionts. *Ecological monographs*. Ecological society of America. <https://doi.org/10.1002/ecm.1217>
7. Suggey Guerra-Renteria, A., Alberto García-Ramírez, M., César Gómez-Hermosillo, Abril Gómez-Guzmán, Yolanda González-García and Orfil González-Reynoso. (2019). Metabolic Pathway Analysis of Nitrogen and Phosphorus Uptake by the Consortium between *C. vulgaris* and *P. Aeruginosa*. *International Journal of Molecular Sciences*. <https://doi.org/10.21106/ijtmrph.461>

Journal of Molecular Sciences.
<https://doi.org/10.21106/ijtmrph.461>

References:

1. The impact of phosphorus on aquatic ecosystems. Water bloom 31.07.2020 [Vplyv fosforu na vodni ekosystemy. Tsvitinnia vody. Rehionalnyi ofis vodnykh resursiv u Ternopilskii oblasti] <https://rovrtto.davr.gov.ua/6374/> (in Ukrainian).
2. Prospects for the use of microalgae in biotechnology / O.K. Zolotaryova, E.I. Shnyukova, O.O. Sivash, N.F. Mykhaylenko; Under the editorship O.K. Zolotaryova. - K.: Alterpress, 2008. - 234p. [Perspektyvy vykorystannia mikrovodorostei u biotekhnolohii / O.K. Zolotarova, Ye.I. Shniukova, O.O. Syvash, N.F. Mykhailenko; Pid red. O.K. Zolotarovoї. - K.: Alterpres, 2008. - 234s.] (in Ukrainian).
3. Skiba O. I. Patterns of the formation of the content and distribution of phosphorus compounds in the rivers of Ternopil Oblast in connection with the degree of anthropogenic loading: author's abstract. thesis for obtaining sciences. candidate's degree biological Sciences: [specialist] 03.00.16 "Ecology" / Olena Igorivna Skiba; Yuriy Fedkovych Chernivtsi national University [Ternopil Volodymyr Hnatyuk National Ped. University]. — Chernivtsi, 2017. — 20 p. : ill., tab. — Bibliogr.: p. 15-18. [Skyba O. I. Zakonomirnosti formuvannia vmistu ta rozpodilu spoluk fosforu u richkakh Ternopilshchyny u zviazku iz stupenem antropohennoho navantazhennia : avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. biol. nauk : [spets.] 03.00.16 "Ekolohiia" / Skyba Olena Ihorivna; Chernivets. nats. un-t im. Yurii Fedkovycha, [Ternopil. nats. ped. un-t im. Volodymyra Hnatiuka]. — Chernivtsi, 2017. — 20 s. : il., tabl. — Bibliogr.: s. 15—18 (30 nazv). (in Ukrainian).
4. Chlorella was introduced in Stav to prevent the water from blooming: how much was spent and will it help? - 20 minutes. 04.06.2024 [U Stav vnesly khlorely, shchob voda ne tsvila: skilky koshtiv vytratily ta chy dopomozhe tse? - 20 khvylyn] <https://te.20minut.ua/Podii/u-stav-vnesli-hlorelu-schob-voda-ne-tsvila-skilki-koshtiv-vitratili-ta-11930535.html> (in Ukrainian).
5. Beuckels, A., Smolders, E.; Muylaert, K. (2015). Nitrogen availability influences phosphorus removal in microalgae-based wastewater treatment. *Water Res.* 2014, 77, 98–106. *Water Research*, 77, 15 Pages 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.03.018>
6. Christine Ferrier-Pagès, Claire Godinot, Cecilia D'Angelo, Jörg Wiedenmann, Renaud Grover. *Reviews*. (2016). Phosphorus metabolism of reef organisms with algal symbionts. *Ecological monographs*. Ecological society of America. <https://doi.org/10.1002/ecm.1217>
7. Suggey Guerra-Renteria, A., Alberto García-Ramírez, M., César Gómez-Hermosillo, Abril Gómez-Guzmán, Yolanda González-García and Orfil González-Reynoso. (2019). Metabolic Pathway Analysis of Nitrogen and Phosphorus Uptake by the Consortium between *C. vulgaris* and *P. Aeruginosa*. *International Journal of Molecular Sciences*. <https://doi.org/10.21106/ijtmrph.461>

THE STATE OF PHOSPHORUS AND AMMONIUM EXCHANGE IN THE TERNOPIL RESERVOIR AND THE ROLE OF CHLORELLA IN ITS OPTIMIZATION

H. V. Chvaliuk, V. V. Hrubinko

Ternopil Volodymyr Hnatyuk National Pedagogical University

0986372888g@gmail.com

The increase in anthropogenic load on the hydroecosystem of natural reservoirs led to eutrophication, and therefore to «water bloom» with all its consequences and pollution of the habitat of hydrobionts. The aim of the article was to analyze the regulation of the content of phosphates and ammonium in the Ternopil pond. The research was conducted during 2023-2024 (from September to September), with monthly sampling every two weeks (except for the winter months, when the temperature indicators were significantly lower than the freezing temperature of water and the pond was covered with ice) at a depth of 0.5 meters. The analysis of the samples was carried out using the AI-123 ionomer and KFK-2-UHL 4.2. The following physicochemical indicators were selected for monitoring water pollution: acidity, the presence of phosphates and ammonium ions. Based on the results of the research, graphical modeling was carried out, which showed that against the background of a stable indicator of water acidity (pH), changes in the content of ammonium and phosphate ions were comparable in October-November 2023 and in May-June 2024. In July 2024, the potentials of the content of measured ions differed sharply. In our opinion, the decrease in the content of ions in the pond water in mid-June is explained by the active transformation of insoluble phosphates into organic compounds by chlorella microalgae, which was introduced into the Ternopil pond on June 3, 2024 in the form of a paste in the amount of 200 kilograms (Regional Office of Water Resources in Ternopil Region, 2024.)

Key words: phosphorus exchange, ammonium exchange, phosphate ions, ammonium ions, Ternopil Pond, eutrophication, hydroecosystem, Chlorella vulgaris Beijer

Отримано редколегією 25.10.2024

ORCID ID

Галина Чвалюк: <https://orcid.org/0000-0003-4146-0815>

Василь Грубінко: <https://orcid.org/0000-0002-4057-9374>