

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2025.2.3>

УДК 556.5

Панасюк А.О.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ЯВИЩЕ “ЦВІТІННЯ” ВОДИ (АНАЛІЗ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗАКОРДОННИХ УЧЕНИХ)

В статті представлено досвід дослідження явища «цвітіння» води у водоймах різних країн. На основі закордонних літературних джерел проведено аналіз гідрологічних умов формування явища «цвітіння води». Проведено оцінку висвітлення проблематики досліджень явища цвітіння води в закордонних працях.

Показано в дослідження помірних і субтропічних регіонів високий вплив поживних речовин і температури на цвітіння, проте в більшості праць для тропіків цей зв'язок все ще детально не вивчений. В наукових працях, які розглядають проблематику цвітіння водойм в тропіках зазначається, що баланс між домінуванням занурених макрофітів або ціанобактерій є чутливим до температури з сильнішими позитивними ефектами зниження, як інгібування цвітіння ціанобактерій, яке очікується в більш холодному кліматі.

В статті китайських авторів висвітлено, що процес замерзання-відтавання (freeze-thaw, freezeup, thawing) прямо чи опосередковано впливає на появу весняного цвітіння водоростей, впливаючи на біогеохімічний процес.

В переважній більшості закордонних наукових статей автори пропонують інтенсивніше проводити моніторинг якості води в озерах і особливо на водосховищах.

Основним результатом дослідження є визначення того, що в переважній більшості закордонних наукових праць, які розглядають проблематику дослідження явища цвітіння води, результати досліджень особливо не різняться від вітчизняних.

***Ключові слова:** вода; водойми, цвітіння води, гідрологічні умови, водорості, ціанобактерії, фітопланктон.*

Вступ. В окремих країнах Європи (Швейцарії, Норвегія, Люксембург) можна пити воду з-під крану і не переживати з приводу її якості. Проте в переважній більшості країн світу якість води далека від норм і стандартів. Даний процес погіршує стан забезпечення водними ресурсами населення певних регіонів і цілих країн.

В умовах масштабного виснаження водних ресурсів відбувається деградація водних екосистем, що супроводжується інтенсивним забрудненням водотоків, які забезпечують населення питною водою. Проблеми забезпечення питною водою через інтенсифікацію забруднення водних екосистем становлять серйозний виклик для забезпечення сталого розвитку суспільства.

Як зазначають вчені гідрологи та екологи, перевищення концентрації хімічних речовин або значень показників фізичних властивостей води у водних об'єктах понад гранично допустимими концентраціями (ГДК) спричиняють погіршення якості води у водоймах.

Дослідження водних екосистем є пріоритетними у напрямках досліджень переважної більшості наукових установ країн Європи, Америки і Азії, оскільки саме в межах цих частин світу спостерігається найбільш інтенсивне використання водних ресурсів населенням, галузями промисловості та сільського господарства.

Аналіз проблеми дослідження. Дослідженнями екологічного стану водойм зайняті провідні наукові установи переважної більшості країн. Наприклад, провідною науковою установою, яка займається дослідженням “цвітіння” водойм Австралії є університет Аделаїди, науковці вивчають процеси евтрофікації річок і озер континенту. Дослідження “цвітіння” води в водоймах Індії переважно зосереджені в ICAR (Центральний науково-дослідний інституту внутрішнього рибальства). У центрі уваги досліджень є аналіз впливу господарської діяльності людини на екологічний стан водойм. Дослідження процесу цвітіння води у водоймах Південної Америки проводяться науковцями з державного університету Парайби, основні дослідження стосуються евтрофікації річок басейну

Амазонки та озер. Дослідження процесів “цвітіння” води в Південній Кореї здійснюються науковцями Хангумського національного університету. Їх дослідження переважно стосуються оцінки впливу зарегульованості природних водойм на стан їх евтрофікації. Проаналізовані наукові статті присвячені оцінці впливу господарської діяльності людини на екологічний стан водойм та на оцінку факторів, які інтенсифікують процес масового розмноження водоростей у водоймах, що призводить до “цвітіння” води і масової загибелі риби [1-11].

Мета, об’єкт і предмет дослідження. Кліматичні зміни планетарного масштабу призводять до погіршення екологічного стану особливо прісних водойм. Останні стають все менше придатними для використання їх з метою задоволення господарських потреб людей. Причини формування явища “цвітіння” води у водоймах в результаті зниження швидкості течії річок та руху води в штучних водоймах, які створені на річках, а також в природних озерах на території України та зростання температури показано нами у попередній статті [12].

Об’єктом даного дослідження є зарубіжні наукові підходи до вивчення явища цвітіння води.

Предметом — гідрологічні умови формування цвітіння води та фактори, що його інтенсифікують у різних кліматичних умовах.

Метою дослідження було проаналізувати стан вивчення проблеми «цвітіння» води в закордонних наукових працях.

Серед невирішеної проблематики досліджень залишається слабка оцінка щодо тенденції поширення “цвітіння” води в умовах планетарних кліматичних змін.

Матеріали і методи дослідження. Для аналізу проблематики дослідження було використано наукові праці зарубіжних вчених, присвячені явищу “цвітіння” води. Застосовано такі методи: компаративний, аналітичний, моніторинговий, картографічний аналіз, інтерпретація супутникових даних, а також комплексний підхід до екосистемного аналізу.

Представлена робота відображає аналітичний матеріал щодо аналізу формування явища “цвітіння” води в різних країнах.

Результати досліджень. Особливості формування процесу цвітіння води детально досліджено в статті Anna Rigosi and Justin D. Brookes (Університет Аделаїди, Австралія) Cayelan C. Carey (Вірджинський політехнічний інститут, США) та Bas W. Ibelings (Женевський університет, Швейцарія). За даними статті передбачається, що чисельність ціанобактерій у водоймах збільшиться через зміни клімату та зростання інтенсивності землекористування. Однак аналіз показав, що відносна важливість і взаємодія підвищення температури та збільшення доступності поживних речовин у визначенні цвітіння ціанобактерій невідомі. Авторами статті досліджено внесок цих двох факторів у сприяння розвитку фітопланктону та біомаси ціанобактерій у прісноводних озерах.

Зокрема, автори зазначають:

1. Який із цих двох чинників, температура чи поживні речовини, є кращим індикатором об’єму ціанобактерій?

2. Чи істотно взаємодіють поживні речовини та температура, впливаючи на фітопланктон і ціанобактерії, і якщо так, чи є ця взаємодія синергетичною?

3. Чи пояснює взаємодія між цими факторами більшу частину дисперсії в біомасі ціанобактерій, ніж кожен фактор окремо?

Авторами було проаналізовано дані з 1000 озер США, які продемонстрували, що в більшості випадків взаємодія температури і поживних речовин не була синергічною; скоріше, поживні речовини переважно контролювали біооб’єм ціанобактерій. Цікаво, що відносна важливість цих двох факторів і їх взаємодія залежали від конкретного озера, його трофічного стану і таксону ціанобактерій. За даними досліджень авторів, поживні речовини відігравали більшу роль в оліготрофних озерах, тоді як температура була більш важливою в мезотрофних озерах: лише евтрофні та гіперевтрофні озера демонстрували значну взаємодію між поживними речовинами та температурою. Подібним чином деякі таксони, такі як *Anabaena*, були більш чутливими до поживних речовин, тоді як інші, такі як *Microcystis*, були більш чутливими до температури.

Вчені порівняли свої результати з результатами інших авторів та виявили, що вони загалом підтверджуються попередніми дослідженнями. По мірі того, як озера стають більш евтрофні, ціанобактерії будуть більш чутливими до взаємодії поживних речовин і температури, але в кінцевому підсумку поживні речовини є важливішим індикатором біооб'єму ціанобактерій [1].

Дослідження процесу "цвітіння" води у європейських водоймах в результаті інтенсивного розвитку ціанобактерій висвітлено в праці Elisabeth S. Bakker (Нідерландський інститут екології) & Sabine Hilt (Інститут прісноводної екології та внутрішнього рибальства Німеччини). В статті зазначається, що зміна клімату може сприяти розквіту шкідливих ціанобактерій у евтрофних водах через збільшення посух або повеней. Авторами досліджено, як коливання рівня води впливають на початок цвітіння ціанобактерій, і на основі власних спостережень та аналізу тематичних досліджень ними обговорено варіанти та підводні камені використання коливань рівня води для управління озерами та водосховищами. На основі досліджень вчені стверджують, що зниження рівнів води влітку спричиняє збільшення часу утримання та підвищення концентрації поживних речовин у водній товщі та температури мілководних шарів, що може призвести до сильного цвітіння ціанобактерій. Цей ефект потенційно може бути нейтралізований позитивною реакцією занурених макрофітів, які конкурують за поживні речовини з ціанобактеріями, з більшою ймовірністю цвітіння ціанобактерій в умовах евтрофії. Баланс між домінуванням занурених макрофітів або ціанобактерій є чутливим до температури з сильнішими позитивними ефектами зниження, як інгібування цвітіння ціанобактерій, яке очікується в більш холодному кліматі. Автори дійшли висновку, що повне висихання водойм зменшує кількість ціанобактерій у водній товщі після повторного заповнення, з нижчими концентраціями поживних речовин у воді, меншою біомасою риби, меншою чисельністю ціанобактерій, більшою прозорістю та більшим покриттям занурених рослин порівняно з озерами та водосховищами, які не висихали. Підвищення рівня води під час повені має контрастний вплив на чисельність ціанобактерій залежно від якості води. В своїй праці вчені дійшли висновку, що управління коливаннями рівня води має потенціал для регулювання цвітіння ціанобактерій. Однак на думку авторів статті, успіх значною мірою залежатиме від властивостей екосистеми, включаючи її морфометрію, типу осаду, часу утримання води, якості вхідної води, наявності зануреної рослинності, чисельності риби та клімату [7].

Дослідження "цвітіння" води в озерах високих і низьких широт азіяського континенту висвітлене в науковій праці колективу китайських вчених Zhao, Z.; Liu, X.; Wu, Y.; Zhang, G.; Dai, C.; Qiao, G.; Ma, Y. з Інституту збереження води і електрики, дослідного Інституту лісу та Інституту географії та археології. Авторами на основі аналізу літератури досліджено вплив процесів замерзання-скресання на біогенність озера, фізико-хімічні властивості води і гідродинамічні характеристики на розвиток весняного фітопланктону. Встановлено, що процес замерзання-скресання (freeze-thaw, freezeup, thawing) прямо чи опосередковано впливає на появу весняного цвітіння водоростей, впливаючи на біогеохімічний процес. Автори стверджують, що перетворення фосфору в озерах під час процесів їх замерзання-танення пояснює весняне цвітіння водоростей краще, ніж просто вміст азоту. Тому на думку китайських вчених моніторинг і контроль за фосфоровмісними речовинами необхідно посилювати протягом усього заморожування-розморожування і процесів танення в озерах. Вони зазначають, що весняне цвітіння водоростей в озерах буде характеризуватися такими чинниками як: розширення їх ареалу, збільшення інтенсивності цвітіння, зміни часу виникнення та подовження тривалості цвітіння в умовах зміни клімату та діяльності людини. В своїй праці автори запропонували стратегії запобігання та боротьби з весняним цвітінням водоростей в озерах у майбутньому [11].

Серед запропонованих стратегій автори визначають:

1. Посилення високочастотного моніторингу даних щодо якості озерної води та чисельності планктону, необхідних для точного визначення лімітуючого порогу поживних речовин для весняного цвітіння водоростей.

2. Рекомендація прибирання снігу на поверхні льоду під час періоду замерзання для зменшення надходження зовнішніх забруднюючих речовин навесні.

3. У період скресання слід звернути увагу на виділення поживних речовин, особливо фосфору, викликаного повторним суспендуванням осаду.

4. Встановлення циркуляційних насосів у місцях з підвищеною концентрацією забруднювачів озера у період відлиги для посилення гідродинамічної циркуляції на локальних ділянках.

Дослідження процесів цвітіння води в Південній Кореї висвітлене в спільній статті Jaeyoung Kim, Dongil Seo з Хангумського національного університету та John R. Jones Університету Міссурі (США). Метою дослідження були внутрішньо струмові споруди, які потенційно посилюють шкідливе цвітіння водоростей (ШЦВ), збільшують тривалість їх перебування у воді та погіршують якість води. Автори вважають, що видалення або контроль воріт внутрішньо струмових структур є важливим інструментом управління для зменшення ШЦВ. Проте автори зазначають, що необхідна попередня оцінка, щоб оцінити вплив структурних модифікацій на контроль ШЦВ. Дослідження вченими було зосереджене на факторах, що впливають на появу ШЦВ у зв'язку з роботою трьох водозливів із використанням тривимірної гідродинамічної моделі якості води.

У дослідженні доведено, що нові гідрологічні ідеї для досліджуваного регіону річки Хеум: фізичні зміни внаслідок відкриття воріт водозливів не можуть гарантувати покращення якості води та зменшення біомаси ціанобактерій. За даними авторів статті чисельність ціанобактерій, основного компонента ШЦВ, зменшилася у верхній частині течії річки, але умови погіршилися протягом літа. Максимальна концентрація ціанобактерій у низовій ділянці майже подвоїлася протягом літа за сценарієм відкритих воріт. Хоча відкриті ворота для течії давали менше часу для росту водоростей, збільшували доступність світла при зменшенні глибини води, проте розчинений фосфор, який не був виснажений вище за течією, сприяв росту ціанобактерій.

За результатами досліджень, поширення цвітіння ціанобактерій нижче за течією було спричинено умовами, які посилили ріст водоростей, незважаючи на скорочений гідравлічний час перебування за сценарієм відкритих воріт. Результати досліджень корейських вчених показують, що гідрологічне регулювання може не покращити якість води, а також може вплинути на просторовий і часовий розподіл ціанобактерій у системі. Зменшення ШЦВ, ймовірно, вимагатиме зменшення навантаження забруднення [8].

Дослідження цвітіння води в водоймах Індії висвітлено в статті das Sarkar, S., Bera, A. K., & Kumari, S. з ICAR (Центрального науково-дослідного інституту внутрішнього рибальства, Індія). В статті авторами доведено, що цвітіння внутрішніх мікрководоростей є однією з біологічних характеристик водної екосистеми, яка загрожує різноманіттю низової біоти та суттєво погіршує стале функціонування екосистеми. Це явище є поширеним у глобальних водних екосистемах, незалежно від різного кліматичного режиму.

За даними досліджень, які наведені в статті, цвітіння, зазвичай, відбувається там, де присутній високий рівень поживних речовин, а також теплі, сонячні та спокійні умови. Однак автори зазначають, що людська діяльність часто може спровокувати або прискорити цвітіння водоростей. Природні джерела поживних речовин, таких як сполуки фосфору або азоту, можуть бути доповнені різноманітною діяльністю людини. Наприклад, у сільській місцевості поверхневий стік з сільськогосподарських угідь може змивати залишки добрив у воду. У міських районах джерела поживних речовин можуть включати очищені стічні води з септичних систем і очисних споруд, а також міські зливові стічні води, які переносять забруднюючі речовини з дифузних джерел, такі як добрива для газонів.

Автори статті стверджують, що епізоди цвітіння водоростей у природних водах відзначаються наявністю різноманітних мікрководоростей, присутність яких збігається з надходженням поживних речовин. Таким чином, у цій статті обговорено виникнення та наслідки такого руйнівного ураження прісноводних екосистем, а також його можливі причини та способи пом'якшення [2, 6, 10].

Дослідження процесу "цвітіння" води у водоймах Південної Америки представлені в науковій праці бразильських вчених Cihelio Alves Amorim, Ênio Wocylí Dantas, Ariadne do Nascimento Moura з державного університету Парайби, в якій колектив авторів приходять до висновку, що розуміння важливості змін навколишнього середовища щодо домінування ціанобактерій має вирішальне значення для належного управління водними ресурсами. Хоча дослідження помірних і субтропічних регіонів показують високий вплив поживних речовин і температури на цвітіння, для тропіків цей зв'язок все ще неясний. Відповідно, автори в своїй праці припускають, що поживні речовини та температура є основними

факторами, що спричиняють цвітіння ціанобактерій у тропічних водоймах, і ці відносини посилюються зоопланктоном. Щоб перевірити ці гіпотези, авторами було побудовано модель структурного рівняння на основі моніторингу десяти водосховищ північно-східної Бразилії. Ними проаналізовано вплив фізико-хімічних змінних і зоопланктону на цвітіння ціанобактерій і біомасу чотирьох морфотипів. За даними авторів, біомаса ціанобактерій змінювалася в межах водойм із рекордними показниками цвітіння (0,2–268,4 мг/л) у всіх з них, в основному представлених колоніальним морфотипом, а потім пікоціанобактеріями, гетероцитарними та негетероцитними нитками. Спільнота ціанобактерій була зумовлена головним чином хімічними змінними (55,14% варіації), потім фізичними (48,28%) і зоопланктоном (39,47%). За допомогою моделі структурного рівняння вчені продемонстрували, що на загальну біомасу ціанобактерій, а також на морфотипи в основному впливають всеїдні ракоподібні та загальний розчинений фосфор. Сонячна радіація, температура повітря, зона змішування та солоність були важливими для пояснення біомаси морфотипів. Модель пояснила більшість варіацій у цвітінні пікоціанобактерій (79,8%), за якими йдуть загальні ціанобактерії (62,4%), гетероцитарні нитки (59,1%), негетероцитні нитки (58,2%) і кокоїди (55,1%). На групи зоопланктону також впливали фізико-хімічні змінні, які представляли прямий і непрямий вплив на ціанобактерії. І як результат, бразильські вчені стверджують, що обґрунтованими є прогнози посилення евтрофікації. Потепління та засолення, цвітіння ціанобактерій стануть більш інтенсивним у тропічних водоймах. На їх думку, необхідно вжити відновлювальних заходів для зменшення розвитку цвітіння, таких як зовнішнє навантаження фосфору та солі, а також біоманіпуляції [3].

Висновки. В умовах масштабного виснаження водних ресурсів відбувається деградація водних екосистем, що супроводжується інтенсивним забрудненням водотоків, які забезпечують населення питною водою. Проблеми погіршення якості води є одним із ключових викликів сталого розвитку людства.

Дослідженнями екологічного стану водойм зайняті провідні наукові установи переважної більшості країн. Зокрема, в наукових працях європейських вчених стверджується, що зміна клімату може сприяти розквіту шкідливих ціанобактерій у евтрофних водах через збільшення посух або повеней. Ними досліджено, як коливання рівня води впливають на появу цвітіння ціанобактерій, і на основі спостережень із тематичних досліджень ними обговорено варіанти та підводні камені використання коливань рівня води для управління озерами та водосховищами.

Найбільшою науковою установою, яка займається дослідженням цвітінням водойм Австралії є Університет Аделаїди, науковці якого займаються дослідженням евтрофікації річок і озер континенту. “Цвітіння” води в водоймах Індії переважно вивчається в ICAR (Центральний науково-дослідний інституту внутрішнього рибальства і у центрі уваги досліджень є вплив господарської діяльності людини на екологічний стан водойм. Дослідження процесу цвітіння води у водоймах Південної Америки проводяться науковцями з державного університету Парайби, основні дослідження стосуються евтрофікації річок басейну Амазонки та озер. Процеси цвітіння води в Південній Кореї досліджуються науковцями з Хангумського національного університету, їх дослідження переважно ґрунтуються оцінці впливу зарегульованості природних водойм на їх стан евтрофікації. Проаналізовані наукові статті присвячені оцінці впливу господарської діяльності людини на екологічний стан водойм та на оцінку факторів, які інтенсифікують процес масового розмноження водоростей у водоймах, що призводить до цвітіння води і масової загибелі риби.

Дослідження цвітіння води в озерах високих і низьких широт азійського континенту висвітлене в науковій праці колективу китайських вчених з Інституту збереження води і електрики, дослідного Інституту лісу та Інституту географії та археології. Авторами досліджено вплив процесів замерзання-скресання на біогенність озера, фізико-хімічні властивості, і гідродинамічні характеристики, на розвиток весняного фітопланктону.

За даними досліджень індійських вчених, цвітіння зазвичай відбувається там, де присутній високий рівень поживних речовин, а також теплі, сонячні та спокійні умови. Однак автори зазначають, що людська діяльність часто може спровокувати або прискорити цвітіння водоростей.

Науковці Південної Америки в своїх дослідженнях помірних і субтропічних регіонів показують високий вплив поживних речовин і температури на цвітіння, для тропіків цей зв'язок все ще неясний. Відповідно, автори припускають, що поживні речовини та температура є основними факторами, що спричиняють цвітіння ціанобактерій у тропічних водоймах, і ці відносини посилюються зоопланктоном.

В сучасних умовах поглиблення екологічної кризи виникають великі перспективи у спільних дослідженнях забруднення водних об'єктів як з боку науковців України у колаборації з науковцями інших країн. Відповідно, аналіз закордонних наукових публікацій дасть можливість зрозуміти існуючі методики дослідження явища "цвітіння" води.

Список літератури

1. *Anna Rigosi, Cayelan C. Carey, Bas W. Ibelings, and Justin D. Brookes* The interaction between climate warming and eutrophication to promote cyanobacteria is dependent on trophic state and varies among taxa. *Brookes Limnol. Oceanogr.*, 59(1), 2014, 99–114 doi:10.4319/lo.2014.59.01.0099
2. *Cloern, J.E., Foster, S.Q., Kleckner, A.E.* 2014 Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. *Biogeosciences* 11: 2477–2501. doi:10.5194/bg-11-2477-2014.
3. *Cihelio Alves Amorim, Énio Wocylis Dantas, Ariadne do Nascimento Moura* Modeling cyanobacterial blooms in tropical reservoirs: The role of physicochemical variables and trophic interactions. *Science of The Total Environment* Volume 744, 20 November 2020, Page 140659 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140659> Get rights and content
4. *Chippie Kislik, Iryna Dronova, Theodore E. Grantham, Maggi Kelly* Mapping algal bloom dynamics in small reservoirs using Sentinel-2 imagery in Google Earth Engine. *Ecological Indicators* 140 (2022) 109041 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109041>
5. *Dietrich, D., Hoeger, S.* 2005. Guidance values for microcystins in water and cyanobacterial supplement products (blue-green algal supplements): a reasonable or misguided approach? *First Publ. In: Toxicology and Applied Pharmacology* 203(3): 273-289.
6. *das Sarkar, S., Bera, A. K., & Kumari, S.* (2024). Algal bloom in inland open water and their prospective management strategies. *Brazilian Journal of Development*, 10(2), e67269. <https://doi.org/10.34117/bjdv10n2-028>
7. *Elisabeth S. Bakker* Sabine Hilt Impact of water-level fluctuations on cyanobacterial blooms: options for management *Aquat Ecol* (2016) 50:485–498 DOI 10.1007/s10452-015-9556-x
8. *Jaeyoung Kim, John R. Jones, Dongil Seo* Factors affecting harmful algal bloom occurrence in a river with regulated hydrology. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 33 (2021) 100769 <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100769>
9. *Kheiralla, K.M., Aatiga Eshag, Elzien S.M., Saud S.A., Al-Imam, O.A.* 2014. Seasonal Variation of Algae Types, Counts and Their Effect on Purified Water Quality Case Study: Al-Mogran and Burri Plants, Khartoum State, Sudan. *J. Biodivers. Endanger Species.* 2:2.
10. *Gaikwad, S., Patil, S., Dongare, M.* 2013. The occurrence of *Microcystis Aeruginosa* bloom: indicator of deteriorating the health of Kolhapur district reservoirs, *Plant Sciences Feed*, 3(1):1-3.
11. *Zhao, Z.; Liu, X.; Wu, Y.; Zhang, G.; Dai, C.; Qiao, G.; Ma, Y.* A Review on the Driving Mechanism of the Spring Algal Bloom in Lakes Using Freezing and Thawing Processes. *Water* 2024, 16, 257. <https://doi.org/10.3390/w16020257>
12. *Панасюк А.О.* Явище "цвітіння" води у водоймах України: аналіз публікацій вітчизняних вчених // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2024. № 4(74). С. 62–69. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.4.6>

References

1. *Anna Rigosi, Cayelan C. Carey, Bas W. Ibelings, and Justin D. Brookes* The interaction between climate warming and eutrophication to promote cyanobacteria is dependent on trophic state and varies among taxa. *Brookes Limnol. Oceanogr.*, 59(1), 2014, 99–114 doi:10.4319/lo.2014.59.01.0099
2. *Cloern, J.E., Foster, S.Q., Kleckner, A.E.* 2014 Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. *Biogeosciences* 11: 2477–2501. doi:10.5194/bg-11-2477-2014.
3. *Cihelio Alves Amorim, Énio Wocylis Dantas, Ariadne do Nascimento Moura* Modeling cyanobacterial blooms in tropical reservoirs: The role of physicochemical variables and trophic interactions. *Science of The Total Environment* Volume 744, 20 November 2020, Page 140659 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140659> Get rights and content
4. *Chippie Kislik, Iryna Dronova, Theodore E. Grantham, Maggi Kelly* Mapping algal bloom dynamics in small reservoirs using Sentinel-2 imagery in Google Earth Engine. *Ecological Indicators* 140 (2022) 109041 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109041>

5. Dietrich, D., Hoeger, S. 2005. Guidance values for microcystins in water and cyanobacterial supplement products (blue-green algal supplements): a reasonable or misguided approach? *First Publ. In: Toxicology and Applied Pharmacology* 203(3): 273-289.
6. das Sarkar, S., Bera, A. K., & Kumari, S. (2024). Algal bloom in inland open water and their prospective management strategies. *Brazilian Journal of Development*, 10(2), e67269. <https://doi.org/10.34117/bjdv10n2-028>
7. Elisabeth S. Bakker. Sabine Hilt Impact of water-level fluctuations on cyanobacterial blooms: options for management *Aquat Ecol* (2016) 50:485–498 DOI 10.1007/s10452-015-9556-x
8. Jaeyoung Kim, John R. Jones, Dongil Seo Factors affecting harmful algal bloom occurrence in a river with regulated hydrology. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 33 (2021) 100769 <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100769>
9. Kheiralla, K.M., Aatiga Eshag, Elzien S.M., Saud S.A., Al-Imam, O.A. 2014. Seasonal Variation of Algae Types, Counts and Their Effect on Purified Water Quality Case Study: Al-Mogran and Burri Plants, Khartoum State, Sudan. *J. Biodivers. Endanger Species.* 2:2.
10. Gaikwad, S., Patil, S., Dongare, M. 2013. The occurrence of *Microcystis Aeruginosa* bloom: indicator of deteriorating the health of Kolhapur district reservoirs, *Plant Sciences Feed*, 3(1):1-3.
11. Zhao, Z.; Liu, X.; Wu, Y.; Zhang, G.; Dai, C.; Qiao, G.; Ma, Y. A Review on the Driving Mechanism of the Spring Algal Bloom in Lakes Using Freezing and Thawing Processes. *Water* 2024, 16, 257. <https://doi.org/10.3390/w16020257>
12. Panasiuk A.O. (2024). The phenomenon of “water blooming” in reservoirs of Ukraine: analysis of publications by domestic scientists. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 4(74), 62–69. <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2024.4.6>

Phenomenon of water blooming: a review of international scientific literature

Panasiuk A.O.

This article presents a comprehensive review of international scientific research on the phenomenon of water blooms in freshwater bodies. Water blooming, primarily caused by the excessive proliferation of cyanobacteria, is recognized as a major ecological issue that affects aquatic ecosystems globally. The study synthesizes findings from peer-reviewed literature across diverse climatic regions including temperate, subtropical, tropical, and polar zones. Special attention is given to hydrological and climatic factors influencing the development and persistence of harmful algal blooms (HABs), with a focus on their seasonal dynamics, biological composition, and environmental drivers.

In temperate and subtropical regions, nutrient enrichment—particularly phosphorus and nitrogen—and elevated water temperatures have been identified as key contributors to bloom events. However, in tropical regions, the interplay between these factors is still under active investigation, with many studies highlighting the importance of additional variables such as zooplankton dynamics and thermal stratification. Research from South America, India, and China indicates that phosphorus availability remains a primary limiting factor, while thermal conditions can either amplify or suppress cyanobacterial dominance depending on morphotype and lake trophic status.

The article further highlights the role of freeze–thaw cycles in high-latitude ecosystems, where spring algal blooms are often initiated by biogeochemical changes during the ice melt period. Studies from China suggest that phosphorus release from sediments during thawing may be more critical to bloom initiation than nitrogen concentrations. In contrast, European research emphasizes the importance of water level fluctuations, with submerged macrophytes playing a regulatory role in nutrient competition. Meanwhile, South Korean studies utilizing 3D hydrodynamic modeling show that internal hydraulic structures can significantly alter the spatial distribution and biomass of cyanobacteria, sometimes with unintended negative consequences.

Across the reviewed studies, there is consensus on the urgent need for high-frequency monitoring of water quality, particularly in artificial reservoirs, where flow regulation and anthropogenic pressure exacerbate bloom risks. Effective management strategies include controlling external nutrient loads, manipulating aquatic vegetation, and applying localized circulation technologies.

The comparative analysis reveals that the patterns and drivers of water blooming observed in international studies largely correspond to those documented in Ukraine. This similarity underscores the global nature of eutrophication processes and the need for integrated, multidisciplinary approaches to understanding and mitigating harmful algal blooms. Collaboration between Ukrainian and international scientific communities is vital for advancing research methodologies and implementing effective environmental policies to address water bloom phenomena under changing climatic conditions.

Keywords: freshwater ecosystems; tropical and temperate lakes, water blooming, hydrological conditions, algae, eutrophication, formation of blooming phenomenon.

Надійшла до редколегії 23.05.2025