

Управління освіти, науки та молоді
Волинської обласної державної адміністрації
управління освіти виконавчого комітету
Нововолинської міської ради
Нововолинський центр дитячої та юнацької творчості
Еколого-натуралістичний відділ

*Обласний етап науково-освітнього проекту
«Учителі та учні досліджують явище
цвітіння водойм в Україні»*

**"Аналіз українського та світового
досвіду подолання цвітіння водойм.
Проведення власних лабораторних досліджень
води на території
Нововолинської МТГ"**



*Роботу підготувала:
вихованка гуртка
«Природничі студії»
Цегловська Уляна
керівник гуртка:
Височанська Людмила Орестівна*

Нововолинськ 2025 р.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ

Розділ I. Загальна характеристика явища «цвітіння» водойм.

- 1.1. Характеристика явища «цвітіння» водойм.
- 1.2. Механізм розвитку та наслідки евтрофікації водойм.
- 1.3. Фітопланктон, який бере участь у «цвітінні» водойм.
- 1.4. Способи подолання «цвітіння» водойм .
 - 1.4.1. Механічні способи .
 - 1.4.2. Фізико-хімічні способи .
 - 1.4.3. Біологічні способи .
 - 1.4.4. Екологічні способи .
- 1.5. Висновки до розділу.

Розділ II. Світовий досвід подолання «цвітіння» водойм.

- 2.1. Європейський досвід подолання «цвітіння» водойм .
- 2.2. Австралійський досвід подолання «цвітіння» водойм.
- 2.3. Досвід подолання «цвітіння» водойм Східної Азії .
- 2.4. Висновки до розділу.

Розділ III. Український досвід подолання «цвітіння» водойм.

- 3.1. Біологічна меліорація водойм.
- 3.2. Механічне видалення водоростей та їх переробка.
- 3.3. Використання *Chlorella vulgaris*.
- 3.4. Заходи по регулюванню «цвітіння» водойм .
- 3.5. Висновки до розділу .

Розділ IV. Охорона навколишнього середовища.

- 4.1. Антропогенні джерела забруднення водойм.
- 4.2. Наслідки антропогенного забруднення водойм.
- 4.3. Висновки до розділу .

Розділ V. Проведення власних лабораторних досліджень води на території Нововолинської МТГ.

Висновки.

Список бібліографічних посилань використаних джерел.

ВСТУП

Актуальність теми. Річкові системи України активно використовуються у промисловій галузі. Антропогенна евтрофікація, що розвивається в результаті промислового водокористування, спорудження на водозборах промислових об'єктів і скиданням великої кількості стічних вод у річки, перевищує самоочисну здатність водних систем та призводить до їх ресурсної деградації.

Загроза антропогенного евтрофікації водойм стала усвідомлюватися тільки в другій половині минулого століття. Коли вміст у воді фосфору, азоту, калію перевищує критичний рівень, прискорюються життєві процеси водних організмів. Як наслідок, починається масовий розвиток планктонних водоростей – «цвітіння» водойми – вода набуває неприємного запаху і присмаку, її прозорість знижується, збільшується кольоровість, підвищується вміст розчинених і завислих органічних речовин. Оскільки фітопланктон через масове розмноження споживають велику кількість кисню, його залишкові концентрації стають недостатніми для існування інших гідробіотнів.

Актуальністю теми є вивчення інтенсивної антропогенної евтрофікації річок України, що призводить до їх «цвітіння» і до різкого погіршення якості питної води.

Спалахи фітопланктону вперше стали помітною проблемою для Дніпра в середині минулого сторіччя внаслідок наповнення водосховищ і затоплення земель разом з рештками рослинності. Додаткове джерело, що провокує бурхливе «цвітіння» – масове використання фосфатовмісних мийних засобів та мінеральних добрив, які потім потрапляють у водойми. Сьогодні це явище має сезонний характер, зумовлюючи дисбаланс в екосистемах.

В Україні та в світі по-різному підходять до врегулювання проблеми «цвітіння» водойм. Тому аналіз світового та українського досвіду подолання цього явища є доцільним та дозволить виявити оптимальні заходи превентивного характеру. Значний внесок у вивчення та розробку методів подолання евтрофікації та «цвітіння» водойм зробили вітчизняні та закордонні вчені В.І. Щербак, Н.В. Майстрова, В.І. Вишневський, С.А. Шевчук, В.В. Никифоров, О.Г. Морозова, Н.І. Богданов, Девід Шиндлер, W.M. Dunstan, J.H.

Ryther, V.H. Smith. Метою нашої роботи проаналізувати світовий та український досвід подолання «цвітіння» водойм і визначення заходів по регулюванню цього явища в Україні.

Завдання нашої дослідницької роботи:

1. Охарактеризувати явище «цвітіння» водойм та причини його виникнення.
2. Визначити основні способи подолання «цвітіння» водойм.
3. Проаналізувати світовий досвід подолання «цвітіння» водойм.
4. Проаналізувати сучасний стан річкових систем, основні причини прояву та досвід регулювання «цвітіння» водойм України.
5. Обґрунтувати перспективні заходи по регулюванню явища «цвітіння» водойм в Україні.

Об'єкт дослідження – процеси у водних екосистемах які призводять до їх «цвітіння».

Предмет дослідження – водні ресурси як джерела чистої питної води.

Методи дослідження. Методологічною основою дослідження є узагальнення поняття евтрофікації, «цвітіння» водойм, аналіз наукових розробок вітчизняних і закордонних вчених з проблем подолання «цвітіння» водойм.

Теоретичною основою є підручники, монографії, наукові статті, статистичні дані, роботи фахівців по досліджуваній темі.

Практичне значення нашої дослідницької роботи полягає у комплексному аналізі світового та українського досвіду подолання «цвітіння» водойм та виявленні основних способів боротьби з «цвітінням» водойм.

Особистим внеском до ідей та розробок вітчизняних фахівців у сфері екологічної безпеки та водокористування є їх узагальнення.

РОЗДІЛ I

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЯВИЩА «ЦВІТІННЯ» ВОДОЙМ

1.1. Характеристика явища «цвітіння» водойм

«Цвітіння» водойми – це комплексне явище, що супроводжується зміною забарвлення води внаслідок масового розмноження (спалаху) фітопланктону. Це явище спостерігається у всіх типах водойм, природних та штучних, морських (переважно в прибережних районах) чи континентальних. В зарубіжній літературі це явище називається шкідливим «цвітінням» водоростей (harmful algal bloom). Цьому сприяє збільшення евтрофікації водойм.

Концентрації таких біогенних елементів у водоймі, як азот та фосфор, вуглець, кремній і деяких інших елементів (К, Fe, Mn і т.д.), характеризують трофність («кормність») водних об'єктів.

Поняття трофності було вперше сформульоване ще у 20-х роках минулого століття Е.Науманом і А.Тінеманом. Вони запропонували за типом трофності розрізняти оліготрофні (слабко евтрофіковані), мезотрофні (середньоевтрофіковані) та евтрофні (сильно евтрофіковані) водойми. У середині ж ХХ століття шведський вчений В.Оле дещо удосконалив їхню ідею, спираючись на теорію безперервної динаміки водних екосистем, які характеризуються певним типом та інтенсивністю кругообігу речовини та енергії. За його переконанням, залежно від кількості біогенних сполук, які потрапляють у водне середовище, може відбуватися перехід оліготрофних водойм у мезотрофні та евтрофні – найбільш біологічно продуктивні. Але при перевищенні деякого критичного рівня біогенних речовин настає стадія гіпертрофії, яка проявляється у погіршенні якості води. Підхід В.Оле був доповнений російським гідробіологом Г.Г.Вінбергом, який обґрунтував необхідність балансових оцінок енергетичних потоків у екосистемах для прогнозування напрямків їхнього розвитку. Режим надходження і виведення біогенних елементів у водних об'єктах розглядався ним як вихідний показник їх потенційної евтрофікації.

Для зміни поживних режимів водойм лімітуючими факторами виступають концентрації азоту та фосфору у воді. Вважається, що евтрофікація розпочинається за вмісту у воді азоту у кількості від 0,2-0,3 мг/л, а фосфору від 0,01-0,02 мг/л і більше. У евтрофікованих водоймах відмічається зростання частки амонійного азоту в його загальній кількості. У внутрішньоводоймних колообігах фосфору відводиться регулююча роль: за зростання його концентрації посилюється споживання кремнію діатомовими водоростями і більш повно використовується азот фітопланктоном, скоріш за все, фосфор стимулює біологічну фіксацію азот.

Уміст біогенних сполук у водоймах може збільшуватись унаслідок автохтонних процесів (природна евтрофікація) – розклад органічних речовин, азотфіксація та перехід у воду біогенних елементів, захоронених у донних відкладеннях – і внаслідок надходження біогенних сполук іззовні, з алохтонних джерел (антропогенна евтрофікація) – вимивання з полів, надходження стічних вод сільськогосподарських комплексів (відходи тваринництва), комунально-побутових та промислових стічних вод, які містять значну кількість азоту й фосфору.

Антропогенна евтрофікація також відома як «культурна евтрофікація». За джерелами надходження біогенів антропогенної евтрофікації поділяється на: урбогенну, виникає внаслідок скидання неочищених вод сполуками фосфору та азоту міських стічних вод; агрогенну, причиною якої є вимивання ґрунтовими водами й зливами мінеральних добрив із сільськогосподарських угідь; зоогенну внаслідок забруднення водойм стоками тваринницьких ферм або при багаторазовому водопої та купанні великих черед худоби.

Основними ознаками евтрофікації водойм є збільшення біомаси фітопланктону або інших автотрофних організмів (фітомікробентос, нитчасті водорості).

У рибогосподарствах евтрофікація може бути наслідком накопичення фосфорних та азотних сполук з екскрементів риб через велику щільність посадки риб. До того ж, у ставкових господарствах евтрофікацію створюють

цілеспрямовано, через внесення мінеральних добрив для підвищення кількості планктону – основної кормової бази риб.

Збільшення біомаси фітопланктону позитивно впливає на функціонування водних екосистем: збільшується кормова база для водних організмів наступних трофічних рівнів, примножується кількість та біомаса гетеротрофів. Однак з часом виникає невідповідність між накопиченням біомаси фітопланктону, утворенням органічної речовини та кількістю кисню, що використовується для біологічного руйнування та хімічного окислення органічних речовин - утворюється більше органічної речовини, ніж можна розщепити мікроорганізмами. Органічні речовини забруднюють водні маси й одночасно стимулюється подальший ріст біомаси фітопланктону, а процес евтрофікації ще більше поглиблюється та прискорюється.

Ступінь і швидкість евтрофікації визначаються не лише надходженням біогенних сполук. Цей процес залежить від інтенсивності водообміну, глибини водойми, об'єму води та ступеня насичення водних мас киснем. У глибоких водоймах з достатнім водообміном евтрофікація відбувається дуже повільно, тоді як у слабопроточних та мілководних водоймах – прискорено.

На розмноження і накопичення синьо-зелених мікроводоростей впливають такі умови, як: метеокліматичні – швидкість вітру, температура середовища, інтенсивність сонячного випромінювання, опади; гідрологічні – прозорість води, швидкість течії; біологічні – водяна рослинність та ін. Вважається, що одним з головних стримуючих факторів розвитку «цвітіння» є швидкість течії. Найбільший ступінь «цвітіння» можна спостерігати в умовах штилю спокійній і відносно високій температурі на мілководді.

Основними антропогенними факторами, які призводять до «цвітіння» є:

- недотримання режиму господарської діяльності в прибережних захисних смугах;
- надлишок стічних вод міст, промислових та аграрних підприємств, які містять сполуки нітрогену, фосфору, заліза, кремнію та органічних речовин;
- використання в сільськогосподарському виробництві мінеральних та органічних добрив, пральних засобів сприяє забрудненню фосфором.

Одним із найбільш надійних критеріїв для діагностики природної і антропогенної евтрофікації виступає швидкість її розвитку. Розвиток природної евтрофікації водойм займає сотні років, а антропогенної обмежується кількома роками чи, у кращому випадку, десятиліттями .

1.2. Механізм розвитку та наслідки евтрофікації водойм

Збагачення води біогенними елементами, особливо азотом і фосфором, викликає посилене «цвітіння» водойми масовий розвиток водоростей. «Цвітіння» водойми, в свою чергу, запускає ланцюжок наслідків, які несприятливим чином впливають як на існування природних екосистем, так і на здоров'я населення, яке мешкає поблизу водойм.

Цей процес супроводжується зміною забарвлення води. Забарвлення воді надається в зв'язку з високою концентрацією пігментованих клітин. Вода часто стає зеленого (зелені і синьо-зелені водорості), але також може бути жовто-коричневого (діатомові) або червоного кольору (багрянки), в залежності від виду водоростей.

Швидкість розмноження синьо-зелених мікрободоростей до пов'язана з витривалістю до екстремальних температур і концентрацій солей, низькому вмісту поживних речовин та кисню, слабкої освітленості, наявності сірководню, до міксотрофного і хемогетеротрофного живлення, а також здатністю багатьох з них до фіксації азоту.

Період домінування синьо-зелених мікрободоростей пов'язаний з пригніченням усіх інших компонентів фітопланктону внаслідок затемнення води (утворення «плям цвітіння») (рис.1.1)., перехоплення біогенних елементів і впливу токсичних виділень на інші планктонні види. Біомаса мікрободоростей коливається в межах 10-100 мг/л. «Цвітіння» водойм визначають по біомасі водоростей: слабе – 0,5-0,9 мг/л; помірне – 1,0-9,9; інтенсивне – 10,0-99,9; гіперцвітіння – більше 100 мг/л.

Під час масового спалаху фітопланктону на поверхні водойм формуються слизоподібні плівки – «плями цвітіння», де їх біомаса складає 40 – 50 кг/м³. За забарвленням, у межах плям, спостерігаються зони зеленої, блакитної, бурої та білої плівок, де водорості перебувають на різних етапах деструкції.

В евтрофікованих водоймах суттєво змінюються фізико-хімічні властивості середовища. Інтенсивне «цвітіння» супроводжується виділенням метаболітів, що шкодить водно-прибережним рослинам, а також погіршує кисневий режим. Через створення плівки із мікроводоростей на поверхні водойм, відбувається перешкоджання природньому проходженню обмінних процесів між водною товщею та повітрям, використання доступного кисню на життєдіяльність водоростевої маси, що розвинулась у великій кількості.

Шар води, що «цвіте», може досягати 10-15 см завтовшки. Цей процес можна пояснити малим проникненням сонячних променів углиб водойми і, як наслідок, відсутністю фотосинтезу у рослин, що ростуть на дні, а значить і кисню. Це призводить до зменшення кількості кисню у водній товщі, загибелі донних рослин та від нестачі світла та має серйозні наслідки для усіх гідробіонтів. Після відмирання придонних рослин відбувається загибель організмів, чий життєвий цикл був з ними асоційований.

Коли водорості починають неконтрольовано рости, утворюється дедалі більша біомаса та настає фаза масового відмирання водоростей. Мертва органічна речовина стає їжею для мікроорганізмів, які її розкладають. Для знищення усіх мертвих водоростей відбувається надмірне споживання кисню мікроорганізмами. Таким чином на дні водойми створюється аноксичне (безкисневе) середовище із зростанням організмів, здатних жити за відсутності кисню (анаеробного), відповідальних за деградацію біомаси. В результаті цього різко погіршується якість води: з'являється дефіцит кисню, у придонних шарах води з'являються анаеробні зони (розчинений у воді кисень найчастіше спостерігається лише в поверхневому шарі води), зростає каламутність і знижується прозорість води (0,5–2 м), у воді накопичуються токсичні метаболіти (сірководень, болотний газ або метан).

Процес розкладу біомаси синьо-зелених водоростей можна поділити на два етапи. На першому з них первинні анаеробні бактерії піддають ферментативному гідролізу та бродінню білків, ліпідів та полісахаридів з утворенням нижчих карбонових кислот, спиртів, альдегідів, кетонів, CO₂ і H₂. На другому етапі вторинні анаероби використовують метаболіти первинних

анаеробів як субстрат для перетворень. Сульфат-редукція є основним процесом не тільки анаеробної мінералізації біомаси ціанобактерій, завдяки сульфат-редукції проходить і метаморфізація донних відкладів водосховищ.

Накопичення надлишкової кількості органічних речовин у донних відкладеннях супроводжується утворенням метану, водню, сірководню та аміаку, які виділяються у формі бульбашок, а при розчиненні у воді надають їй неприємного запаху й виявляють токсичну дію на рибу і безхребетних, особливо взимку, у підлідний період. Вода стає непридатною для тварин і використання людьми. «Цвітіння» водойми призводить до утворення зон замору або придухи риби, що в свою чергу завдає великих збитків рибному господарству. Також під час масового розвитку синьо-зелених мікроводоростей у водне середовище надходить значна кількість токсичних метаболітів, що може призвести до загибелі зоопланктону та риби. Серед них найбільш небезпечні алкалоїди, які викликають важкі захворювання нервової системи в біоти.

Вживання води з токсинами призводить до виникнення гастроентеритів і інших шлунково – кишкових захворювань, сильного м'язового болю та судом. Також після купання у воді з альготоксинами, людина може захворіти на кон'юктивіт, можуть спостерігатись алергічні ураження шкіри і слизових покривів.

До технологічних наслідків належать ускладнення методів водопідготовки; перешкоди в оборотному водопостачанні і замкнутих циклах; перешкоди в системах теплових і атомних електростанцій; технічному водопостачанні та ін. До економічних наслідків відносять збільшення витрат на водопідготовку, скорочення природно-ресурсного потенціалу водного об'єкта, у тому числі рекреаційного і рибогосподарського; погіршення якості продукції як наслідок погіршення якості води; необхідність здійснення оздоровчих заходів серед населення; витрати на розробку і реалізацію технічних рішень щодо поліпшення з управління водними ресурсами, а також витрати на здійснення комплексу екологічних заходів на водозборі, спрямованих на зниження антропогенної евтрофікації і досягнення еколого-гігієнічної безпеки.

1.3. Фітопланктон, який бере участь у «цвітінні» водойм

Представники синьо-зелених мікроводоростей (*Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*) є основними формами, які найчастіше зустрічаються в прісних водоймах переважно зі сповільненим стоком та на ґрунтових скупченнях; а також є аерофільними формами, що зумовлюють «цвітіння» будівельних матеріалів, споруд, пам'ятників і кори дерев. Дінофітові (*Ceratium*, *Alexandrium*) та діатомові водорості (*Dinophysis*, *Chaetoceras*) є збудниками «цвітіння» в морях, океанах й опріснених ділянках лиманів чи осолоненій придельтовій частині річок. Водночас серед діатомових водоростей відомі ще й аерофільні форми (*Diatoma*, *Nitzschia*).

Зелені водорості (*Scenedesmus*, *Coelastrum*, *Chlorella*) – представники прісних водойм, що активно розвиваються в ставках та ефемерних водоймах (калюжах) – *Topaszevskiella*, *Chlorella*, *Ulothrix* тощо.

Евгленові водорості (*Euglena*, *Tracheomonas*) виявлені в масовій кількості в надмірно забруднених водоймах ставкового типу й калюжах, у комунальних стічних водах, багатих на органічні сполуки та в азотовмісних промислових стічних водах.

У морях й океанах «цвітіння» викликають переважно діатомові й дінофітові, а також синьо-зелені мікроводорості. «Цвітіння» також можуть викликати макроводорості, які не належать до планктону. Його можна впізнати по великих обсягам водоростей, що їх прибиває до берега і які роблять воду темною.

Найчастіше викликають «цвітіння» прісних водойм в Північній півкулі синьо-зелені (види родів *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon* та ін), у Південній – діатомові. Масовим розвитком у водоймах помірних широт характеризується група синьо-зелених мікроводоростей (Cyanophyta, Cyanoprokaryota, Cyanobacteria), більшість видів якої є токсичними та потребують належної уваги. Синьо-зелені мікроводорості (Cyanophyta), або ціанобактерії, є єдиною групою фітопланктону, здатною використовувати атмосферний азот (N₂), як джерело нітрогену через його фіксацію. Крім того, вони здатні поглинати фосфор (P), що перевищує потреби клітини, і зберігати

його для подальшого використання в умовах дефіциту фосфору. Ці фізіологічні ознаки дозволяють ціанобактеріям жити в середовищах і збагачених поживними речовинами, і дефіцитних.

У табл. 1 представлені фактори навколишнього середовища, що впливають на розвиток синьо-зелених мікрободоростей та утворення «цвітіння».



Рис. 1., Рис. 2. Розвиток синьо-зелених мікрободоростей та утворення «цвітіння»

Таблиця 1.1

Фізико-хімічні фактори навколишнього середовища, що впливають на розвиток синьо-зелених мікрободоростей та утворення «цвітіння»

Фактори	Вплив
Фізичні фактори	
Температура	Температура > 15 С сприяє зростанню мікрободоростей. Багато видів мають температурний оптимум > 20 С.
Світло	Більшість родів синьо-зелених водоростей віддають перевагу/переносять інтенсивне світло. Деякі види пристосовані до тіні.
Швидкість течії	Більшість представників мікрободоросте віддіють перевагу мало проточним водоймам.
Водообмін	Слабкий водообмін спричиняє спалах розвитку синьо-зелених мікрободоростей.
Хімічні фактори	
Основні біогенні елементи (N і P)	Підвищення вмісту цих елементів у водоймі призводить до масового розмноження мікрободоростей, у тому числі й азотфіксуючих представників.

Fe та інші метали.	Fe необхідний для фотосинтезу, фіксації N та є одним із лімітуючих факторів. Наявність інших металів (Cu, Mo, Zn, Co) сприяють розвитку мікроводоростей, але не є лімітуючими факторами.
Розчинений неорганічний С	Вживання при низькому рівні розчиненого неорганічного С і високі значення рН забезпечують домінування синьо-зелених мікроводоростей.
Розчинений органічний С	Більшість представників здатні утилізувати розчинений органічний С. У водоймах, збагачених розчиненим органічним С, спостерігається явище «цвітіння».
Солоність	Деякі представники (наприклад, <i>Microcystis</i> , <i>Anabaena</i>) не розвиваються в солоних водоймах. Представники роду <i>Nodularia</i> розвиваються в солоних водоймах.

Деяких представників синьо-зелених мікроводоростей продукують токсини. Кожний токсин має певні специфічні властивості, включаючи ушкодження печінки, нейротоксичність і утворення пухлин. Гострими симптомами є розлади шлунково-кишкового тракту, лихоманка, подразнення шкіри, вух, очей, горла та дихальних шляхів. Вони добре розчинні у воді, безбарвні, не мають запаху, досить стійкі (термічно не руйнуються), що сприяє їхньому накопиченню у воді та передачі по трофічних ланцюгах. У більшості синьо-зелених мікроводоростей активне утворення токсинів відбувається за рН середовища 8,5 – 10,0 і температурі води в 25 – 28°C. Токсини водоростей зберігають свою активність у водному середовищі протягом 20-ти діб.

Токсини поділяють з механізмом дії на гепатоксини (микроцистін і циліндропермопсин), нейротоксини (анатоксин-а, сакситоксини і анатоксин-а/S/) і подразники або запальні агенти (ліпополісахариди).

Гепатоксини продукуються різними видами в межах родів *Microcystis*, *Planktothrix*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Nodularia*, *Nostoc*, *Cylindrospermopsis* і *Umezakia*.

Рід *Microcystis* – мікроскопічні прісноводні водорісті, клітини яких містять газові везикули. Клітини зазвичай організовані в агрегати неправильної форми. Найвідомішим представником роду є *Microcystis aeruginosa* – небезпечний

збудник «цвітіння» в стоячих і повільно текучих прісних водоймах, особливо у мілководних водосховищах. Мікродорість виділяє токсини з групи гепатотоксинів (мікроцистини). Розвитку «цвітіння» сприяють підвищена температура води, високий уміст біогенних елементів (азоту, фосфору, калію), відсутність водної товщі.

Види роду *Oscillatoria* розповсюджені в стоячих та повільнотекучих прісних континентальних водоймах, морях і ґрунтах. При масовому розвитку ці водорості утворюють синьо-зелені плівки, які вільно плавають або обростають різні субстрати. Деякі морські види здатні викликати токсичні «цвітіння» водойм.

Усі види роду *Aphanizomenon* – небезпечні збудники «цвітіння» водойм. Так, у водосховищах дніпровського каскаду близько 20 % випадків «цвітіння» зумовлює *A. flos-aquae*. Окремі форми цього виду також спричинюють «цвітіння» в Азовському морі.

Види роду *Anabaena* розповсюджені в прісних і солоних, стоячих або повільнотекучих водойм, розвиваються в ґрунтах та на їх поверхні. Деякі види роду влітку часто викликають токсичне «цвітіння» водойм. До них належать *A. scheremetievi*, *A. spiroides* та *A. flos-aquae*.

Рід *Euglena* (відділ *Euglenophyta*) – об'єднує прісноводні водорості. Деякі види евглен за сприятливих умов можуть викликати нетоксичні зелені або червоні «цвітіння» водойм. На території України найбільш поширеними видами цього роду є *E. viridis*, *E. acus* та *E. spirogyra*.

Рід *Trachelomonas* (відділ *Euglenophyta*) належить до найбільш розповсюджених на території України, переважно в невеликих водоймах зі стоячою водою або слабкою течією, болотах, озерах, ставках та ін. Під час масового розмноження *Trachelomonas* вода набуває бурого кольору з різними відтінками. Найчастіше трапляються *T. volvocina*, *T. intermedia*, *T. hispida* та *T. Armata*.

Динофітові водорості (*Dinophyta*) майже виключно планктонні, що надають перевагу добре освітленим при поверхневим водам. Вони поширені в прісноводних середовищах та можуть бути виявлені в широкому діапазоні

трофічних станів, від оліготрофних водойм до гіперотрофних.

Прискорене зростання і скупчення динофітових водоростей у приповерхневих водах може спричинити «цвітіння» водойми. Як і інші представники фітопланктону, що утворює «цвітіння», при евтрофікації має тенденцію до посилення росту. Ключем до їх інтенсивного цвітіння є здатність швидко мігрувати між багатими поживними речовинами глибокими та поверхневими водами, тим самим задовольняючи потреби як у поживних речовинах, так і в світлі. Велика густина клітин (100000 кл/мл) викликає цвітіння блідо зеленого, жовтого, червоно та коричневого кольору. Завдяки високій щільності та багатому вмісту каротиноїдів вони утворюють вражаючі «цвітіння», відомі як «червоні припливи». Часом це може призвести до масових накопичень гнилої біомаси у поверхневих водах, що спричиняє погіршення якості води, включаючи запах та смак, гіпоксію та втрату естетичного та рекреаційного значення вод.

Представники родів *Alexandrium*, *Heterosigma*, *Noctiluca* та *Gymnodinium*, що мешкають у солоній воді, виробляють токсини, негативно впливаючи на широкій спектр біоти, від безхребетних до риб, великих ссавців та людей. Прісноводні представники, як правило, не токсичні.

Рід *Ceratium* – *Ceratium*. Більшість видів цього роду мешкає в морях і лише окремі представники трапляються в планктоні прісних континентальних водойм.

Види роду *Peridinium* мешкають переважно в морському планктоні й лише близько 15 % видів трапляються в континентальних прісних водоймах.

Види *Dinophysis* мешкають у планктоні морів холодного, помірною та субтропічного поясів.

Деякі з представників роду *Prorocentrum* викликають токсичне «цвітіння» в морях та приморських лиманах. Зокрема, у Чорному морі – небезпечним збудником «цвітіння».

Деякі види роду *Cryptomonas* (відділ *Cryptophyta*) дуже поширені, найчастіше трапляються в забруднених водоймах, де можуть викликати «цвітіння». Беруть активну участь у процесах самоочищення забруднених

органічними речовинами вод. Типові планктони, населяють переважно придонні шари води або розвиваються серед нитчастих водоростей, мохів чи в заростях вищих водних рослин.

Більшість представників роду розвивається в прісних водоймах. Наприклад, *Cryptomonas salina* та *C. stigmatica* є галофілами й часто трапляються у планктоні солоних озер при концентрації солей 40–90 г/л, беруть участь в утворенні лікувальних мулів – пелоїдів; *Cryptomonas cryophila* та *C. frigoris* – кріофіли, які масово розмножуються на поверхні снігу в горах та викликають його брудно-червоне й оливково-зелене «цвітіння».

Золотисті водорості (*Chrysophyta*) мешкають переважно в прісних водоймах і єдебільшого монадними організмами. Провідними родами є *Chromulina*, *Dinobryon*, *Mallomonas*, *Synura* та *Prymnesium*.

Представники роду *Prymnesium* виробляють токсин, який вражає риб і та молюсків, що погіршує якість води в ставках, особливо при високих температурах.

Відомі випадки масового розмноження водорості роду *Synura* в штучних водоймах, зокрема в резервуарах для питної води, унаслідок чого вода набуває неприємного запаху риб'ячого жиру.

Зелені водорості (*Chlorophyta*) поширені в прісних водоймах, у морях та океанах, у наземних біотопах, на снігу й льоду. Деякі представники цього відділу спричиняють «цвітіння» водойм, але в рідкісних випадках викликають гіпоксію, погіршення смаку і запаху води.

Представники роду *Botrydium* можуть утворювати плавучі агрегати на поверхневому шарі води і можуть накопичуватись у вигляді накипу. Незважаючи на те, що це поверхнєве «цвітіння» є естетично шкідливим, воно не обов'язково свідчить про евтрофікацію водойми або погіршення якості води. Наприклад, «цвітіння» ботріококів регулярно трапляється у поверхневих водах озера Таупо, найбільшого озера Нової Зеландії. Це оліготрофне озеро має чудову якість води та відоме фореллю світового класу.

Інші роди, які можуть розмножитись до достатньої кількості, щоб викликати «цвітіння», це – *Sphaerocystis*, *Dictyosphaerium*, *Scenedesmus*, *Dunaliella*, *Chlamydomonas* та *Chlorococcus*.

Представники роду *Chlamydomonas* мешкають у різноманітних прісних водоймах, де можуть викликати явище «цвітіння».

1.4. Способи подолання «цвітіння» водойм

Надмірне надходження біогенів – лише передумова евтрофікації, що реалізується в певних гідрологічних умовах. Тому їх регулювання широко використовують для попередження евтрофікації, особливо в невеликих водоймах.

При надмірному надходженні біогенів та інших умов, для розвитку евтрофікації, вона може бути вилучена різними способами.

Способи, які застосовують для боротьби з евтрофікацією водойм та її наслідком – «цвітінням», можна умовно поділити на дві групи: перша профілактичні заходи; друга – регулюючі заходи.

До профілактичних заходів відноситься повне припинення скидів у водойму неочищених та умовно очищених стічних вод промислових підприємств, аграрних комплексів, побутових стоків. Для пригнічення масового розвитку синьо-зелених мікроводоростей застосовують такі регулюючі заходи (способи): механічні, фізико-хімічні, екологічні та біологічні.

Серед цих способів попередження масового розвитку фітопланктону найбільш ефективними є біологічні та екологічні, оскільки вони дозволяють позбутись причин, а не наслідків «цвітіння» водойми. Типовий шлях подолання евтрофікації – зниження фосфорного навантаження на водойми. Однак цей шлях, як правило, важко здійснити: джерела фосфорних сполук не локалізовані, численні, різноманітні і пов'язані з такими сторонами людської діяльності, обмеження яких вимагає зміни способу життя людей.

1.4.1. Механічні способи

Аерація – це процес насичення води киснем, що відбувається шляхом пропускання повітря через водне середовище. Аерація застосовується в процесі очищення стічних вод. У природних умовах кисень з атмосфери досягає лише верхніх шарів води. Процес фотосинтезу допомагає йому потрапляти трохи глибше. На глибині спостерігаються найнижчі концентрації кисню, тому що там відбуваються його витрати. У місцях дії аераторів локально зростають швидкості течій та посилюються хвильові процеси. Відомо, що зростання швидкості течій призводить до зниження чисельності синьо-зелених мікроводоростей, які у штільову та сонячну погоду, зазвичай, формують плями «цвітіння» водних мас.

Посилення гідродинамічних процесів за допомогою аераторів забезпечує додаткове насичення води киснем, вирівнювання водних мас за іншими гідрохімічними, гідрофізичними, гідробіологічними характеристиками, стимулює процеси самоочищення і в цілому покращує умови функціонування екосистеми водойми. Особливо, це актуально для евтрофікованих водойм, що характеризуються анаеробними умовами у придонній зоні. Адже, насичення води киснем зменшує десорбцію з донних відкладів важких металів, сполук фосфору та інших речовин.

При аерації водойми розподіл фітопланктону по глибині стає більш рівномірним, при цьому переважний розвиток отримують зелені водорості за рахунок зниження чисельності мікроводоростей.

Існують аератори чотирьох типів: гравітаційні, поверхневі, дифузійні і турбінні, а також конструкції, в яких поєднуються різні ознаки. Згідно з літературними матеріалами, найбільш ефективними у покращенні гідродинамічних процесів та аерації водних мас є механічні аератори. Істотним недоліком використання систем аерації є висока вартість. Аерація великих об'ємів води повітрям економічно не вигідна (65 - 90 коп./м³). Зі зменшенням інтенсивності водообміну посилюються процеси евтрофікації водних об'єктів, обумовлюючи зміну типу – з лотичного (річкового) на лентичний(озерний).

Ефективним серед локальних методів оздоровлення екосистем водойм є штучне посилення їх зовнішнього водообміну за рахунок додаткового притоку вод з інших водних об'єктів. Такий спосіб обумовить збільшення частки поверхневого притоку у відношенні до інших складових водного балансу водойми. Не менш важливим заходом регулювання «цвітіння» водойм є зниження токсичної дії забруднених донних ґрунтів, який можливо проводити шляхом виїмки або захоронення (екранування) донних відкладів. Внаслідок значного забруднення поверхневого шару донних ґрунтів проводять їх виїмку. Вилучення донних відкладів з водойм здійснюють механічним способом за допомогою бульдозера після просушення дна або земснаряду на воді. На ділянках водойм, де вилучення забруднених ґрунтів не можливе, рекомендується екранування дна – присипання донних відкладів шаром чистого піску, глини або сорбуючого матеріалу товщиною 15–30 см. Ці заходи проводять з метою запобігання вивільнення біогенних та забруднювальних речовин з донних відкладів. Недоліками данного методу є можливе порушення екосистеми водойми, застаріла техніка, великі енерго та трудові ресурси.

1.4.2. Фізико-хімічні методи

Альгіциди – це хімічні препарати з групи гербіцидів, призначені для боротьби з «цвітінням» водойм і утворенням водоростей. Приклади таких сполук: сульфат міді, солі заліза, солі аміну і хлорид «бензалконію». Це хімічні речовини, які за кілька днів вбивають будь-які форми водоростей і запобігають їх появу протягом 1-2 місяців, тобто є досить ефективні.

Застосування альгіцидів, таких як сульфат міді ефективно зменшує часові концентрації синьо-зелених мікроводоростей (Boyd & Tucker 1998). Однак альгіциди застосовувати дорого, вони не контролюють першопричину проблеми і несуть ризик для людей, худоби та дикої природи, крім того, що завдають шкоди різноманітним нецільовим водним організмам. Використання альгіцидів можливе тільки у водоймах, не призначених для господарсько-питного або рибогосподарського застосування, а також у

системах зворотного водопостачання. Доцільно використовувати альгіциди лише для боротьби з «цвітінням» в басейнах і штучних водоймах, створених з естетичною ціллю (водойми в парках).

Недоліки використання альгіцидів: несприятливий вплив на життєдіяльності інших гідробіонтів; додавання галунів та інших солей призводить до зміни рН водойми; висока ціна.

До альгіцидів природного походження також відносять соломку ячменю. Точний механізм, за допомогою якого ячмінна соломка пригнічує ріст водоростей, невідомий. Вважають, що при розкладанні соломи у воді соломи виділяється хімічна речовина (окислені поліфеноли, складні ефіри або пероксид водню), яка запобігає зростання водоростей. В літературі описано ефективність застосування соломи проти *Microcystis* та *Synura* spp.

Застосування ячмінної соломи це недорогий, ефективний та екологічний метод боротьби з «цвітінням» в лентичних або дуже повільних водних системах.

Недоліками цього методу є короткотривалий ефект та можлива загибель риби через дезоксигенацію водойми, спричинена розпадом соломи.

Флокуляція «цвітіння» виникає в результаті багаторазового зіткнення та прикріплення клітин, утворюючи поступово більші агломерати (або флокули), які швидко осідають. Такі хімічні речовини, як галун (Sridhar, Namasivayam, і Prabhakaran 1988), а також широкий асортимент органічних флокулянтів (Tenney et al. 1969), зазвичай додаються для посилення прикріплення частинок (або «липкості») та збільшення швидкості флокуляції. У морських системах деякі спроби повідомлялося про використання флокулянтів, хоча їх результати були обмежена через швидке розведення та високу вартість нанесення (Marvin and Proctor 1967; Shirota 1989). В прісних водоймах додавання галунів може спричинити зміну рН, що негативно впливає на гідробіонтів. Варіантом цього підходу до хімічної флокуляції є додавання глинистих мінералів, що викликають осідання організмів. (Maruyama et al. 1987; Na, Choi, and Chu 1996; Sengco et al. 2001; Ю, Цзоу та Ма 1994). Ці щільні мінерали сприяють зануренню клітин, незважаючи на рухливість та плавучість

організмів. Висока ефективність видалення, швидкість, економічна ефективність і потенційно низькі наслідки розподілу глини на навколишнє середовище зробили його одним із найбільш перспективних методів контролю «цвітіння» (Андерсон, 1997).

Ультразвукова технологія була розроблена для контролю «цвітіння» водоростей. Ця ультразвукова система створює звуковий бар'єр на верхніх шарах води для контролю росту ціанобактерій.

Синьо-зелені мікродорості мають газові везикули, що забезпечують їм вертикальну міграцію. Вони прямують до поверхні води, щоб поглинати сонячне світло для фотосинтезу, а на дно – для поживних речовин. Ультразвукові звукові хвилі створюють звуковий шар у верхньому шарі води, який впливає на регулювання плавучості водоростей, фіксуючи їх у товщі води. Через нестачу сонячного світла та поживних речовин водорості опускаються на дно водойми, де врешті-решт гинуть і розкладаються.

Для підтримання екологічного балансу система не повністю ліквідує водорості. Це зменшує їх до 90%. Таким чином, водну екосистему можна безпечно відновити, зменшуючи та контролюючи здоровий рівень ціанобактерій.

Однак, завдяки прямому впливу ультразвуку на вертикальний розподіл водоростей у товщі води, ультразвук безпосередньо впливає на здатність виду водоростей формувати «цвітіння». Недоліками методу є висока вартість ультразвукової технології та необхідність сезонного застосування.

1.4.3. Біологічні методи

Біологічна меліорація водойм – система заходів, спрямованих на поліпшення якостей водного середовища за допомогою водних організмів (гідробіонтів).

Принцип базується на властивості окремих видів водних рослин і тварин вилучати з води різноманітні речовини та мікроорганізми, очищати від органічних залишків піщані пляжі, прискорювати деєвтрофікацію водойм тощо. Це відбувається через стимулювання життєдіяльності організмів-меліораторів,

що досягається створенням оптимальних умов для збільшення в разі потреби їхньої чисельності.

Для зменшення «цвітіння» водойм використовують такі види риб: білого товстолоба, гібриду білого та строкатого товстолоба, щуки, судака, а також білого амура. Ці види риб харчуються водною рослинністю і водоростями, що суттєво зменшує чисельність зелених, синьо-зелених та інших водоростей. Тобто якщо у водоймі мешкає достатня кількість рослиноїдних видів риб якість води значно покращується. При цьому риби не отруюються токсинами та не накопичують їх у своєму тілі й не гинуть, якщо «цвітіння» води не переходить певних меж. Використання рослиноїдних риб характеризується мінімальними затратами на вирощування, що свідчить про доцільність біологічної меліорації водойм з метою нормування використання біотопу для управління динамікою структури альгофлори, а й одержання в результаті якісної рибної продукції низької собівартості. Цей метод регулювання типу «цвітіння» застосовується для рекреаційних водойм, для водойм охолоджувачів, для водойм питного і комплексного призначення. Основний недолік – тривалість вирощування риби .

Вища водна рослинність, яка є основою в водоймі для очищення води, покращує якість води завдяки природним фільтраційним властивостям і здатності поглинати патогенні елементи. Здатність рослинності до накопичення, утилізації, трансформації багатьох речовин робить їх незамінними в загальному процесі самоочищення водойм. Угрупування повітряноводної рослинності, затіняючи водну поверхню та поглинаючи біогенні речовини, виступають антагоністами синьо-зелених мікроводоростей у забезпеченні поживних речовин, в результаті чого пригнічують їх розвиток і цим усувають процес «цвітіння» водойм.

Найчастіше використовують такі види рослин, як очерет озерний, рогоз вузьколистий і широколистий, рдест гребінчастий і курчавий, спіродела багатокорінева, елодея, водний гіацинт (ейхорнія), касатик жовтий, сусак, стрілолист звичайний, гречиха земноводна, резуха морська, уруть, хара, ірис та інші.

За допомогою ейхорнії можна витягти зі стоків та водойм більшість

біогенних елементів, таких, як азот, фосфор, калій, кальцій, магній, марганець, сірку, а також такі інгредієнти, як фенол, сульфати, нафтопродукти, СПАР, фосфати, і можна поліпшити такі показники, як біологічна потреба кисню (БПК) і хімічна потреба кисню (ГПК).

Недоліком використання ейхорнії є те, що рослина стрімко покриває водойми, ускладнюючи доступ до води, судноплавство і рибний промисел. Відпрацьовані рослини використовують у сільськогосподарському виробництві, як додаткове джерело енергії й елемент у виготовленні ґрунтових сумішей, добрив і компостів. Відпрацьована маса рослин компостується близько двох місяців. Впровадження цієї технології є вигідним заходом, адже маса водоростей після збору може бути використана як корм для тварин і птахів, для виготовлення паперу і біодобрив, переробки на біогаз та рідке паливо.

1.4.4. Екологічні методи

Поширеним екологічним методом є контроль біогенних речовин у водоймі, а саме відношення нітрогену до фосфору. Відношення нітрогену до фосфору в компонентах мінерального живлення є чинником, керуючим домінуванням видів у альгоценозах. Біогенне маніпулювання – полягає в збільшенні у воді евтрофікованої водойми відношення нітрогену до фосфору. Необхідне збільшення досягається не за рахунок зниження кількості фосфору, а за рахунок додавання в евтрофіковану водойму сполук нітрогену. При певних відношеннях в середовищі нітрогену до фосфору, біогенна маніпуляція призводить до придушення «цвітіння» синьо-зелених і домінування протококових мікроводоростей .

1.5. Висновки до розділу

«Цвітіння» водойми — це комплексне явище, що проявляється в зміні забарвлення води внаслідок масового розмноження (спалаху) фітопланктону. Воно спостерігається у всіх типах водойм, природних та штучних, морських (переважно в

прибережних районах) чи континентальних. «Цвітіння» водойми як гідробіологічний процес зумовлене евтрофікацією (збагачення води біогенними елементами).

Нині уміст біогенних речовин у водних екосистемах може збільшуватись унаслідок антропогенної евтрофікації. Масштаб явища «цвітіння» водойм визначає велика сукупність чинників.

«Цвітіння» водойми, в свою чергу, запускає ланцюжок наслідків, які несприятливо впливають на існування природних екосистем та на здоров'я населення.

У високоевтрофних водоймах для більшості гідробіонтів створюються несприятливі умови існування. У місцях концентрування й розкладу синьо-зелених мікроводоростей масово гине риба внаслідок отруєння токсинами і продуктами розкладу цих водоростей та кисневого дефіциту, що витрачається на їх гниття.

До фітопланктону, що викликає «цвітіння» водойм належать такі представники: синьо-зелені мікроводорості (*Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Nostoc*); дінофітові (*Ceratium*, *Alexandrium*, *Dinophysis*, *Chaetoceras*, *Diatoma*, *Nitzschia*, *Prorocentrum*); зелені водорості (*Scenedestus*, *Coelastrum*, *Chlatotydomonas*); евгленові водорості (*Euglena*, *Tracheononas*).

Для пригнічення масового розвитку синьо-зелених мікроводоростей застосовують такі способи: механічні (аерація, посилення проточності і збільшення водообміну, захоронення донних відкладів) фізико-хімічні (використання альгіцидів, флокулянтів та ультразвуку), екологічні та біологічні.

«Червоний приплив» – загальноприйнята назва окремого випадку «цвітіння» води, викликаного спалахом чисельності морських динофлагелят. Вода може набувати червонуватого або рожевого забарвлення.

Найбільш важливі наслідки «червоних припливів» — пов'язана з ними загибель морських і прибережних видів риб, птахів, морських ссавців та інших

організмів. Червоні припливи Флориди особливо небезпечні для морських організмів тим, що в них виробляється нейротоксин бреветоксин, джерелом якого стають морські водорості *Karenia brevis*. Червоні припливи відбуваються в результаті фізичних, хімічних та біологічних факторів, які сприяють формуванню «цвітіння» найчастіше вздовж унікального, мілководного середовища шельфу західної Флориди. Вони спричиняють умови, що призводять до виснаження кисню, роблячи затоку непридатною для життя для інших організмів та призводячи до соціальних та економічних втрат для людей. Мексиканська затока дає приблизно 40% щорічного промислового риболовлі в США, а також є домом для багатьох видів рекреаційної риболовлі. Зростає занепокоєння щодо безпеки морепродуктів в результаті забруднення та хімічного забруднення риболовних вод. Половина районів, що займаються молюсками, уздовж узбережжя затоки були або назавжди закриті, або оголошено забороненими на невизначений час службою охорони здоров'я через забруднення. Прямі витрати включають несприятливий вплив на здоров'я та втрату реалізації риби та продуктів з молюсків, але існують також непрямі витрати, такі як обмежений розвиток чи інвестиційні рішення в прибережній аквакультурі через потенціал «цвітіння» водоростей. У 1957 р. було здійснено спробу хімічного контролю «червоних припливів» Флориди за допомогою сульфату міді, що розпилювався літаками над затокою. Але явище повернулось, тобто, використання сульфату міді не дало очікованих результатів.

У США ранні дослідження були зосереджені на виявленні вітчизняних глинистих мінералів, які ефективні проти кількох видів збудників «цвітіння» водойм США (Sengco et al. 2001). Фосфатні глини Флориди показали ефективність (80% видалення клітин) проти *Karenia brevis*. В 2018 році була розроблена методика використання озону для подолання «червоних припливів». У північних штатах поширене застосування ячмінної соломи як природного альгіциду.

Агенція з захисту довкілля США (United States Environmental Protection Agency) розробила інтерактивну карту «цвітіння» водойм окремих штатів та

періодично подає показники щодо «цвітіння» водойм (статистика передбачає найменування штату, найменування «цвітучої» водойми, що знаходиться в конкретному штаті). Крім того, Центр контролю та запобігання захворювань США закликає громадян окрім мінімізації використання добрив на полях, що означає постачання поживних речовин ціанобактеріям, ще й підтримувати септичну систему на запобігання стічним водам протікати і потрапляти у найближчі озера та ставки

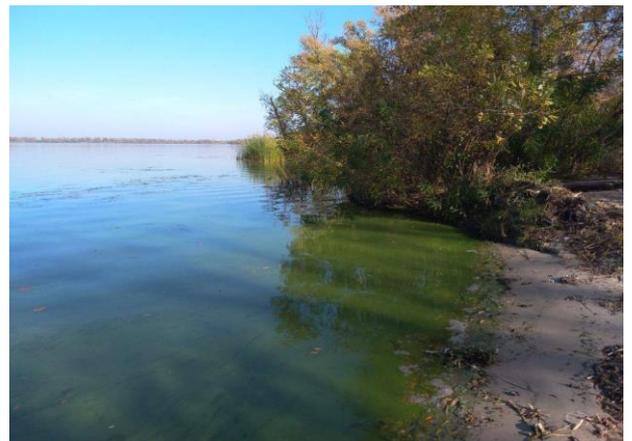


Рис.3, Рис.4, Рис.5. Приклади цвітіння води внаслідок забруднення сільськогосподарськими відходами

РОЗДІЛ II

СВІТОВИЙ ДОСВІД ПОДОЛАННЯ ЯВИЩА «ЦВІТІННЯ» ВОДОЙМ

2.1. Європейський досвід подолання «цвітіння» водойм

Близько чверті озер в Європі «цвітуть». Більшість цих озер розташовані в Центральній Європі. Озера з найнижчим рівнем «цвітіння» були знайдені в північних регіонах Європи за схемою зниження температури та рівня фосфору зі збільшенням широти. Такі країни, як Бельгія, Данія, Німеччина, Італія та Нідерланди зазнали сильного «цвітіння» водоростей (*Anabaena*, *Microcystis* etc.). Це спричинило значні втрати у можливостях відпочинку, витрати на забезпечення альтернативних запасів води та смерть худоби. Більша частина фосфору в європейських водах надходить з точкових джерел, таких як каналізаційні установки, галузі тваринництва та миючі засоби.

В Європі «цвітіння» водойм контролюється завдяки видаленню фосфору з стічних вод шляхом модернізації каналізаційних станцій та встановлення нових споруд з переробки стічних вод. В більшості країн ЄС обмеження на використання фосфорних миючих засобів вже введені, а в деяких – таких як Австрія, Німеччина, Італія, Нідерланди – взагалі заборонено використання мийних засобів з вмістом фосфатів.

В невеликому озері Трумен, Швеція (~ 1 км², середня глибина 1,6 м) було виявлено «цвітіння» води, як наслідок забруднення побутовими стічними та промисловими водами протягом середини 1900-х років. Для відновлення стану водойми було здійснено видалення поживних речовин, що зберігаються в відкладах шляхом днопоглиблення. Озеро Трумен – успішний приклад відновлення за допомогою відсмоктувальних днопоглиблень верхнього півметра відкладень протягом дворічного періоду. В інших зусиллях з днопоглиблення на ділянках великих озер результати були менш успішними. У минулому «цвітіння» в Балтійському морі посилювалося внаслідок стікання поживних речовин із земель навколо моря (зокрема, сільськогосподарських добрив та стічних вод). Це джерело надлишку поживних речовин зменшилось

за останні десятиліття, але «цвітіння» все ще спостерігається через велику кількість фосфатів у глибших водах. Надмірний ріст фітопланктону та водоростей може виснажувати кількість кисню у воді та спричиняти мертві зони.

Ячмінна солома як засіб для боротьби з водоростями у ставках привертала значну увагу протягом останніх кількох років. Використання ячмінної соломи почалося в Англії на початку 1990-тих. Крім ставків в Англії, ячмінну солому використовують у великих водоймах і каналах. Лабораторні дослідження, проведені в Англії, дозволяють припустити, що гнила ячмінна солома у воді пригнічує ріст декількох планктонних і ниткоподібних водоростей. Сьогодні в Європі широко використовується ультразвуковий метод подолання «цвітіння» водойм. LG Sonic визнана своєю екологічно чистою технологією, яка використовується в більш ніж 55 країнах – LG Sonic була визнана національним переможцем Нідерландів у категорії «Соціальна відповідальність та екологічна обізнаність». Звукові хвилі, розроблені LG Sonic, спрямовують і нейтралізують водорості, не даючи їм рости і розвиватися до стадії «цвітіння». Вони були перевірені різними університетами і, як доведено, безпечні для людей, риб та інших водних організмів. Продукція LG Sonic ефективно контролює водорості та біозабруднення в озерах, водосховищах, очисних спорудах та інших областях застосування. За останнє десятиліття в 55 різних країнах було успішно встановлено понад 10 000 виробів.

2.2. Австралійський досвід подолання «цвітіння» водойм

В Австралії «цвітуть», як правило, прісні водойми. Основна група водоростей, що спричиняє погіршення стану води – синьо-зелені мікроводорості. Вони регулярно «цвітуть» у теплу погоду в ставках, озерах та повільно течучих річках. Наприклад, у 2016 році «цвітінням» водоростей постраждало 1700 км річки Мюррей. Орієнтовний загальний збиток від спалаху водоростей склав 250 мільйонів доларів. Перші «цвітіння» розпочалися в озері Юм, великому водосховищі у верхній течії річки Мюррей, спочатку створеному в 1930-х роках, щоб створити «посуhostійкість» Австралії. Рівень води знизився нижче 10% від потужності озера. Такі низькі рівні води (наприклад,

при перенесенні води між системами річок Сноуї та Мюррей) легко призводять до змішування теплих поверхневих вод (формування «цвітіння») з водою, багатою поживними речовинами на дні водойми (підживлення «цвітіння»).

Уряд Австралії розробив стратегічний план управління водними ресурсами у відповідь на масове «цвітіння» річки Дарлінг у 1991 році. У 1992 році у рамках програми було розроблено 30 рекомендацій щодо мінімізації появи спалаху водоростей у Новому Південному Уельсі. Уряд Австралії також розробив довгострокове рішення проблеми «цвітіння» під назвою «Менеджмент уловлювання». Цей підхід пропонує такі шляхи вирішення проблеми: уникнення надмірного використання добрив та гною на сільськогосподарських угіддях, захистити ґрунтів від ерозії та очищення стічних вод, щоб позбутися азоту та фосфору. Іншими способами зменшення «цвітіння» водойм, запропонованими австралійським урядом, є метод штучної дестратифікації, який зменшує «цвітіння» ціанобактерій за рахунок зменшення осадження фосфору; біоманіпуляція. Метод біоманіпуляції ще не знайшов широкого застосування, оскільки проблема ефективності використання біологічного контролю для зменшення «цвітіння» все ще перебуває у стадії дослідження. Деякі експериментальні методи біоманіпуляції включають вилучення риб, які споживають зоопланктон, із водойми шляхом введення риби-хижака, яка харчується планктонною рибою. Це збільшує зоопланктон, який споживає синьо-зелені мікродорості.

2.3. Досвід подолання «цвітіння» водойм Східної Азії

В даний час від «цвітіння» водоростей страждає кілька річок Південної Кореї. Екологи звинувачують у цьому Проект відновлення чотирьох основних річок, який був завершений у жовтні минулого року вартістю 22 трильйони вон (19 мільярдів доларів США). «Цвітіння» водоростей охоплює річки Хань, Геум, Накдонг та Йонсан. В рамках проекту було побудовано 16 дамб, що перетворили частину річок на стоячі води - ідеальне середовище для розмноження ціанобактерій. Іншою серйозною проблемою Південної Кореї є «червоні припливи», викликані *Cochlodinium polykrikoides*. З метою подолання та контролю цього явища застосовується метод диспергування глини хвангто. У

таких країнах, як Корея, де рибогосподарська галузь на сотні мільйонів доларів перебуває під загрозою, ця стратегія контролю має сенс в економічному та соціальному плані, і тому робота прогресує.

Однак, після флокуляції клітин з глиною, більшість клітин залишаються не порушеними, і отже, відбувається виживання клітин, що викликає рецидив «цвітіння». Як результат, потрібна велика кількість глини. Після обробки глиною спостерігається негативний вплив на безхребетних, що харчуються фільтром донного середовища, де рівень очищення був низьким. Наприклад, відкладення глини на шарах осаду спричиняє проблеми з виснаженням кисню для осілої біомаси. Тому впроваджуються альтернативні методи боротьби з «цвітінням».

Розсіювання глини як стратегія придушення «цвітіння» під час спалаху водоростей в Південній Кореї. (Фото: Х. Кім) За останні роки були розроблені нові алгіцидні засоби, а саме органічні наночастинки на основі природних джерел, що мають незначну токсичність для морських екосистем та здоров'я людей. Але виробничі витрати обмежують їх застосування в польових умовах. В Японії в 1970-х роках за ініціативи Японського агентства рибного господарства використовували глину для подолання «цвітіння» водойм. Ефективність була вперше підтверджена, коли глину експериментально застосовували під «цвітінням» *Cochlodinium* в морі Ячісіро в 1979 р. З тих пір глину застосовували проти *Chattonella* spp. в бухті Кагосіма і проти *Cochlodinium polykrikoides*, *Chattonella marina* та *Karenia mikimotoi* в морі Ячісіро. Японія здійснювала мобілізацію риби в клітки у внутрішньому морі Сето, але на сьогодні цей метод не використовується.

2.4. Висновки до розділу

Зниження фосфорного навантаження є найперспективнішим методом боротьби з евтрофікацією та «цвітінням» водойм. Про це свідчать результати ряду важливих робіт в рамках проекту «Експериментальна озерна територія» (Experimental Lakes Area). Це відкриття змінило водну політику у всьому світі. «Цвітіння» водойм приносить великі збитки по всьому світу. Особливо

спраждає рибне господарство. Північноамериканське озеро Ері – один з яскравих прикладів як забруднення, так і об'єднання зусиль двох країн (США та Канади) щодо його оздоровлення методом контролю основних джерел надходження фосфатів, а саме: викиди муніципальних очисних споруд, промислові відходи та сільськогосподарські стоки. Гострою проблемою є «червоні припливи» в Мексиканській затоці. Спроби подолання «цвітіння» за допомогою сільфату міді не принесли очікуваних результатів, тому це явище спостерігається в затоці щорічно. В Північній Америці також використовували такі способи подолання «цвітіння» водойм, а саме: використання фосфатні глини, озону, ячмінної соломи.

Політика США націлена на пошук альтернативних методів боротьби з «цвітінням» водойм, а також на зменшення вмісту біогенних елементів у водоймах та підвищення рівня інформованості населення. Європейський досвід характерний заборонаю використання фосфатних міючих засобів у багатьох країнах, впровадженням нових технологій очищення стічних вод, використанням ячмінної соломи, екрануванням донних відкладів та використанням ультразвуку.

Австралійський досвід подолання «цвітіння» водойм характерний використання біоманіпулювання водойм, зменшенням рівня біогенних сполук в водоймах впровадженням нових технологій очищення стічних вод. В Східній Азії основними методами подолання «цвітіння» водойм є використання глини, як флокулянта та мобілізація риби в клітки. Суттєві недоліки цих методів спонукають до пошуку альтернативних способів боротьби з «цвітінням» водойм.

В оз. Тельбін спостерігається дефіцит розчиненого кисню у придонному шарі води протягом року. Влітку можливо, навіть формування анаеробних зон з появою сірководню біля дна, що погіршує екологічний стан водного об'єкту. Водночас, тривалий дефіцит розчиненого кисню інтенсифікує надходження, перш за все, сполук неорганічного азоту та фосфору з донних відкладів до водної товщі. Система аерації водних мас оз. Тельбін складається з 8 локальних аераторів, розміщених через кожні 100 м, з потужною компресорною станцією

та фонтаном, вздовж берега прокладено трубопровід зі стисненим повітрям. Робота аераторів виконується у весняно-осінній період. Біля кожного аератора встановлено датчики контролю показників вмісту розчиненого у воді кисню, водневого показника (рН), температури та мутності води. На основі вимірних показників проводиться подальше автоматичне занурення аераторів по глибині з метою насичення водної товщі. Згідно з інформацією ТОВ «Енерго-Інвест», після запуску аераційних установок вже відмічаються позитивні зміни в стані оз. Тельбін.

За перший місяць їх роботи вдалось максимально відстрочити початок періоду «цвітіння» води синьо-зеленими мікродоростями, нормалізувати рівень рН, вирівняти температуру та збільшити товщу насиченим киснем поверхневого шару води від 2 до 5 м. Робота аераційних установок призвела до вирівнювання вмісту неорганічних форм азоту і фосфору у водній товщі над температурним стрибком, тоді як під ним спостерігається широкий інтервал значень вмісту амонійного азоту та неорганічного фосфору. Цей широкий інтервал величин свідчить про їхнє надходження до водної товщі придонного шару з донних відкладів.



Рис.6, Рис.7, Рис.8. Приклади цвітіння води внаслідок забруднення сільськогосподарськими відходами

РОЗДІЛ ІІІ

УКРАЇНСЬКИЙ ДОСВІД ПОДОЛАННЯ ЯВИЩА «ЦВІТІННЯ» ВОДОЙМ

3.1. Біологічна меліорація водойм

Позитивні результати біологічної меліорації в прісних водах України досягаються завдяки використанню біоплато (інж. водоохоронні споруди), в яких угруповання вищих водяних рослин виконують роль біофільтра й поліпшують якість води. Виявлено можливості використання рослиноїдних риб (зокрема білого амура в каналах південної України і товстолобика у дніпровських водосховищах) як біологічних меліораторів з метою деєвтрофікації водойм (зменшення «цвітіння» водойм) і підвищення рибопродуктивності. Застосування вищих водяних рослин поки ще не набуло широкого поширення в Україні.

3.2. Механічне видалення водоростей та їх переробка

Перспективним методом подолання «цвітіння» водойм є збір катерами водоростей із подальшою їх утилізацією (виробництвом біогазу, ліпідів, добрив, фарб, паперу). Серед наявних технологій перероблення водоростей можна виділити варіант побудови біостанції з отримання біогазу, добрива та інших цінних для промисловості і сільського господарства продуктів. Використання біомаси, зібраної під час «цвітіння» на акваторіях водосховищ дніпровського каскаду, для отримання біогазу (застосування альтернативних джерел енергії) є одним з ефективних способів поліпшення екологічного стану р. Дніпро і прилеглих територій, зменшуються витрати на очищення природних вод до нормативів, зростає продуктивність іхтіофауни, а також утилізації відходів біотехнологічного процесу в галузях сільського та лісового господарства.

В основу способу отримання біогазу покладено метод очищення поверхневих вод від синьо-зелених водоростей шляхом збору та використання

її концентрованої біомаси як субстрату для отримання біогазу шляхом метанового «бродіння» та забезпечення належного рівня якості води в каскаді водосховищ за умови економії енергоресурсів. Енергія, укладена в 1 м³ біогазу, еквівалентна енергії 0,6 м³ природного газу, 0,7 л нафти або 0,6 л дизельного палива. Проте існуючі на сьогоднішній день технічні рішення не можуть бути безпосередньо застосовані для утилізації синьо-зелених водоростей без проведення додаткових теоретичних та експериментальних досліджень. Водорості найпростіше збирати в штиль, коли вони спливають на поверхню і локалізуються там. Умова штилю є єдиним обмеженням в процесі збирання біомаси ціанобактерій.

Біогазова технологія дозволяє отримати в найкоротші терміни за допомогою анаеробного зброджування натуральне біодобриво, яке містить біологічно активні речовини та мікроелементи. Основною перевагою біодобрив перед традиційними добривами, є форма, доступність та збалансованість всіх елементів живлення, високий рівень гуміфікації органічної речовини. Органічна речовина слугує потужним енергетичним матеріалом для ґрунтових мікроорганізмів, тому після внесення в ґрунт відбувається активізація азотофіксуючих та інших мікробіологічних процесів. Це створює позитивний вплив на ґрунтову родючість та поліпшення фізико-механічних властивостей ґрунту. Використання біодобрив для вирощування сільськогосподарських культур дозволить знизити використання хімічних добрив, які несуть негативний вплив на якість і родючість ґрунтів.

Таким чином розроблена стратегія утилізації синьо-зелених мікроводоростей дозволяє не тільки уникнути екологічної небезпеки від їх неконтрольованого розвитку, але й дає змогу отримати необхідні для забезпечення енергетичної незалежності держави енергоносії та ефективні біодобрива.

3.3. Використання *Chlorella vulgaris*

Із середини ХХ сторіччя хлорелу використовують для очищення води. На сучасному етапі інноваційним підходом, який значно дозволяє знизити рівень забруднення водою та покращити органолептичні властивості води, є

біоремедіація водойм суспензією хлорели, яка основана на альголізації водойм планктонними штамами зеленої мікроводорості *Chlorella vulgaris*.

Принцип альголізації полягає в тому, що хлорела здатна кункувати з синьо-зеленими мікроводоростями за ресурсну базу азоту і фосфору. Від інших представників фітопланктону хлорелла відрізняється можливістю життєдіяльності в широкому температурному інтервалі (від 2 до 40 °С), стійкістю до шоків реакцій (заморожування), здатністю розвитку в екстремальних умовах, великим об'ємом виділення кисню в процесі фотосинтезу, високою здатністю утилізувати з води біогенні сполуки. Вона зустрічається у прісних водоймах, морях, ґрунті, аерофітоні. Хлорела також ліквідує наслідки «цвітіння»: очищує воду, насичує її киснем, відновлює популяцію фіто- та зоопланктону. Таким чином, забезпечує рибу природною кормовою базою та в цілому підвищує імунітет рибного стада.

Технологія біологічної реабілітації водойм суспензією мікроводорості хлорели використовується в рибоводних ставках і на очисних спорудах сільськогосподарських і промислових підприємств. Цю технологію розробила і апробувала компанія «Algalive». Технологія застосовується на водоймах рибогосподарського призначення у всіх географічних зонах України, її можна застосовувати для будь-якого прісноводного водоймища і водосховища. Біомеліорація із застосуванням хлорели є одним з найдешевших дієвих методів очищення водойм.

Недоліками технології альголізації є: використання для боротьби з «цвітінням» невеликих водойм (ставків та водосховищ) та проведення повторної альголізації для пролонгації ефекту на більш тривалий термін.

3.4. Заходи по регулюванню «цвітіння» водойм

Аналіз українського досвіду подолання «цвітіння» водойм та стану водних

об'єктів свідчить про такі проблеми як:

- слабка нормативно-правова база;
- відсутність екологічних пріоритетів у виробників;

- застаріла матеріально-технічна база об'єктів господарювання;
- недосконалість системи освіти;
- дезінформація громадськості та низький рівень екологічної свідомості;
- відсутність належного контролю за скидами забруднюючих речовин та стічних вод у водні об'єкти;
- використання фосфатовмісних миючих засобів;
- порушення прибережних захисних смуг та водоохоронних зон.

Перспективні заходи по регулюванню процесу евтрофікації та «цвітіння» водойм запропоновані на рис.

Зважаючи на викладене вище, а також враховуючи екологічну ситуацію, яка склалася в останні десятиріччя, в Україні потрібні нові екологічні підходи у галузі використання, охорони, відновлення водних ресурсів як на рівні практичної діяльності, так і вироблення політичних рішень у напрямку впровадження стратегії сталого розвитку в галузі водокористування, що ускладнюється недосконалістю методологічної бази, а також підвищення рівня освіти та екологічної свідомості кожного громадянина.

Розвиток процесу антропогенної евтрофікації та її еколого-соціальні, медичні і економічні наслідки в Україні набули таких масштабів, що оцінка впливу евтрофікації на стан водних об'єктів – джерел питного водопостачання, а також розробка і обґрунтування шляхів зменшення негативного впливу водного фактора на здоров'я населення повинно розглядатися на державному рівні. При виконанні комплексу заходів на водоймах важливим водоохоронним заходом також є проведення адміністративно-господарського контролю згідно зі ст. 218 Закону України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного добробуту населення». Його суть полягає у регламентації та контролі промислових скидів за рибогосподарськими нормативами гранично-допустимими концентраціями забруднювальних речовин; діючому контролю державних природоохоронних органів за виконанням природоохоронного режиму водойм; винесенні меж земель водного фонду в натуру з метою ліквідації на берегах водойм звалищ, садово-городних ділянок, дачних забудов

без централізованої каналізаційної системи, тощо. Національні стандарти «ДСТУ-Н Б В.2.5-61:2012 Настанова з улаштування систем поверхневого водовідведення» та «ДСТУ 8691:2016. Стічні води. Настанови щодо встановлення технологічних нормативів відведення дощових стічних вод у водні об'єкти» застаріли, не відповідають вимогам європейських директив та потребують внесення змін. Слід визначити, що немає законодавчо-нормативної бази та чіткого механізму контролю за станом водовідведення у невеликих населених пунктах і на окремих об'єктах.

Законодавча база у сфері управління стічними водами та доступу до санітарії нерозвинута і потребує адаптації до норм Водної рамкової директиви ЄС і Директиви Ради 91/271/ЄЕС для регулювання в сфері очистки та скидання стічних вод, налагодження моніторингу якості очистки та повторного використання стічних вод, контролю за скидами стічних вод у природне середовище, з урахуванням навантаження по азоту та фосфору. Також варто зосередити зусилля здебільшого на контролі за забрудненням з точкових джерел. Зусилля щодо контролю точкових джерел виявилися успішними для розвинених країн. Заборона використання фосфатних миючих засобів та видалення фосфору з стічних вод є ефективними стратегіями контролю.

Заходи по регулюванню процесів евтрофікації та цвітіння водойм
Зменшення надходження біогенних елементів Відмова від використання фосфатовмісних миючих засобів. Контроль за викидами стічних вод та впровадження нових технологій очищення стічних вод. Моніторинг якості поверхневих вод та прогнозування їх зміни. Внесення змін до нормативно-правової бази в галузі водокористування та охорони довкілля.

Регулювання гідрологічних умов водойм. Посилення водообміну
Регулювання гідродинамічних процесів. Зниження токсичної дії донних відкладень. Створення природоохоронних зон навколо водойм. Підприємства можуть зменшити забруднення поживними речовинами, керуючи та зменшуючи їх викиди у повітря та воду.

Інвестиції в енергоефективність та перехід до відновлюваних джерел енергії сприяють зменшенню забруднення від викопного палива. Управління фермами, полями та водозборами може допомогти зменшити стік поживних речовин у водні об'єкти. Фермери можуть зменшити споживання добрив та мінімізувати втрати поживних речовин внаслідок своєї діяльності завдяки стійкій практиці управління поживними речовинами. Це передбачає внесення добрив та гною в строгих кількостях в оптимальні терміни. Вибір найбільш безпечного методу та точне розміщення є критичними факторами. Посадка польових буферів та забезпечення цілорічного ґрунтового покриття допомагають запобігти ерозії фермерських ґрунтів та зменшити втрати поживних речовин у водні шляхи. Фізичні особи також можуть внести свій внесок.

Наприклад, вибір миючих засобів, мила та шампунів, що не містять фосфатів. Збереження енергії в домашньому господарстві допомагає мінімізувати забруднення поживними речовинами в повітрі викопного палива. Це включає використання енергоефективного побутового обладнання та дизайн зелених будівель. Доведено, що у якості ефективного методу по регулюванню «цвітіння» водойм доцільно розглядати синьо-зелених мікродоростей, масовий неконтрольований розвиток яких формує високий рівень екологічної небезпеки в об'єктах гідросфери.

3.5. Висновки до розділу

Стан річкових систем України незадовільний, внаслідок постійного антропогенного забруднення. В Україні «цвітіння» водойм є досить складною проблемою за рахунок збігу сприятливих метеокліматичних умов для масового розвитку синьо-зелених мікродоростей та наявності значної кількості евтрофікованих водойм. Окрім цього, дана проблема загострилася після створення каскаду дніпровських водосховищ, оскільки утворилася значна кількість мілководь, які мають малопроточний режим та малі глибини, що сприяє доброму прогріванню води і масовому розвитку синьо-зелених водоростей.

Основними причинами «цвітіння» водойм в Україні є: недотримання режиму господарської діяльності в прибережних захисних смугах; евтрофування водойм забруднюючими стічними водами міст, промислових та аграрних підприємств; використання в сільськогосподарському виробництві мінеральних та органічних добрив, пральних засобів сприяє забрудненню фосфором та СПАР; спорудження каскаду водосховищ на Дніпрі, в результаті чого було затоплено великих обсягів продуктивних земель, змінено водний режим та утворення мілководь.

Домінуючими агентами, що викликають «цвітіння» дніпровських водосховищ, є представники родів *Microcystis*, *Phormidium*, *Aphanizomenon*, *Anabeana* і *Oscillatoria*.

Для боротьби з «цвітіння» водойм в Україні використовують способи: проведення екологічних акцій та інформаційних кампаній проти застосування пральних порошків, які містять фосфати або фосфонати; заходи, які спрямовані на зміну гідрологічних параметрів; використання механічних методів регулювання рівня «цвітіння»; проведення біологічної меліорації; використання альгіцидів; механічне видалення водоростей для отримання біогазу; використання хлорели; очищення дна від загиблих водоростей або захоронення донних відкладів. Запропоновані заходи по регулюванню евтрофікації та «цвітіння» водойм України, що включає оновлення інфраструктури очисних споруд та каналізації, жорстке законодавче регулювання господарської діяльності у прибережних зонах, робота з підвищення екологічної свідомості населення. Реалізація комплексу заходів повинна носити послідовний та системний характер. Реалізація водоохоронних заходів повинна здійснюватися у тісній співпраці між державними органами влади, органами місцевого самоврядування та місцевими громадами.



Рис. 9. Приклади знищення риби внаслідок «Цвітіння води» у водоймі

РОЗДІЛ ІV. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Антропогенні джерела забруднення водойм

Основним джерелом водопостачання для людства є річковий стік, який на Україні складає приблизно 83,5 млрд. м³ і розподілений він нерівномірно. На густонаселені регіони, де розміщені найбільш водоемні галузі припадає лише 30% прісної води (Донецько-Придніпровський і південний регіони України). Дефіцит води тут ставить важливі проблеми будівництва каналів для перерозподілу води та водосховищ.

Основним водопостачальником на Україні є Дніпро, в меншій мірі забирається вода для господарських потреб із інших річок України (Дунай, Дністер, Південний Буг, Тиса та інші).

Антропогенні перетворення континентальних вод досягли глобальних масштабів, що стало причиною порушення природних режимів великих озер і річок. Цьому сприяло будівництво гідротехнічних споруд таких як водосховища, зрошувальні канали, тощо, збільшення площ випаровування за рахунок зрошення, забруднення континентальних вод.

Темпи використання водних ресурсів у світі зростають значно швидше, ніж будівництво очисних споруд, тому особливо гостро постала проблема забруднення природних водойм. Під забрудненням природних вод розуміють зміну їх фізичних, хімічних, біологічних та інших параметрів, що є причиною шкідливої дії на людину або природу, а також обмеження можливості використання води.

Причинами забруднення природних водойм є ряд факторів як природного, так і антропогенного характеру. Джерелами антропогенного забруднення водних об'єктів є промислові підприємства, комунальні господарства населених пунктів, які забезпечують збирання, очищення та скидання побутових, виробничих та поверхневих стічних вод до водного об'єкта, неорганізовані поверхневі стічні води, які не стікають у систему водовідведення населеного пункту, а по рельєфу без очищення потрапляють до водного об'єкта.

Головним джерелом антропогенного забруднення є стічні води промислових підприємств. Стічні води низки підприємств містять деяку кількість важких металів, детергентів, нафтопродуктів та інших інгредієнтів. Ці речовини відсутні в незабруднених природних водах або ж містяться в значно менших концентраціях. Найбільша кількість забруднювальних речовин у воду потрапляє разом із стічними водами підприємств нафтопереробної, хімічної, целюлозно-паперової, металургійної, текстильної й деяких інших галузей промисловості.

Значної шкоди природним водам можуть завдати стічні води із сільськогосподарських територій в разі порушення технологій внесення агрохімічних засобів на сільгоспугіддя та їхнє надходження до водних об'єктів. Особливо це стосується колекторних і дренажних вод зрошуваних полів. Стік із сільськогосподарських угідь може бути поверхневим і ґрунтовим. Тому на цих територіях часто забруднюються ґрунтові води. У зв'язку з широким використанням добрив значна частка із загального складу мінеральних компонентів, які стікають із сільгоспугідь, припадає на азот і фосфор. З колекторними і дренажними водами до водних об'єктів потрапляють мінеральні й органічні речовини, а також пестициди.

Під впливом надходження органічних речовин у водах річок інших водних об'єктів спостерігаються значні зміни концентрацій окремих компонентів, а також фауни і флори.

Збільшення ерозії ґрунтів при розорюванні сільгоспугідь, а особливо при поливі, сприяє стоку значної кількості мінеральних і завислих речовин, що призводить не тільки до забруднення водних об'єктів, а й до посилення темпів їхньої евтрофікації, порушення умов живлення.

Суттєвим джерелом забруднень водойм і водотоків є господарсько-побутові стічні води. Вони утворюються в результаті використання населенням водопровідної води для побутових цілей. Побутові стічні води містять фізіологічні виділення людей, відходи людської діяльності – миття посуду, прання білизни, ганчір'я, папір тощо.

За зовнішнім виглядом ці стічні води є рідиною з низькою прозорістю, сірим кольором і неприємним запахом. У наш час збільшується забруднення повітряного басейну, що також погіршує якість води. В атмосферних опадах містяться мінеральні, органічні й завислі речовини і насамперед сполуки сірки, вуглецю, деякі важкі метали. Значне забруднення водою спричиняють «кислі» дощі як наслідок сполучення в атмосфері діоксиду сірки з парами води.

Гідрохімічний і гідробіологічний режими водних об'єктів значною мірою змінюються тепловими та атомними електростанціями за рахунок скидання теплих вод. Теплове забруднення порушує хід природних гідрохімічних процесів, часто спричиняє евтрофікацію водою.

Окремим джерелом забруднення водних об'єктів є аварійні ситуації на системах водовідведення, на очисних спорудах і промислових підприємствах, в результаті яких неочищені стічні води потрапляють до водних об'єктів.

4.2. Наслідки антропогенного забруднення водою

Високий вміст біогенів за рахунок надлишкових азота і фосфора, що містяться в насичених добривами стоках з сільськогосподарських угідь, стоках з тваринницьких комплексів, в миючих засобах господарсько-побутових стоків, кислотних дощах та інших відходах, стимулює автотрофну гіперпродукцію органічної речовини і результатом цього процесу є зміна стану якості води внаслідок надмірного розвитку альгофлори.

Антропогенна евтрофікація є причиною масового спалаху синьо-зелених мікроводоростей і в багатьох випадках призводить до деградації водою: погіршення якості води, забруднення водного середовища токсинами водоростей, зміна видового складу біоценозів, замори риби та ін.

Водорості і ціанобактерії, що сильно розмножуються у верхніх горизонтах водою, мають набагато більшу сумарну поверхню тіла і біомасу, чим нормальний рослинний комплекс при постійному рівні евтрофікації водою. При цьому вночі фотосинтез в рослинах не йде, а процеси дихання продовжуються, що вимагає витрат кисню. В результаті кисень у верхніх горизонтах води стає майже вичерпанним, і спостерігається загибель організмів, що мешкають в при поверхневих водах, від його нестачі. Велика кількість

відмерлих організмів з верхніх шарів водоймища опускаються на дно, де відбувається їх розкладання, на що витрачається залишок кисню води. Все це приводить до загибелі бентосних організмів.

Окрім того, у донному ґрунті, позбавленому кисню, порушуються окисно-відновні процеси, виникає дефіцит кисню, проходить ферментативне анаеробне розкладання відмерлих організмів з утворенням таких отрут для живого як аміак, метан, феноли, сірководень тощо, що викликає подальше отруєння організмів у всіх ланках водойми, ще більш масоване відмирання, і як наслідок – додаткове збільшення використання кисню при розкладанні органіки. В результаті відбувається зміна трофічного статусу водоймища, що супроводжується перебудовою всього водного угруповання і веде до переважання гнильних процесів (і, відповідно, зростанню каламутності, солоності, концентрації бактерій) у воді. Ціанобактерії та водорості, роблять воду непрозорою з неприємним запахом, а також покривають камені слизовою плівкою. Така евтрофікована водойма втрачає своє господарське і біогеоценологічне значення.

Процес евтрофікації призводить до зростання чисельності синьо-зелених мікроводоростей, багато з яких продукують токсичні метаболіти (альготоксини). Речовини, що виділяються ними, відносяться до групи фосфор- і сірковмісних органічних сполук. Альготоксини акумулюються у водній екосистемі, іноді трансформуються, але зберігають при цьому токсичність. Найбільша кількість альготоксинів звичайно потрапляє у воду водойм – джерел водопостачання при масовому відмиранні водоростевої маси. Інтоксикація може відбуватися при питному споживанні, купанні у водоймі, при споживанні риби, тощо.

Негативно впливає на стан здоров'я людей не тільки вода у період «цвітіння» синьо-зеленими мікроводоростями, але і повітря, яке забруднене летючими сполуками, що виділяються з копичень водоростей, які розкладаються. Дія токсинів може виявлятися у виникненні дерматозів, шлунково-кишкових захворювань людини; у особливо важких випадках - при

попаданні великої маси водоростей всередину організму може розвиватися параліч.

До негативних соціальних наслідків антропогенної евтрофікації, що спричиняє «цвітіння» водойми, відносять:

- підвищення ризику появи у воді біологічно активних речовин, у тому числі токсичних – метаболітів та продуктів розкладу водоростей;
- погіршення якості води за органолептичними, санітарно-мікробіологічними показниками;
- підвищення ризику утворення шкідливих речовин у процесі обробки води за існуючими технологіями (утворення діоксинів при хлоруванні води, забрудненої фенольними сполуками та ін.);
- погіршення умов життєдіяльності населення і підвищення ризику здоров'я людини при токсичному «цвітінні»;
- накопичення канцерогенних нітритоамінів під впливом підвищеного вмісту нітратів, нітритів;
- бактеріальне, вірусне, грибокве забруднення води внаслідок біологічного забруднення, що супроводжує «цвітіння».

4.3. Висновки до розділу

Основними джерелами антропогенного забруднення є скидання неочищених вод від сполук фосфору та азоту промислових, комунально-побутових стічних вод; вимивання ґрунтовими водами й зливами мінеральних добрив із сільськогосподарських угідь; надходження стічних вод тваринницьких комплексів; скидання теплих вод тепловими та атомними електростанціями. Це призводить до антропогенної евтрофікації та «цвітіння» водойм.

РОЗДІЛ. У. ПРОВЕДЕННЯ ВЛАСНИХ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ТЕРИТОРІЇ НОВОВОЛИНСЬКОЇ МТГ

У 2024 та 2025 році об'єктом дослідження щодо проблеми цвітіння води було обрано річку Західний Буг (Рис.10, рис. 26). Спостереження за річкою розпочалося у травні 2024 року і продовжувалося до жовтня 2025 року. Також паралельно проводилося спостереження за штучною водоймою у місті Нововолинську для порівняння. У ході польових досліджень робилася візуальна оцінка стану водойми, робилися відбори проб води та визначення основних якісних показників води (Рис. 3.2). 14 Рис. 3.2 Відбір проб червень-липень 2024 року Протягом усього літнього періоду ні візуальна оцінка, ні мікроскопія проб води не показали наявності збудників цвітіння. У вересні-жовтні 202; року на річці Західний Буг було виявлено збудника цвітіння - *Geitlerinema splendidum* (рис. 26).

Із зразками води я, Цегловська Уляна, вихованка гуртка «Природничі студії» і мій керівник Височанська Людмила Орестівна звернулися до начальника хімікобактеріологічної лабораторії КП Нововолинськ водоканал Нововолинської міської ради Ясинської Аліни Миколаївни, яка і стала консультантом мого науковоосвітнього проекту «Вчителі та учні досліджують явище цвітіння водойм в Україні» у 2025 році.

Аліна Миколаївна провела нам екскурсію по лабораторії (рис. 11, рис. 12) Ознайомила із приладами, устаткуванням і реактивами, які використовуються при проведенні бактеріологічного і хімічного аналізу води (рис.13, рис. 14, рис. 15, рис. 16, рис. 17, ис. 18, рис 19, рис. 20).

На жаль у даній лабораторії, а також на території Нововолинської міської територіальної громади аналіз води на цвітіння не проводиться, тому, що немає відповідного обладнання і реактивів. Але у лабораторії, у яку ми завітали, ми змогли зробити аналіз питної води на вміст заліза і нітратів (рис. 21, рис. 22, рис.23, рис. 24, рис. 25).

Ми мали можливість отримати дуже цікаву і корисну інформацію про якісні показники води по Південному водозабору КП

«Нововолинськводоканал» НМР за 2024 рік по двох артезіанських свердловинах. Це саме та вода, яку ми вживаємо у і користуємося у центральному приміщенні Нововолинського центру дитячої та юнацької творчості, та еколого-натуралістичного відділу, який знаходиться в селищі Благодатне.

Ми і надалі будемо співпрацювати з начальником хімікобактеріологічної лабораторії КП Нововолинськ водоканал Нововолинської міської ради Ясинською Аліною Миколаівною. Адже її консультації і наші практичні навички в користуванні приладами лабораторії, це дуже хороший досвід і старт у доросле майбутнє, у виборі професії. У мене появилася мрія стати хіміком-екологом.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізувавши літературні джерела, було охарактеризовано явище «цвітіння» водойм і евтрофікації, причини, механізм та наслідки цих явищ, також основних збудників «цвітіння» водойм.

2. Проаналізовано й описано існуючі способи подолання «цвітіння» водойм, а саме: механічні, фізико-хімічні, екологічні та біологічні; їх переваги та недоліки.

3. Було проаналізовано досвід подолання «цвітіння» водойм Північної Америки, Європи, Австралії та Східної Азії. Серед описаних способів подолання «цвітіння» водойм найефективнішими є: контроль основних джерел надходження фосфатів у воду (викиди муніципальних очисних споруд, промислові відходи та сільськогосподарські стоки); заборона використання фосфатних миючих засобів; впровадження нових технологій очищення стічних вод; захистіть ґрунтів від ерозії; використання ультразвуку.

4. Було проаналізовано стан річкових України, джерела антропогенного забруднення, основні причини виникнення «цвітіння» водойм та способи регулювання цього явища. Найперспективнішим є механічний спосіб, зокрема збирання біомаси водоростей для отримання біогазу.

5. Запропоновано заходи по регулюванню евтрофікації та «цвітіння» водойм України, що включають: зменшення надходження біогенних елементів, моніторинг якості поверхневих вод та прогнозування їх змін, внесення змін до нормативно-правової бази в галузі водокористування та охорони довкілля, регулювання гідрологічних умов водойм та створення природоохоронних зон навколо водойм.

6. Проведено аналіз води в хіміко-бактеріологічній лабораторії КП Нововолинськ водоканал Нововолинської міської ради.

СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Янко Н. В. Антропогенна евтрофікація Шацьких озер / Н. В. Янко, В. В. Станкевич, Н. М. Коваль // Довкілля та здоров'я. – 2014. – No 3. – С. 51-55. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dtz_2014_3_12.
2. Бохан Ю.В. Аналітичний моніторинг екологічного стану природних поверхневих водних об'єктів Кіровоградської області / Ю.В. Бохан, О.В. Терещенко // Здоровий спосіб життя – здорова людина – здорове суспільство: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 10-11 квіт. 2014 року, м. Кіровоград / М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. техн. ун-т.-Кіровоград: КНТУ, 2014.– С. 25-28.
3. Еколого-гідроморфологічний аналіз проблем підтоплення земель у зоні впливу дніпровських водосховищ / С.С. Дубняк // Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту: Зб. наук. пр. – 2007. – Вип.256.–С.293-307.
4. Дудник С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування [Монографія] / С.В.Дудник, М.Ю.Євтушенко. –К.: Вид-во Українського фітосоціологічного центру, 2013. – 297с.
5. Основи гідроекології: теорія й практика: навч. посіб. / М. В. Боярин, І. М.Нетробчук.–Луцьк:Вежа-Друк,2016.–365с.
6. Хільчевський В. К. Водопостачання і водовідведення. Гідроекологічні аспекти: підручник / В. К. Хільчевський. – К. : ВЦ —Київ. ун-т]], 1999. – 319 с.
7. Пресслужба Укргідроенерго. Проблема цвітіння води в Україні: як її вирішити? URL: https://uhe.gov.ua/media_tsentr/novyny/problema-cvitinnya-vodi-v-ukraini-yak-ii-virishiti.
8. Причини, що зумовлюють цвітіння води та як з ними боротись. URL: https://darg.gov.ua/prichini_shcho_zumovljutj_0_0_0_6500_1.html.

Додатки



Рис.10., рис. 10-А. Взяття проб води для проведення аналізу



Рис. 11., рис.12. Проведення досліджень води в хіміко-бактеріологічній лабораторії КП Нововолинського водоканалу Нововолинської міської ради



Рис. 13., рис. 14. Ознайомлення з обладнанням лабораторії, на якому проводиться хіміко-бактеріологічний аналіз води



Рис. 15., рис. 16. Ознайомлення з обладнанням лабораторії, на якому проводиться хіміко-бактеріологічний аналіз води



Рис. 17., рис. 18. Ознайомлення з обладнанням лабораторії, на якому проводиться хіміко-бактеріологічний аналіз води

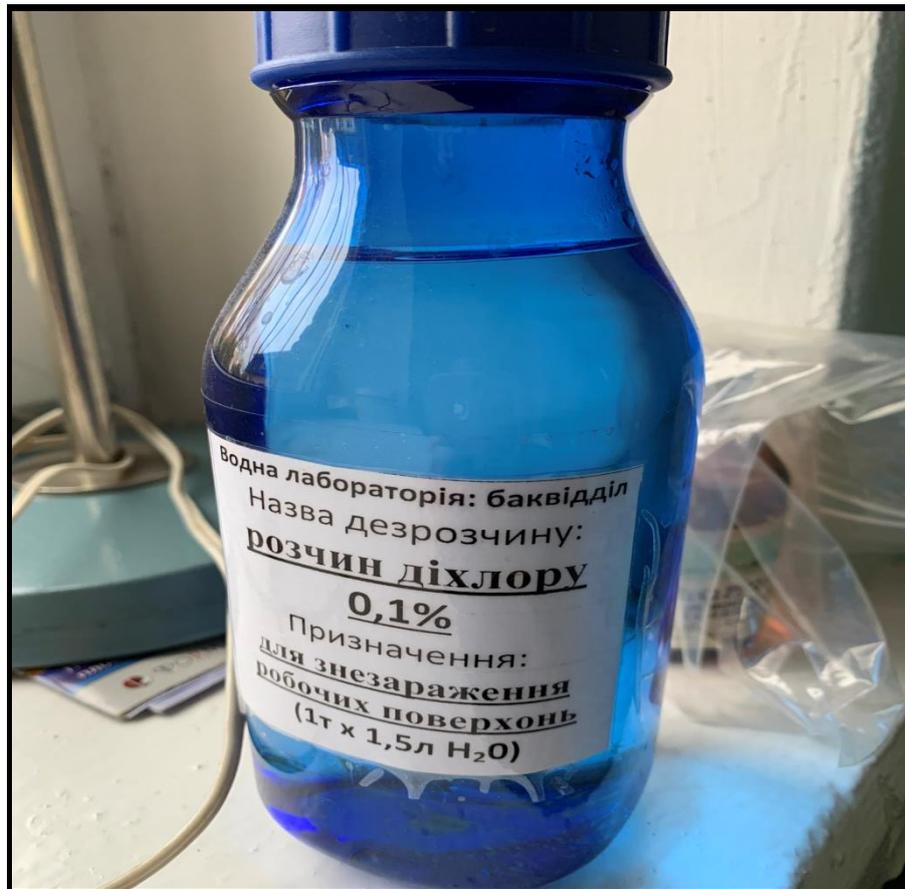


Рис.19., рис. 20. Хімічні реактиви, які використовують в лабораторії для проведення аналізу води



Рис. 21., рис. 22. Лабораторне проведення аналізу води

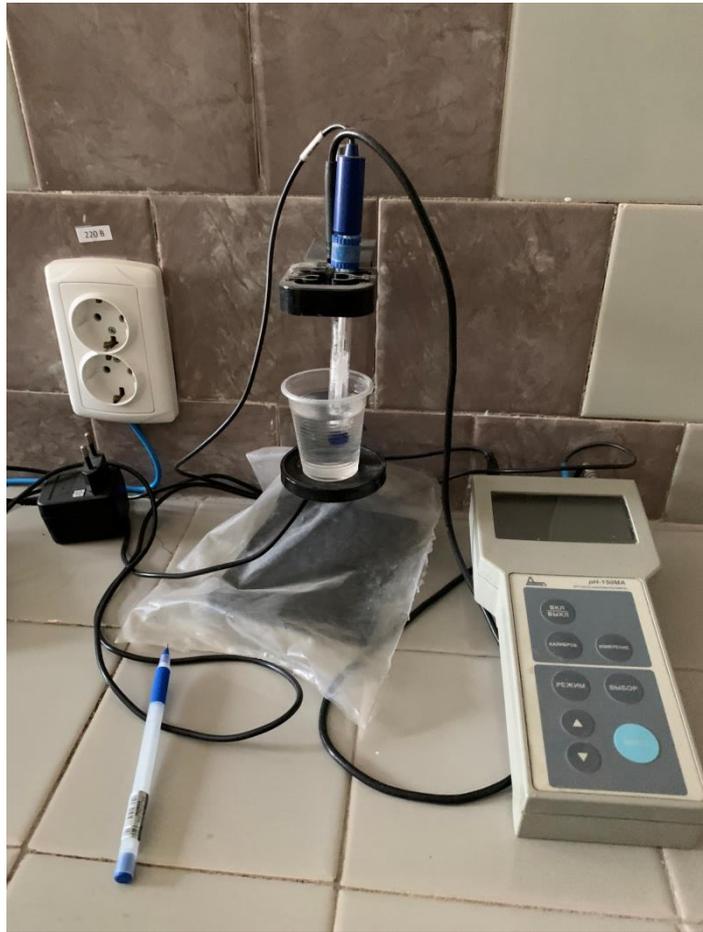


Рис. 23., рис 24. Лабораторне проведення аналізу води



Рис. 25. Лабораторне проведення аналізу води



Рис. 26. Явище цвітіння води на річці Західний Буг