

УДК 504.062:551.4

ЖИТТЄВІ СТРАТЕГІЇ ЦІАНОБАКТЕРІЙ У ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМАХ

Т. М. Крейч

здобувачка вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, група ЕКО-1 ІІІт,
навчально-науковий інститут агроєкології та землеустрою

Науковий керівник – д.б.н., доцент О. О. Бєдункова

*Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне, Україна*

У статті проведено аналіз життєвих стратегій водоростей, що здатні призводити до явища «цвітіння» у водних екосистемах. Описано річні моделі цвітіння ціанобактерій, діатомових водоростей та динофлагеллят, що ілюструють життєві стратегії організмів та доводять існування стійкого цілорічного явища «цвітіння» як природних сукцесій прісноводних екосистем.

Ключові слова: цвітіння, прісноводні екосистеми, евтрофікація, сукцесії.

The article analyzes the life strategies of algae that can lead to the phenomenon of «bloom» in aquatic ecosystems. The annual bloom patterns of cyanobacteria, diatoms and dinoflagellates are described, which illustrate the life strategies of organisms and prove the existence of a stable year-round phenomenon of «bloom» as a natural succession of freshwater ecosystems.

Keywords: bloom, freshwater ecosystems, eutrophication, successions.

Зі збільшенням антропогенного забруднення водойм, глобальних масштабів набуло цвітіння ціанобактерій. Ці фотосинтезуючі прокаріоти представляють велику групу (більше 1000 видів) синьо-зелених водоростей, що мешкають не тільки в прісній та морській воді, а й у вологому ґрунті. Особливу небезпеку ціанобактерії несуть для водних екосистем, адже при виділенні їх вторинних метаболітів до води потрапляють так звані ціанотоксини, що загрожують суспільствам безхребетних та хребетних гідробіонтів, а також містять потенційний негативний вплив на здоров'я людини.

Ціанотоксини стали новою галуззю досліджень у водній токсикології. Повідомляється, що ступінь прояву токсичних ефектів ціанобактерій залежить від характеристик довкілля: температура, доступність поживних речовин та доступність світла у вразливих прісноводних системах [1]. Продукування ціанотоксинів у останні десятиріччя збільшилося внаслідок глобальної зміни клімату та взаємодії підвищених температур води зі збільшеною інтенсивністю ультрафіолетового випромінювання [2]. За хімічною природою токсини ціанобактерій поділяються на три основні групи: пептиди (циклічні та лінійні), алкалоїди та ліпополісахариди [3]. Перші та другі – це вторинні метаболіти, що не беруть участі у загальному метаболізмі. Ліпополісахариди є структурними компонентами зовнішньої клітинної мембрани [4]. Ціанотоксини можуть чинити імунотоксичність, нейротоксичність, генотоксичність і мутагенність, канцерогенність, дерматотоксичність і ембріотоксичність [5].

Метою нашої статті був теоретичний аналіз життєвих стратегій водоростей, що здатні призводити до явища «цвітіння» у водних екосистемах. Для досягнення поставленої мети проводили огляд сучасних наукових літературних джерел щодо оптимальних умов розвитку

ціанобактерій та їх конкурентів у просторі та харчуванні, що мають місце за різних сезонів року.

Ціанобактерії, також відомі як синьо-зелені водорості, в прісних водоймах проявляють сезонні коливання розвитку. І хоча температурний діапазон їх існування достатньо широкий, вони все ж таки впродовж року зазнають конкуренції від діатомових водоростей, зелених водоростей та динофлагеллят. Оскільки ці види здатні до «цвітіння» та синтезу ціанотоксинів, всі вони беруть участь у внутрішній конкуренції за простір та інші ресурси. Внутрішньовидова конкуренція – це стратегія, що дозволяє популяціям водоростей співіснувати чи перевершувати аналогічні види [6].

У прісноводних екосистемах доступність поживних речовин, температура та освітленість визначають розмір екологічних ніш фітопланктону. Окремі екологічні ніші пов'язані з основними стратегіями виживання організмів. Зокрема, вони базуються на фізіологічних та морфологічних особливостях фітопланктону. Фізіологічні та морфологічні ознаки ціанобактерій, діатомових водоростей і динофлагеллят вказують на те, що вони мають окремі екологічні ніші, які частково перекриваються [7].

Оптимальна швидкість росту ціанобактерій припадає на температури вищі 25° С. Вони також потребують значних концентрацій фосфору, а тому масово розвиваються за низького відношення N:P у воді. Діатомові водорості добре ростуть за температури $\geq 10^{\circ}$ С, а їхній оптимальний температурний діапазон зазвичай становить 15–20° С. Діатомеї володіють підвищеною швидкістю поглинання азоту, хоча дефіцит фосфатів може уповільнювати їх розвиток. Динофлагелляти починають добре розвиватись також за температури $\geq 10^{\circ}$ С, при цьому, їх оптимальний температурний діапазон зазвичай становить 20–27 °С. Вони добре ростуть у воді з низьким вмістом фосфору та високим відношенням N:P [8].

Важливим абіотичним чинником для цих видів водоростей є тривалість та інтенсивність сонячного освітлення. Так, найбільшу чутливість до інтенсивності освітлення проявляють діатомові водорості і лише дуже обмежене число їх видів можуть виживати в темноті. Динофлагелляти дещо менш чутливі до коливань інтенсивності освітлення ніж діатомеї. Ціанобактерії можуть зростати при більш низькій інтенсивності світла та фотосинтезувати з використанням енергії випромінювання більшої кількості довжин хвиль. Це дозволяє ціанобактеріям рости в «тіні» іншого фітопланктону і зрештою витіснити їх. Ціанобактерії отримують таку конкурентну перевагу завдяки тому, що поруч із хлорофілом у їхніх клітинах містяться пігменти фікобіліпротеїни, зокрема аллофікоціанін (блакитний), фікоціанін (синій) та іноді фікоеритрин (червоний). Ці пігменти поглинають світло у зелених, жовтих та помаранчевих довжинах хвиль (500–650 нм), що є унікальним серед видів фітопланктону [9].

Так, з'являється міжвидова конкуренція, що власне і пояснює, чому ціанобактерії переважають у цвітінні влітку, а діатомеї та динофлагелляти найбільш численні у зимово-весняний період. Різні стратегії виживання ціанобактерій, діатомових водоростей та динофлагеллят призводять до різних моделей їх щорічного цвітіння [6]. Як правило, цвітіння ціанобактерій, діатомових, динофлагеллят повторюється щорічно відповідно до послідовної схеми. Діатомові водорості зазвичай домінують у цвітінні пізньої весни, ціанобактерії переважають у літньо-осінньому цвітінні, а консорціями діатомеї та динофлагеллят переважають у зимово-весняному цвітінні в евтрофних прісноводних екосистемах (рисунок).

Діатомові водорості домінують під час весняного цвітіння у три етапи. Перший етап проявляється заселенням дрібними видами, що швидко ростуть (> 10 мкм) після сильного перемішування під час льодоходу. Другий етап припадає на танення снігу і період дощів ранньою весною. Тут з'являється більша кількість дрібних видів діатомеї, що часто утворюють довгі ланцюжки в середині та наприкінці весни. Нарешті, третій етап відбувається у міру того, як поживні речовини споживаються, а температура та інтенсивність

освітлення збільшуються наприкінці весни та на початку літа. Кількість видів діатомей при цьому починає скорочуватися.

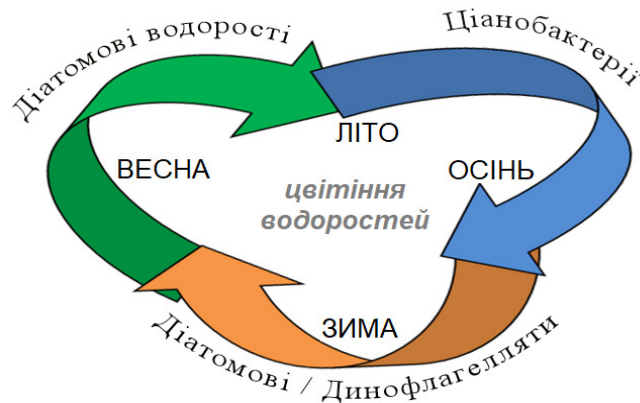


Рисунок. Щорічні закономірності цвітіння ціанобактерій, діатомей та динофлагеллят у прісноводних екосистемах [8]

Деякі діатомові водорості старіють, тоді як інші опускаються нижче евфотичної зони і зупиняються у донних відкладеннях. Згодом газові везикули сприяють розмноженню ціанобактерій в евфотичній зоні і таким чином займають теплі шари води, куди проникає світло в стратифікованих літніх умовах. Інтенсивне цвітіння ціанобактерій починається з підвищенням температури влітку поряд з антропогенним надходженням поживних речовин. Ціанобактерії виснажують біодоступні поживні речовини, а температура й інтенсивність світла знижуються, внаслідок чого цвітіння ціанобактерій зменшується та зникає приблизно в кінці літа і восени. На наступному етапі річної сукцесії переважає група діатомових/динофлагеллят. Із підвищенням температури від зими до весни відношення N:P у товщі води знижується, що призводить до зміни домінуючих видів від динофлагеллят до діатомових [8; 10].

Таким чином, проведений аналіз дозволив відстежити річні моделі цвітіння ціанобактерій, діатомових водоростей та динофлагеллят, що ілюструють життєві стратегії організмів та доводять існування стійкого цілорічного явища «цвітіння» як природних сукцесій прісноводних екосистем.

1. Banerjee S., Maity S., Guchhait R. et al. Toxic effects of cyanotoxins in teleost fish: A comprehensive review. *Aquatic Toxicology*. 2021. Vol. 240. P. 105971.
2. Planavsky N., Asael D., Hofmann A. et al. Evidence for oxygenic photosynthesis half a billion years before the Great Oxidation Event. *Nature Geoscience*. 2014. Vol. 7, № 4. P. 283–286.
3. Metcalf J. S., Codd G. A. Co-Occurrence of Cyanobacteria and Cyanotoxins with Other Environmental Health Hazards: Impacts and Implications. *Toxins*. 2020. Vol. 12, № 10. P. 629.
4. Rzymiski P., Poniedziałek B. In search of environmental role of cylindrospermopsin: A review on global distribution and ecology of its producers. *Water Research*. 2014. Vol. 66. P. 320–337.
5. Quiblier C., Wood S., Echenique-Subiabre I. et al. A review of current knowledge on toxic benthic freshwater cyanobacteria – Ecology, toxin production and risk management. *Water Research*. 2013. Vol. 47, № 15. P. 5464–5479.
6. Zhang Y., Whalen J. K., Cai C. et al. Harmful cyanobacteria-diatom/dinoflagellate blooms and their cyanotoxins in freshwaters: A nonnegligible chronic health and ecological hazard. *Water Research*. 2023. Vol. 233. P. 119807.
7. Brun P., Vogt M., Payne M. R. et al. Ecological niches of open ocean phytoplankton taxa. *Limnology and Oceanography*. 2015. Vol. 60, № 3. P. 1020–1038.
8. Zhou Z.-X., Yu R.-C., Zhou M.-J. Seasonal succession of microalgal blooms from diatoms to dinoflagellates in the East China Sea: A numerical simulation study. *Ecological Modelling*. 2017. Vol. 360. P. 150–162.
9. Huisman J., Codd GA, Paerl HW et al. Cyanobacterial blooms. *Nature Reviews Microbiology*. 2018. Vol. 16. P. 471–483.
10. Kong X., Seewald M., Dadi T. et al. Unravelling winter diatom blooms in temperate lakes using high frequency data and ecological modeling. *Water Research*. 2021. Vol. 190. P. 116681.