УДК 628.194:628.11

«АЛЬГОЛОГІЗАЦІЯ» ТЕРНОПІЛЬСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ХЛОРЕЛОЮ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ ЗАСІБ БОРОТЬБИ З СИНЬО-ЗЕЛЕНИМИ ВОДОРОСТЯМИ, ЗАПОБІГАННЯ «ЦВІТІННЯ» ТА ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДОЙМИ

[1]Грубінко В. В., [2]Калінін І. В., [1]Чвалюк Г. В., [1]Корнієнко А. Ю.

[1]Тернопільський національний педагогічний університет
імені Володимира Гнатюка
[2] Національний університет біоресурсів і природокористування
E-mail: arkorniienko@gmail.com

Водосховище «Тернопільський став» є типовим прикладом гідроекосистеми в антропогенно трансформованому середовищі. Ця водойма створена штучно, але у упродовж довготривалого формування вона набула властивостей і характеру природної. Враховуючи те, що всі процеси становлення природного режиму і входження водойми в природну нішу значно прискорені, вона є багатогранною природною лабораторією.

«Тернопільський став» належить до водосховищ особливої категорії внутрішніх водойм із специфічними особливостями водообміну, проточності, сезонних змін гідрологічних, гідрохімічних та гідробіологічних характеристик [1]. Водосховище «Тернопільський став» –зарегульований водотік р. Серет – лівої притоки р. Дністер. Гідрологічна характеристика водосховища: площа водозбірного басейну до межі гідровузла, км^2 – 9,26; Об'єм стоку, млн. м^3 - річний 17, повіддя - +6 [1].

Якість водного середовища у ньому формується під впливом трьох факторів: природних і господарських умов формування стоку на водозаборі, кількості і якості стічних вод та інших джерел забруднення водойми, а також процесів, що протікають у самому водосховищі, які значною мірою визначаються його гідрохімічними та гідрологічними особливостями, зокрема, інтенсивністю водообміну.

Особливий функціональний статус в екосистемах такого типу займають водні рослини, які є біофільтраторами, формують як продукцію водойми, так і є чинником колообігу речовин у ній

через підтримання балансу кисню та вуглекислоти. Поява у водоймі евтрофних видів (водоростей, особливо, синьо-зелених), тобто тих, що потребують для свого зростання збільшеного вмісту поживних речовин, є показником алохтонного забруднення, що унаслідок евтрофікації потім набуває автохтонного характеру.

Під впливом забруднюючих речовин у екосистемі ставу відмічено порушення трофічних зв'язків, евтрофікацію і інші несприятливі екологічні процеси. Усе це зменшує темпи росту гідробіонтів, їх плодючість, а в деяких випадках призводить до їх загибелі. Натомість, збільшення продукційного потенціалу водойми, як наслідок антропогенної евтрофікації, забезпечується як збільшенням продукції фітопланктону в пелагіалі, так і за рахунок вищої водної рослинності та нитчастих водоростей в літоралі. Тому важливою складовою евтрофікації водойм є їх інтенсивне заростання, замулювання і заболочення, а відтак, накопичення за рахунок гниття органічних залишків біоти ставу та надходження з поверхневим стоком органічних речовин.

На основі загальної екологічної характеристики водосховища «Тернопільський став» видається необхідною комплексне здійснення заходів з екологічної оптимізації ставу, насамперед моделювання екологічного стану цієї екосистеми з метою запобігання евтрофікації.

Одним з трендів екологізації водойм є необхідність запровадження адаптаційних заходів для зменшення негативного впливу змін клімату та ефективного пристосування до нових умов. Однією з основних проблем є біологічне забруднення вод природних водоймищ патогенними та умовно-патогенними мікроорганізмами і альгофлорою, яке відбувається в результаті надходження в них стічних вод з прибережних населених пунктів, промислових вод, багатих на органічні сполуки з поживними речовинами для мікроводоростей. Основними ознаками евтрофікації є збільшення біомаси фітопланктону, масовий розвиток водоростей до рівня «цвітіння» води, зменшення концентрації розчиненого кисню на заключному етапі вегетації – при масовому відмиранні водоростей.

Вирішення проблеми збереження та відновлення природних ресурсів України можливе шляхом розробки і подальшої реалізації

науково обґрунтованих планів водного та екологічного менеджменту із застосуванням біологічних способів боротьби зі шкідливими видами. Ці способи повинні враховувати не тільки сучасні умови формування гідроекологічного режиму природних водойм, але й їх зміни, що очікуються внаслідок впливу антропогенної діяльності та впливу кліматичних чинників [2].

Застосування хлорели відбувається вже давно і успішно, але в аквакультурі ця водорість може з успіхом застосовуватися, зокрема, як біологічний меліоратор, що очищує водойми і покращує якість води. Розвиток хлорели у водоймі пригнічує розвиток синьо-зелених водоростей, особливо в умовах підвищеної температури води, і це зберігає необхідний для вирощування гідробіонтів кисень у воді та забезпечує її належну кислотність. На сучасному етапі інноваційним підходом, який значно дозволяє знизити рівень забруднення водойм та покращити органолептичні властивості води, є біоремедіація водойм суспензією хлорели, яка основана на альголізації водойм планктонними штамами зеленої мікроводорості *Chlorella vulgaris*. Технологія заснована на біологічних властивостях живої планктонної хлорели пригнічувати дію синьо-зелених водоростей (ціанобактерій). Хлорела проявляє природну конкуренцію та здатна впливати на витіснення синьозелених водоростей з водойм, ліквідує наслідки «цвітіння»: очищує воду, насичує її киснем, відновлює популяцію фіто- та зоопланктону забезпечує рибу природною кормовою базою.

Очищуючи водне середовище від біогенних елементів (N і P), водні рослини ще й стримують «цвітіння» води синьо-зеленими водоростями. Перспективним напрямком зниження евтрофікації вод і захисту їх від забруднення є альголізація водойм хлорелою. Штам має здатність «вільного» і рівномірного розподілу в середовищі. Потрапляючи у водойму, планктонна хлорела не осідає на дно і не прилипає до вищої рослинності, а знаходиться і розвивається у верхньому (до 40–100 сантиметрів) шарі води, інтенсивно фотосинтезується та поділяється. За кілька днів хлорела стає домінуючою мікроводорістю в шарі води, насичуючи його киснем і видаляючи з нього надлишки вуглекислого газу, органічних і неорганічних речовин.

Метод внесення до водойми хлорели крім вирішення основного поставленого завдання – ліквідація «цвітіння» синьо-зелених водоростей, забезпечує значне поліпшення якості води; істотне зниження бактеріального забруднення води патогенною мікрофлорою; збільшення кількості розчиненого кисню у воді до норми протягом всього вегетативного періоду; збільшення кормових ресурсів фауни водойм; відмова від застосування вапнування і інших способів пригнічення фіто- і зоопланктону. Впроваджені штами хлорели, на відміну від аборигенних, постійно присутніх в кожній водоймі, володіють добре вираженими планктонними властивостями і пригнічують розвиток синьо-зелених водоростей, тим самим запобігаючи «цвітінню» води.

В Тернопільському водосховищі на основі реалізації «Комплексної програми розвитку водосховища «Тернопільський став» на 2017-2019 роки» на площі 311 га (середня глибина) близько 10 м навесні (на початку травня) 2021 р. було внесено хлорелу разом з *Scenedesmus* у вигляді «хлорелової пасти». Як зазначалося вище, забруднення водойми було суттєвим, насамперед важкими металами, нафтопродуктами, ПАР, тощо. У попередні роки відмічали активне «цвітіння» води, її залужнення унаслідок амонізації решток гниючих рослин та відмерлих водоростей [1, 2].

Про успішність розмноження *Ch. vulgaris* свідчить динаміка вмісту клітин та загальна біомаса та біомаси основних органічних компонентів. Упродовж перших 18 діб культивування спостерігали експоненціальне наростання кількості клітин у 5,3 раза до $269{,}2 \pm 3{,}0 \cdot 10^6$ клітин/дм^3 порівняно з їх кількістю у початково – $51{,}2 \pm 1{,}6 \cdot 10^6$ клітин/ дм^3 ($p < 0{,}05$), після чого протягом усього терміну культивування показник кількості клітин хлорели був постійним у межах $110{,}1 \pm 5{,}2 \cdot 10^6$ клітин/ дм^3 (у 2,1 раза більше порівняно з їх кількістю початково ($p < 0{,}05$).

За визначених умов досліду, вміст основних органічних компонентів клітин *Ch. vulgaris* становив від загальної біомаси: протеїни – 54%, вуглеводи – 32%, ліпіди – 14%. Упродовж експоненціальної фази у 3,8 раза зріс вміст протеїнів, у 6,3 – вуглеводів, у 3,0 – ліпідів ($p < 0{,}05$). Надалі до 21–25-ї доби культивування вміст протеїнів був на рівні близько 60 мг сухої

маси/дм^3, вуглеводів – 35, ліпідів – 12 мг. Співвідношення вуглеводи:протеїни:ліпіди становило: на початку культивування – 5,4:3,2:1,4; на стадії завершення експоненціального росту – 4,7:4,5:0,8; на стадії стаціонарного росту – 5,6:3,3:1,1.

В процесі самокультивування упродовж 1-го місяця спостерігали пригнічення розвитку синьо-зелених водоростей, частка яких зменшилася до 30% у альгопробах, натомість частка клітин хлорели становила 70% від загальної кількості клітин водоростей, а їх біомаса зросла у 5 разів.

Отже, упродовж вегетативного сезону клітини хлорели активно вегетували у літні місяці, а зменшення їх вмісту, аж до практичного повного припинення вегетації, відбулося зі зменшенням температурного показника води до 4-6° С. Призупинився процес евтрофікації водойми, відбувалося пригнічення розвитку заростання вищою рослинністю, суттєво знизилися показники вмісту сполук азоту та фосфору в воді. Оптимізація вплинула на pH води (показник знизився до рівня 7,11) проти забруднення амонієм у квітні – 7,34. Упроваджений штам хлорели, володіює добре вираженими планктонними властивостями і пригнічує розвиток синьо-зелених водоростей, тим самим запобігаючи «цвітінню» води.

У результаті комплексного гідроекологічного дослідження водосховища «Тернопільський став» шляхом порівняння отриманих показників з екологічними нормативами та стандартами якості навколишнього середовища покращено екологічну безпеку ситуацію в цілому.

1. Альгологізація позитивно впливає на показники води. Вода придонних шарів звично в нормі характеризується стабільним низьким, однак вищим від критично рівня, вмістом кисню, який активно використовується в екосистемі на окиснення органічних речовин. Вміст вуглекислоти знаходиться в межах допустимого рівня та свідчить про переважання її форми гідрокарбонат-йон (HCO_3^-).
2. Вода є слабколужною, що і сприяє перебуванню вуглекислоти у формі гідрокарбонат-йону. Причиною лужності води є як гниття органічних речовин у придонному шарі та мулі, так і засолення водойми лужними еквівалентами змивного

походження.

3. Одним із критичних факторів у водоймі є амоніфікація та накопичення аміаку. Найбільш забруднена аміаком вода є на ділянках її застою (перевищення ГДК майже у 3 рази).
4. Значне забруднення ставу органічними речовинами антропогенного походження: вміст нафтопродуктів перевищує допустимі норми практично у 8 разів; вміст поверхнево-активних речовин перевищує допустимі значення у 1,5-5 разів; вміст фенолів у мулі перевищує допустимий рівень у 2-6 разів; значення показника $БСК_5$ у водосховищі близьке до допустимого, але переважає його у 1,4 раза біля причалу катерів.

Список літератури

1. Грубінко В. В., Гуменюк Г. Б., Волік О. В., Свинко Й. М., Маккарті Ф. Г. Екосистема зарегульованої водойми в умовах урбонавантаження: на прикладі Тернопільського водосховища / за ред. В.В. Грубінка. – Тернопіль : Вектор, 2013. – 201 с.
2. Гандзюра В. П., Грубінко В. В. Концепція шкодочинності в екології. Київ–Тернопіль: Вид–во ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2008. 144 с.
3. «Перелік забруднюючих речовин для визначення хімічного стану масивів поверхневих і підземних вод та екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод». Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України 06.02.2017 № 45. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 20 лютого 2017 р. за № 235/30103.