

ПРИРОДНО-ШТУЧНИЙ БІОМЕЛІОРАТИВНИЙ КОМПЛЕКС ЯК НОВИЙ НАПРЯМОК БІОЛОГІЧНОЇ МЕЛІОРАЦІЇ РІЗНОТИПНИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ УКРАЇНИ

Яцюк М.В.¹, Щербак В.І.¹, Семенюк Н.Є.¹, Полятикіна О.О.¹, Лещук В.О.¹, Коротецький В.П.²

¹Інститут водних проблем і меліорації Національної академії аграрних наук України
вул. Васильківська, 37, 03022, м. Київ

²Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ
mv_yatsiuk@ukr.n, ek424nat@ukr.net, natasemenyuk@gmail.com, mars108@meta.ua,
gelios009@gmail.com, barberv2017@gmail.com, mars108@meta.ua

Досліджено перспективний напрямок біологічної меліорації водних об'єктів – природно-штучний біомеліоративний комплекс (ПШБК), що створюється з гідробіонтів різних трофічних рівнів та екологічних груп і дозволяє сформувати потоки енергії та колообіг речовин й інтенсифікувати процеси самоочищення. Це призводить до мінімізації біологічних загроз та поліпшення якості води, використовуваної для різних господарських потреб. Переваги даного методу полягають у тому, що його застосування не призводить до зміни природного гідрохімічного режиму водних об'єктів та потребує менших затрат праці і коштів порівняно з фізичними та хімічними методами. Біологічна меліорація водних об'єктів не суперечить природоохоронному законодавству України і має статус природоохоронного заходу. У складі ПШБК можуть бути різні види риб, харчовим ресурсом яких є фітопланктон, вищі водні рослини, фітоперифітон, молюски та інші види зоооб'єктів, детрит. Визначено оптимальний видовий склад риб-біомеліорантів ПШБК та оптимальні вікові та вагові характеристики зарибку. Проаналізовано особливості функціонування ПШБК на різномісних водних об'єктах України: рівнинних водосховищах, штучних каналах для водогосподарських потреб, водних об'єктах урбанізованих територій та водоймищах-охолоджувачах ТЕС та АЕС. Під час створення ПШБК застосовується диференційований підхід до вибору його складових, який залежить від типу водного об'єкта та наявних біологічних загроз. Так, для мінімізації «цвітіння» води синьо-зеленими водоростями пропонується створення трофічного ланцюга «фітопланктон – білий товстолобик». За умови заростання акваторій вищими водними рослинами та надмірного розвитку нитчастих водоростей доцільним є створення трофічного ланцюга «макрофіти – білий амур». За надмірного розвитку зооперифітону (зообентосу твердих субстратів), зокрема молюсків роду *Dreissena*, до складу ПШБК пропонується додати чорного амура і коропа. *Ключові слова*: біомеліорація, біологічні загрози, фітопланктон, вищі водні рослини, рослиноїдні риби, природно-штучний біомеліоративний комплекс.

Natural-artificial bio-reclamation complex as a new area in biological reclamation of various water bodies of Ukraine.
Yatsiuk M., Shcherbak V., Semeniuk N., Poliatykina O., Leshchuk V., Korotetskiy V.

Present environmental changes, in particular significant human pressure and global climate fluctuations, increase the negative role of biological hazards in aquatic ecosystems' functioning. Such biological hazards include cyanobacterial blooms, water areas overgrowth with higher aquatic plants and filamentous algae, excessive development of periphytic and benthic invertebrates, for example, mollusks, accumulation of high amount of organic matter in the form of detritus, which, when being decomposed, reduces the dissolved oxygen content in water.

There are various methods and procedures for controlling biological hazards. Physical methods (such as removing macrophytes mechanically) are rather labor-consuming, and chemical methods (for example, using herbicides) may cause contamination of water-bodies with toxic substances.

Biological methods (in particular, biological reclamation) do not disturb the water-bodies' natural chemical conditions and require less labor and costs inputs. The bio-reclamation procedures described in the scientific literature, as a rule, include only herbivorous fish species introduction. However, the attention is not paid to aquatic ecosystems' other biotic components taking part in matter circulation and energy flow: phytoplankton, higher aquatic plants, benthic invertebrates.

Besides, there is no unified methodology for biological reclamation of different water bodies within Ukraine.

In the view of the above, the aim of this study is to propose a new method for biological reclamation of water bodies – Natural-Artificial Bio-reclamation complex (NABC), which allows to efficiently mitigate biological hazards.

The methodology for forming the NABC consists of several steps: 1) complex scientific research; 2) theoretical analysis of obtained field data; 3) creating the NABC.

The NABC implementation provides for forming new grazing food chains and detrital food chains. For this purpose, the water body is planted with fish species with various food spectra, consuming phytoplankton, higher aquatic plants, phytoperiphyton, zooperiphyton, detritus. It is important, that introduction of fishes-ameliorants does not bring about any competition for food with local fish species.

The NABC introduction in water bodies of various types allows mitigating biological hazards, forming energy flow and matter circulation, intensifying self-purification processes, and improving the water quality.

When creating the NABC it is necessary to apply an individual approach to selecting its components depending upon the water body's type and present biological hazards.

For controlling cyanobacterial blooms, it is proposed to create a grazing trophic chain "phytoplankton – *Hypophthalmichthys molitrix*". In case of water area overgrowth with higher aquatic plants and filamentous algae, it is reasonable to create a grazing trophic

chain “macrophytes – *Ctenopharyngodon idella*”. In water bodies with excessive development of periphytic invertebrates, in particular *Dreissena* mollusks, it is proposed to introduce *Mylopharyngodon piceus* and *Cyprinus carpio*. In case of detritus accumulation in large amounts, a detrital food chain may be created. For this purpose, *Hypophthalmichthys nobilis* and *Ctenopharyngodon idella* are introduced, which consume detritus.

The methodology is protected by a patent and has high prospects to be implemented in water bodies of Ukraine. *Key words:* bio-reclamation, biological hazards, phytoplankton, macrophytes, herbivorous fishes, Natural-Artificial Bio-reclamation Complex.

Постановка проблеми. Відповідно до Закону України «Про меліорацію земель» [8] *меліорація земель* – це комплекс гідротехнічних, культуртехнічних, хімічних, агротехнічних, агролісотехнічних, інших меліоративних заходів, що здійснюються з метою регулювання водного, теплового, повітряного і поживного режиму ґрунтів, збереження і підвищення їх родючості та формування екологічно збалансованої раціональної структури угідь.

Останнім часом у зв'язку з глобальними змінами клімату та антропогенним впливом (зокрема евтрофуванням) у водних екосистемах спостерігається зростання ролі *біологічних загроз*. Так, на сьогодні у різномісних водних об'єктах України існують такі основні типи біологічних загроз:

1. «Цвітіння» води планктонними синьо-зеленими водоростями (*Cyanobacteria*). Основними негативними наслідками «цвітіння води» є:

- формування плівки на поверхні води, що перешкоджає надходженню сонячної радіації у водну товщу;
- кисневе перенасичення в поверхневих горизонтах та дефіцит кисню в придонних горизонтах;
- надходження у воду органічних речовин, фенолів у воду після відмирання та деградації водоростевої біомаси;
- виділення алкотоксинів, які є небезпечними для гідробіонтів вищих трофічних рівнів (безхребетних, риб);
- забивання водоростями, особливо їх колоніями, зябрових щілин риб, зоопланктону, зообентосу;
- у водоймищах–охолоджувачах зниження теплопередачі в атмосферу через наявність плівки «цвітіння» на поверхні води та зменшення ефективності експлуатації водойм.

2. *Надмірний розвиток нитчастих водоростей*. Основними негативними наслідками є:

- формування механічних перешкод току води;
- надходження у воду органічних речовин, фенолів;
- інтенсифікація розвитку бактерій, які викликають гниття.

3. *Заростання акваторій вищими водними рослинами*. Негативними наслідками є:

- затінення водної товщі;
- формування кисневого дефіциту;
- інтенсифікація розвитку анаеробної мікрофлори;
- зменшення водного потоку в каналах;
- надходження у воду органічних речовин;
- багаторічне накопичення залишків кореневих систем, що призводить до зменшення потужності поперечної площі водного потоку [26].

4. *Масовий розвиток молюсків обростань*, зокрема видів роду *Dreissena*. Основні негативні наслідки:

- істотне зниження пропускної здатності водозабірних споруд;
- надходження у воду органічних речовин при відмиранні молюсків;
- поверхня мушлі дрейсени слугує едіфікатором для розвитку гіллястостусих ракоподібних, олігохет, гамарид [17].

Існують такі основні групи методів боротьби з біологічними загрозами:

- Фізичні (механічні), наприклад механічне видалення вищих водних рослин, молюсків. До прикладу, на Хмельницькій АЕС механічним шляхом за один цикл очищення з підвідного каналу було видалено до 700 т молюсків дрейсен [22]. Такі методи досить трудомісткі.
- Хімічні, зокрема використання спеціальних фарб чи додавання біоцидів до різних будівельних матеріалів тощо. Недоліком цих методів є те, що вони можуть призводити до надходження токсичних речовин у водні об'єкти.
- Біологічні методи, до яких належить біологічна меліорація.

Біологічна меліорація водного об'єкта – це поліпшення стану водного об'єкта за допомогою біологічних заходів, спрямованих на покращення умов існування корисних водних організмів та штучне підвищення біологічної та господарської продуктивності водних угідь. До таких заходів можуть належати [23]:

- поглиблення та розчищення водойм;
- збереження природних нерестовищ;
- облаштування штучних нерестовищ;
- рятування молоді риб з водойм, які відшнурувались від основної акваторії;
- інтродукція у водойми рослиноїдних риб (білого амура, білого і строкатого товстолобів, чорного амура) з метою боротьби з біологічними загрозами.

Відповідно до ст. 17 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [9], біологічна меліорація за допомогою рослиноїдних риб має статус природоохоронного заходу. Це затверджено в Постанові Кабінету Міністрів України № 1147 [19], що забезпечує її пріоритетність перед іншими заходами з використання даної водойми. Пріоритетність запровадження технологій водокористування для попередження евтрофікації водойм була передбачена також «Загальнодержавною програмою розвитку водного господарства» (розділ 2,

ст. 3), затвердженою Законом України «Про загальнодержавну програму розвитку водного господарства» від 17.01.2002 р. № 2988-III [7]. Повномасштабне введення в іхтіофауну споживачів первинної продукції дозволяє спрямувати потоки речовини та енергії у водній екосистемі по пасовищним ланцюгам, повністю використовувати біопродукційний потенціал водойм, утилізувати надлишкову органічну речовину за рахунок природних процесів та накопичувати її в іхтіомасі, тобто у формі, яка доступна для вилучення і повільно залучається до кругообігу речовини та енергії в екосистемі [2].

Аналіз попередніх досліджень (публікацій). Інформаційний пошук показав, що наукові роботи, присвячені проблемам біологічної меліорації, є нечисленними і стосуються в основному вселення у водойми рослиноїдних риб. Зокрема, це монографія І.Ю. Бузевича щодо рослиноїдних риб у водосховищах України [2]. Також опубліковані деякі статті по вселенню риб далеосхідного комплексу у водоймища-охолоджувачі України, наприклад ВО Змієвської ТЕС [3], Криворізької ТЕС [5], Хмельницької АЕС [12], Запорізької АЕС [18].

Описані у даних роботах біомеліоративні заходи включали лише вселення риб. Тоді як, поза увагою дослідників залишаються інші компоненти водних екосистем, які є складовими трофічних ланцюгів, колообігу речовин та потоків енергії та формують біопродукційний потенціал водних екосистем і якість водного середовища (фітопланктон, вищі водні рослини, зообентос тощо).

Крім того, на сьогодні не розроблена єдина загальнодержавна методологія біологічної меліорації різнотипних водних об'єктів України.

З огляду на це, **мета роботи** – обґрунтувати та запропонувати до широкого впровадження новий напрямок біологічної меліорації водних об'єктів – природно-штучний біомеліоративний комплекс (ПШБК), що є ефективним методом мінімізації біологічних загроз.

Методологія формування ПШБК передбачає декілька етапів.

Комплексні наукові дослідження.

Методи натурних досліджень для створення ПШБК передбачають комплекс різнопланових досліджень, зокрема: польові – дослідження біотичних характеристик (відбір проб гідробіонтів); визначення абіотичних характеристик водних екосистем, до яких належать гідрологічні, гідрохімічні, гідрофізичні. Лабораторні – гідрохімічний лабораторний аналіз; камеральне опрацювання проб гідробіонтів.

Польові методи досліджень

Під час експедиційного виїзду на кожній станції спостереження вимірюються основні середовище-утворюючі абіотичні характеристики екосистеми (температура води, прозорість води за диском Секкі, абсолютний і відносний вміст розчинного у воді кисню), відбираються проби води для визначення її

гідрохімічного складу та проби гідробіонтів різних трофічних рівнів та екологічних груп.

Гідрохімічний аналіз включає визначення таких показників: загальна мінералізація води (сума іонів); іонно-солевий склад: вміст сульфат-іонів (SO_4^{2-}), хлорид-іонів (Cl^-), гідрокарбонатів (HCO_3^-), катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} ; вміст біогенних елементів: неорганічних сполук азоту (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) і фосфору (PO_4^{3-}); біхроматна і перманганатна окиснюваність (БО і ПО) [1].

Біотичні характеристики

Проби фітопланктону відбирають батометром Руттнера з поверхневого і придонного горизонтів водної товщі в пластикові пляшки, пронумеровані і відкалібровані на 0,5 дм³, і консервують 40% розчином формальдегіду з розрахунку 1:100 [15].

Відбір проб макрофітів здійснюється на облікових ділянках площею 0,25 м². Рослини складаються в поліетиленові мішки і транспортуються в лабораторію [15].

Проби фітоеніфітону відбирають із домінуючих видів вищих водних рослин. Фрагменти рослин обережно зрізають під водою, вміщують у широкогорлі склянки, заливають дистильованою водою і консервують 40% розчином формальдегіду із розрахунку 1:20 [15].

Проби зоопланктону відбирають шляхом зачерпування води з поверхневого горизонту з проціджуванням через планктонну сітку Джені з млинового сита № 62. Сконцентрований в стаканчику сітки зоопланктон зливається в скляну банку місткістю 100 см³ і консервується 40% розчином формальдегіду із розрахунку 1:10 [15].

Проби зообентосу і зооперифітону відбирають за допомогою малого дночерпака Петерсена, промивають через спеціальний сачок, переливають до широкогорлої склянки об'ємом 0,5 дм³ і консервують 40% розчином формальдегіду з розрахунку 1:10 [15].

Наукові ловлення *іхтіофауни* для досліджень здійснюються за допомогою загальноприйнятих знарядь лову.

Лабораторні методи досліджень

Проби **фітопланктону** згущують методом седиментації і опрацьовують у лічильній камері Нахотта під світловим мікроскопом марки Carl Zeiss при величині окуляра К 7', об'єктива – '20, для більш точного визначення – величина окуляра К 9', а об'єктива – '40, для дрібноклітинних форм використовувалася імерсійний об'єктив – '90. Чисельність фітопланктону перераховують на 1 дм³ води згідно із загальноприйнятою формулою, біомасу визначають розрахунково-об'ємним методом [15].

Макрофіти звільняють від зайвої води за допомогою фільтрувального паперу і зважують на технічних терезах, визначаючи їх сиру фітомасу. Потім їх висушують у сушильній шафі за температури 105°C до постійної ваги, охолоджують в ексікаторі і зважують для визначення абсолютно сухої маси [15]. Сирю

і абсолютно сухої фітомаси перераховують на 1 м². Запаси фітомаси макрофітів визначають за середньою для виду фітомасою і приблизною площею, яку вони займають у водоймі.

Для лабораторного опрацювання проб фітоепіфітону із зібраних фрагментів рослин щіточкою ретельно змивають обростання. Відмиті від епіфітів фрагменти рослин висушують у сушильній шафі за температури 80–105°C до постійної маси, потім зважують на аналітичних вагах із метою подальшого перерахунку кількісних показників (чисельність, біомаса) водоростей обростань на одиницю абсолютно сухої маси рослин-субстратів за загальноприйнятою формулою [15].

Проби зоопланктону опрацюють під біокуляром у камері Богорова. Визначається видовий склад усіх організмів у пробі з підрахуванням кількості представників кожного виду. Для визначення біомаси чисельність виду перемножується на його стандартну індивідуальну масу. Чисельність і біомасу зоопланктону перераховують на 1 м³ [11].

У пробах зообентосу та зооперифітону всі організми розбираються за систематичними групами, далі визначаються окремі види і підраховується загальна кількість тварин у кожному таксоні. Отримані дані сумуються. Далі проводиться перерахунок чисельності на 1 м² площі дна. Біомаса

крупних організмів визначається зважуванням на торсійних або аптекарських терезах. Отримана сумарна біомаса перераховується на 1 м² площі дна [15].

Лабораторне дослідження іхтіофауни здійснюється стандартними іхтіологічними методами.

Теоретичне обґрунтування, аналіз та узагальнення отриманих результатів натурних досліджень, формування теоретичних засад запровадження ПШБК

Аналіз складних біологічних взаємовідносин гідробіонтів у водній екосистемі можливий лише за певної міри їх формалізації. Для цього на основі натурних даних по структурно-функціональній організації біоти різнотипних водних об'єктів виділено два основних типи трофічних взаємовідносин:

- пасовищний: фітопланктон → мирний зоопланктон → хижий зоопланктон → риби-планктофаги → хижі риби;
або фітобентос (чи фітоперифітон) → зообентос → риби-бентофаги → хижі риби.
- детритний і «мертві» органічні речовини (детрит) + бактерії, що на ньому поселяються → організми-детритофаги (зоопланктон, зообентос) + риби-бентофаги → хижі риби.

У схематичному вигляді трофічні ланцюги водної екосистеми представлені на рис. 1.

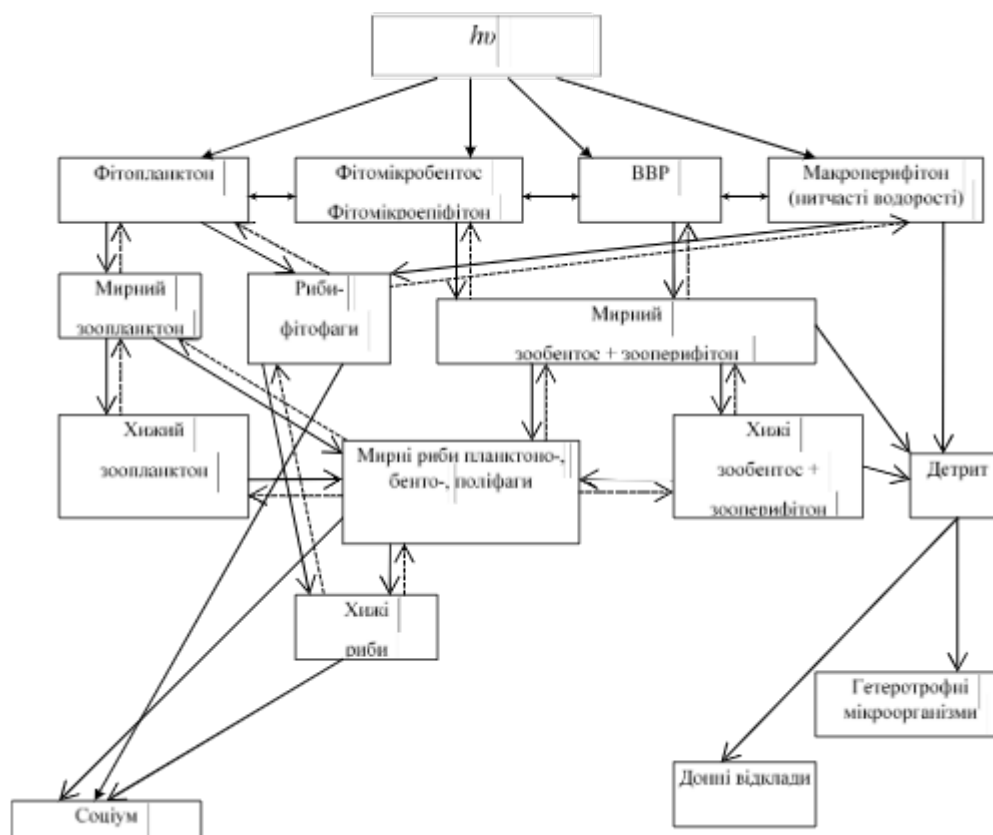


Рис. 1. Структура і функціональна організація основних трофічних взаємовідношень (трофічних ланцюгів) біоти водних об'єктів: суцільна лінія – прямі зв'язки, пунктирна – опосередковані

Структурно-функціональна організація ПШБК

Фітопланктон – угруповання мікроскопічних водоростей, що вегетують у водній товщі, відіграє першочергову роль у формуванні потоків енергії і колообігу речовин, що є основою функціонування ПШБК.

З екологічної точки зору взаємозв'язку між першопродуцентами і рибою (яка є кінцевим компонентом трофічної чи енергетичної піраміди) фітопланктон формує найбільш ефективні трофічні ланцюги:

Перший: „фітопланктон ® риби-планктонофаги”, з риб, зокрема це білий товстолоб.

Другий: „фітопланктон ® зоопланктон ® риби”, з риб це: строкатий товстолоб, частково білий та їхні гібриди.

Третій, який умовно можна поділити на два, де:

„фітопланктон” ® зоопланктон ® молодь риб”
® молодь риб на ранніх стадіях онтогенезу”

Фітопланктон характеризується високою поживною цінністю. Так, у фітопланктоні дніпровських водосховищ вміст білків становить 23,9–43,9%, жирів – 2,0–18,0%, вуглеводів – 6,2–32,2%, сухої біомаси [20]. У якості прикладу розраховано харчову та енергетичну цінність запасів фітопланктону у Головному каховському магістральному каналі (табл. 1).

Макрофіти. Важливим рослинним компонентом ПШБК є макрофіти, до яких ми відносимо:

– угруповання вищих водяних рослин (ВВР) різних екологічних груп: повітряно-водних, з плаваючим листям і занурених;

– макроскопічні форми водоростей, в основному це нитчасті водорості з відділів Chlorophyta, Charophyta.

Глибинною межею поширення ВВР у водних екосистемах в основному є 1,5–2,5-метрова ізобата. Однак залежно від екологічних чинників вона може змінюватися. Важливу роль при цьому відіграє

швидкість течії, прозорість води. Розвиток рослинності, як правило, обмежується подвоєною прозорістю води за диском Секі.

Макрофіти використовуються в їжу тваринами різних систематичних груп, які є компонентами ПШБК – червами, черевоногими молюсками, ракоподібними, комахами і іхтіофауною. Відмерлі рослини розкладаються бактеріями, грибами і найпростішими і разом з детритом утилізуються різними детритофагами.

Як приклад, наводимо дані з річної продукції вищих водних рослин Головного каховського магістрального каналу та їхньої енергетичної цінності (табл. 2).

Фітоеніфітон – це угруповання водоростей, що обростають підводні частини рослин. Одним із провідних чинників, що визначають розвиток епіфітону, є екологічні особливості ВВР і їхнє проективне покриття. Наприклад, на одиницю фітомаси у занурених рослинах кількісні показники епіфітних угруповань водоростей значно вищі, ніж на одиницю фітомаси повітряно-водяних. На характер вегетації епіфітних водоростей також впливає прозорість води, швидкість течії і температура води.

Зоопланктон. Угруповання безхребетних водної товщі представлені різноманітними дрібними тваринами, які, в основному, належать до коловерток (Rotatoria), гіллястовусих (Cladocera) і веслоногих ракоподібних – Copepoda. Розвиток зоопланктону визначається всією гамою абіотичних і біотичних чинників. До перших належать морфометричні характеристики, гідрологічний режим (швидкість течії, ступінь її ламінарності чи турбулентності, об'єми водних мас, їх гомогенність чи стратифікація тощо), температурний режим, прозорість чи каламутність води. З біологічних складових, які впливають на розвиток тварин, головними є кормовий ресурс (водорості, бактерії, детрит) і наявність (чи відсутність) пресу хижаків.

Як приклад, у табл. 3 наведено кількісне різноманіття зоопланктону основних каналів України.

Таблиця 1

Запаси біомаси, харчова та енергетична цінність фітопланктону
Головного каховського магістрального каналу

Класи кількісного розвитку (біомаси)	Середня біомаса, г/м ³	Запаси біомаси, т <u>сирої</u> <u>сухої</u>	Запаси поживних речовин, т			Енергетична цінність ² , ккал
			білки	жири	вуглеводи	
I	0,51	$\frac{40}{3}$	0,7–1,3	0,1–0,5	0,2–1,0	32'10 ⁶
II	2,20	$\frac{172}{12}$	2,9–5,3	0,2–2,2	0,7–3,9	138'10 ⁶
III	7,84	$\frac{611}{44}$	10,5–19,3	0,9–7,9	2,7–14,2	489'10 ⁶
IV	20,00	$\frac{1560}{111}$	26,5–48,7	2,2–20,0	6,9–35,7	1248'10 ⁶

Примітка. 1 – співвідношення сухої і сирої біомаси фітопланктону при домінуванні синьо-зелених водоростей було прийнято за 1:14 [10]; 2 – енергетичну цінність сирої біомаси фітопланктону було прийнято за 0,8 ккал/г [16].

Таблиця 2

Річна продукція вищих водяних рослин Головного каховського магістрального каналу

Макрофіти	Продукція фітомаси, т/рік АСМ	Енергетична цінність ² , ккал
<i>Potamogeton perfoliatus</i> L.	15,92	63,68'10 ⁶
<i>Potamogeton pectinatus</i> L.	12,34	49,36'10 ⁶
<i>Potamogeton crispus</i> L.	5,94	23,76'10 ⁶
<i>Potamogeton gramineus</i> L.	0,09	0,36'10 ⁶
<i>Najas marina</i> L.	2,33	9,32'10 ⁶
<i>Vallisneria spiralis</i> L.	3,54	14,16'10 ⁶
<i>Ceratophyllum demersum</i> L.	5,34	21,36'10 ⁶
<i>Myriophyllum spicatum</i> L.	7,42	29,68'10 ⁶
Всього	52,92	211,68'10 ⁶

Примітка. Прийнято, що калорійність біомаси вищих водяних рослин складає 4 ккал/г сухої маси.

Таблиця 3

Кількісне різноманіття зоопланктону каналів України [4]

Канал	Чисельність (N), тис. екз/м ³	Біомаса (B), мг/ м ³
Сіверський Донець – Донбас	0,04–35,9	0,1–842,0
Дніпро – Кривий Ріг	0,1–517,7	1,3–5323,5
Дніпро – Донбас	0,2–85,4	1,0–1337,7
Північно-Кримський	0,5–126,1	0,3–1450,2
Інгулецький	0,04–275,1	1,0–1015,0

Зоопланктон відіграє суттєву роль у формуванні планктонних ланцюгів живлення багатьох представників іхтіофауни на різних етапах їхнього розвитку.

Зообентос та зооперифітон. Зообентос (безхребетні м'яких субстратів) та зооперифітон (безхребетні твердих субстратів) є важливим компонентом ПШБК.

У зообентосі виділяються дві життєві зони безхребетних із специфічною структурою угруповань:

Перша – від урізу води до глибини 1,5–2,0 м. В основному, це дрібні тваринні організми, які належать до мікро-, мезобентосу і представлені різноманітними донними формами коловороток, ракоподібних, гідр, нематод, олігохет, гамарусів і т.д.

Друга зона – від 2,0 м і глибше – розвиваються більш крупні форми, з домінуванням за способом живлення фільтраторів: мохуватки, ручейники, хирономиди, а також види роду *Dreissena*: *D. polymorpha* і *D. bugensis*. За сприятливих умов молюски можуть формувати гігантські колонії («друзи»), біомаса яких може перевищувати декілька кг/м² субстрату.

Просторовий розподіл зообентосу, його якісне і кількісне різноманіття залежать від температури води, швидкості течії, а також від морфології та характеру субстрату. Одним із домінуючих чинників, який визначає інтенсивність розвитку організмів мікрозообентосу, є ступінь замученості субстрату.

Загалом, зообентос та зооперифітон відіграють важливу роль у процесах формування якості води, колообігу речовин, харчового ресурсу для риб, а отже і функціонування ПШБК.

Іхтіофауна. Видовий, кількісний та якісний склад туводних та вселених рослиноїдних та молюскоїдних видів риб, що входять до складу ПШБК, визначається біологічною спроможністю водного об'єкта, гідрологічними, гідрохімічним та температурним режимом, початком вегетації та відмирання водної рослинності, водоростей, молюсків.

Для створення ПШБК потрібен диференційний підхід до вибору його складових. Насамперед, це науково обґрунтована та визначена кількість риб усіх видових і трофічних груп (рослиноїдних, хижаків, бентофагів і т. д.), вікових (молоді, середньовікових, старшовікових) та розмірних груп, що встановлюється дослідним шляхом.

За результатами досліджень якісного і кількісного різноманіття флори і фауни різнотипних водойм України визначено оптимальний видовий склад риб–біомеліорантів ПШБК (табл. 4)

Слід зазначити, що вищенаведені риби-вселенці, у визначеній кількості, не стануть харчовими конкурентами туводних риб, оскільки білий амур харчується виключно вищою рослинністю, строкатий товстолобик в основному зоопланктоном, а білий товстолобик фітопланктоном та детритом, включаючи діатомові, зелені та синьо-зелені водорості, зокрема *Microcystis aeruginosa* – основний збудник «цвітіння» води. Відповідно, вселення риб далекосхідного комплексу не буде призводити до виникнення напружених трофічних відносин та дефіциту кормових ресурсів [2].

Крім риб далекосхідного комплексу, у якості біомеліорантів можна використовувати аборигенні

види риб, такі як лящ (1–3 кг), судак (1–3 кг), плітка (0,2–0,6 кг), плоскирка (0,2–0,6 кг), лин (1–2 кг), карась (0,5–1 кг).

Важливою особливістю формування ПШБК є визначення оптимальних вагових характеристик зарибку. Для прикладу наведемо вікові та вагові характеристики зарибку риб–фітофагів, детритофагів та бентофагів (табл. 5).

Особливості функціонування ПШБК на деяких водних об'єктах України

Рівнинні водосховища

Основними біологічними загрозами функціонуванню малих, середніх і великих водосховищ України:

- «цвітіння» води синьо-зеленими водоростями;
- заростання мілководдя вищими водними рослинами різних екологічних груп (повітряно-водними, із плаваючим листям і зануреними).

Як приклад, на рис. 2 наведено фото плями «цвітіння» води синьо-зеленими водоростями у Київському водосховищі, а на рис. 3 – основні види, які викликають «цвітіння» води у водосховищах України.

З огляду на це, визначається стратегія формування ПШБК на рівнинних водосховищах (рис. 4).

Основними компонентами кормової бази риб у рівнинних водосховищах є фітопланктон, вищі водні рослини і детрит. Відповідно для створення ПШБК пропонується вселення у водосховища білого товстолоба, строкатого товстолобика та білого амура. При цьому сформуються такі трофічні ланцюги:

1. Фітопланктон споживається білим товстолобом (типовий фітопланктонофаг) і, меншою мірою, строкатим товстолобом (факультативний фітопланктонофаг) – пасовищний ланцюг.



Рис. 2. Плями «цвітіння» води у Київському водосховищі

Таблиця 4

Оптимальний видовий і віковий склад риб–біомеліорантів ПШБК різнотипних водних об'єктів

№	Види риб	Продуктивний вік (наважка), кг
1	білий товстолобик	2–5
2	строкатий товстолобик	2–4
3	білий амур	2–6
4	чорний амур	2–7
5	короп (сазан)	2–5

Таблиця 5

Вікові та вагові характеристики зарибку риб–фітофагів, детритофагів і бентофагів різнотипних водних об'єктів України

Вік	Білий амур	Строкатий товстолобик	Білий товстолобик	Короп/сазан
	наважка, г	наважка, г	наважка, г	наважка, г
0+	25-30	25-35	25-30	25-30
1	25-40	25-50	25-40	25-40
1+	500-700	150-350	100-300	100-300

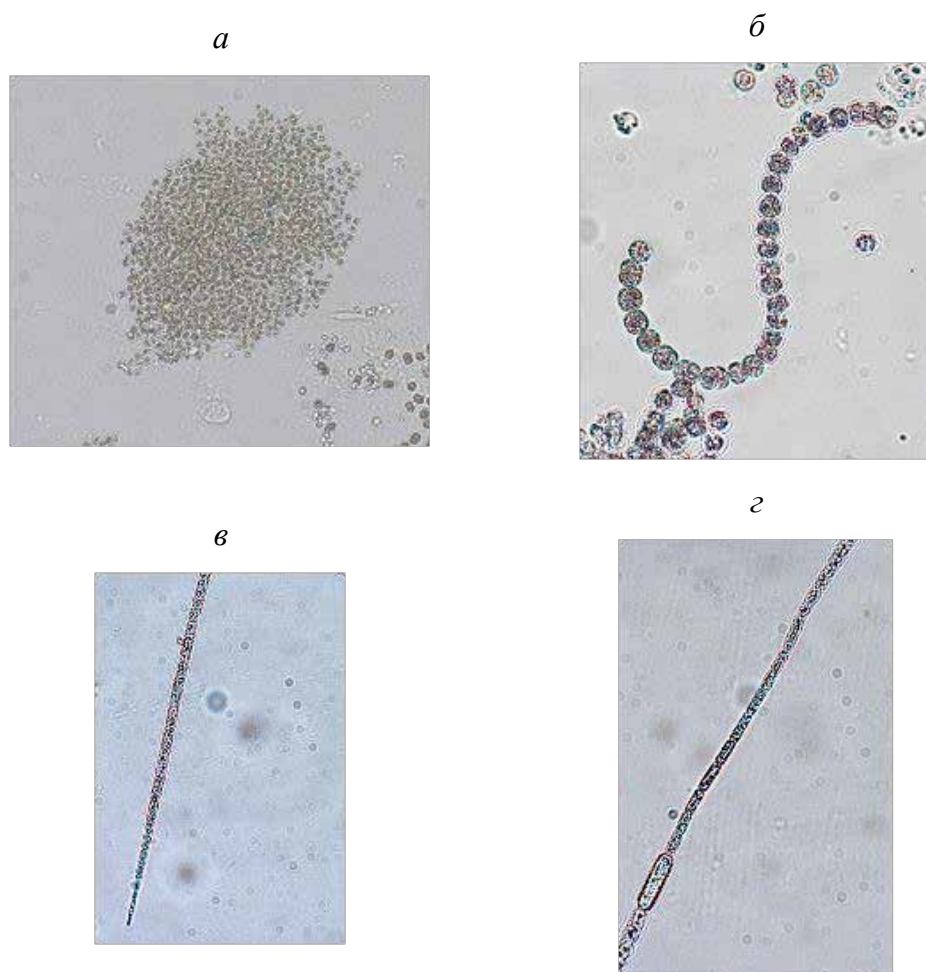


Рис. 3. Основні види синьо-зелених водоростей, які є агентами «цвітіння» води у водосховищах України:
а – *Microcystis aeruginosa*, б – *Anabaena flos-aquae*, в – *Aphanizomenon issatchenkoi*, г – *Aphanizomenon flos-aquae*

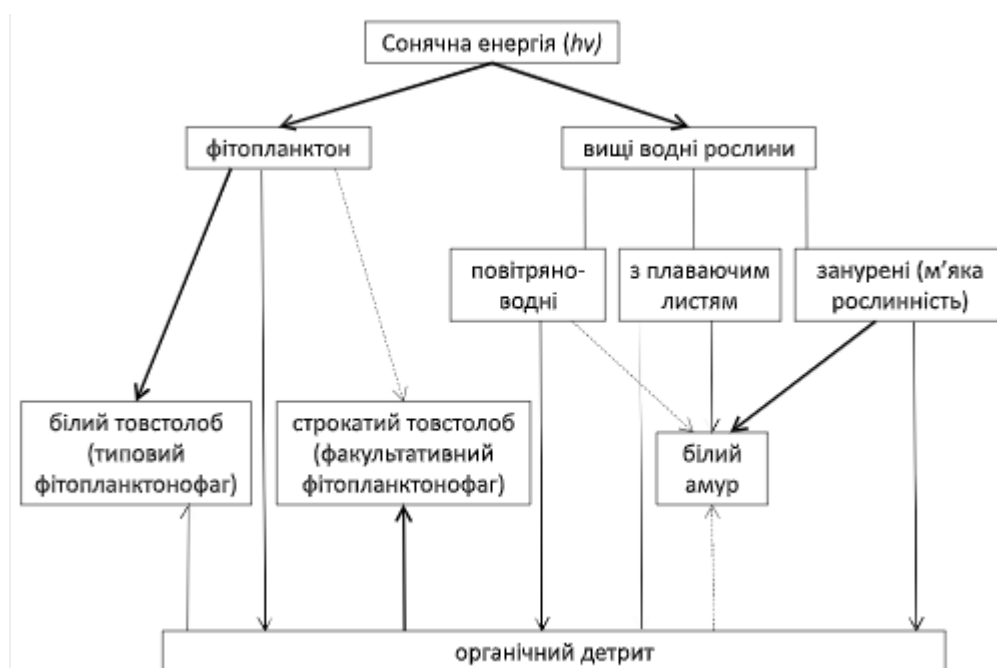


Рис. 4. Схема формування ПШБК на рівнинних водосховищах

2. Вищі водні рослини споживаються білим амуром – пасовищний ланцюг. Найбільш оптимальним харчовим ресурсом для білого амура є занурені рослини.

3. При відмиранні вищих водних рослин і планктонних водоростей формується детрит, який споживається строкатим товстолобом, меншою мірою – білим товстолобом і білим амуром – детритний ланцюг.

Штучні канали для водогосподарських потреб

Канали та інші водні об'єкти, що використовуються для зрошення та питного водопостачання – це штучно створені водойми спеціального технологічного призначення, які наповнюються з природних джерел самотоком, або штучно.

Запровадження ПШБК на таких водних об'єктах повинно відбуватися з дотриманням науково обґрунтованої Програми ПШБК, в основі якої є збереження та відтворення наявної аборигенної іхтіофауни, ракоподібних, молюсків та водоростей, а за необхідності – науково-обґрунтованої інтродукції та акліматизації рослинної, молюскоїдних, детритоїдних та інших видів риб.

Основною метою досягнення результатів та пріоритетом у запровадженні ПШБК на каналах є поліпшення якості води і запобігання біологічним загрозам.

Гідрологічні умови каналів характеризуються високою турбулентністю течії. Тому, крім вищих водних рослин і фітопланктону, важливу роль у трофічних ланцюгах відіграє детрит. Різні фракції детриту, які формуються після відмирання живих організмів, частково розкладаються у водній товщі, споживаються організмами-детритофагами, а залишки осаджуються в донні відклади.

Розмірні класи детриту визначаються згідно з розробленою нами методикою [25], за якою виділено чотири класи. Для цього проводиться ранжування

розмірів від мінімальних часток до максимальних (рис. 5).

Окрім того, з огляду на те, що канали можуть бути облицьовані бетонними плитами і протифільтраційними ґрунто-плівковими та бетонно-плівковими екранами, важливими компонентами їхніх екосистем є фітоперифітон (водорості твердих субстратів) і зооперифітон (зообентос твердих субстратів) (безхребетні твердих субстратів).

Відповідно стратегія формування ПШБК у каналах передбачає формування таких трофічних ланцюгів (рис. 6):

1. Фітопланктон споживається білим товстолобом і строкатим товстолобом.

2. Вищі водні рослини споживаються білим амуром.

3. Детрит споживається строкатим, білим товстолобом і білим амуром.

4. Фітоперифітон споживається білим, строкатим товстолобом і білим амуром.

5. Зооперифітон споживається чорним амуром і коропом.

Водні об'єкти урбанізованих територій

Актуальною проблемою є поліпшення екологічного стану, збереження, охорони та раціонального використання водних об'єктів, які знаходяться в межах урбанізованих територій.

Основними антропогенними чинниками, що впливають на стан міських водних об'єктів урбанізованих територій, є відсутність прибережних захисних смуг, техногенна трансформація берегів, стоків із промислової забудови, стоків із житлової забудови, наявність в межах водоохоронних зон автомобільних шляхів, закладів харчування, стоянок, заправок [24].

Відповідно, метою створення ПШБК є еколого-біологічне відновлення та покращення екологічного стану водойм для сталого розвитку міської інфраструктури, задоволення рекреаційних потреб

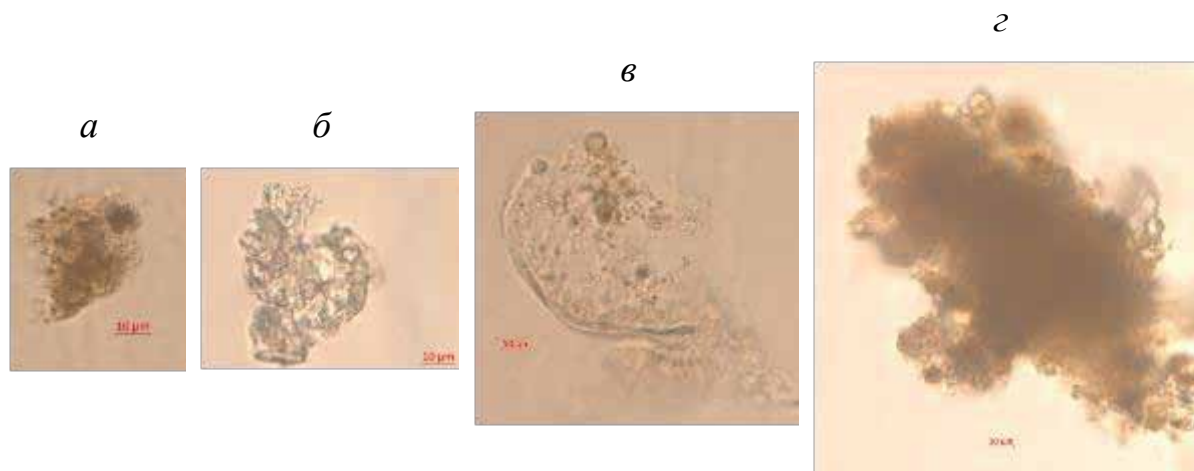


Рис. 5. Мікрофотографії різних розмірних фракцій органічного детриту: а – менше 30 мкм; б – 31–70 мкм; в – 71–100 мкм; г – більше 101 мкм

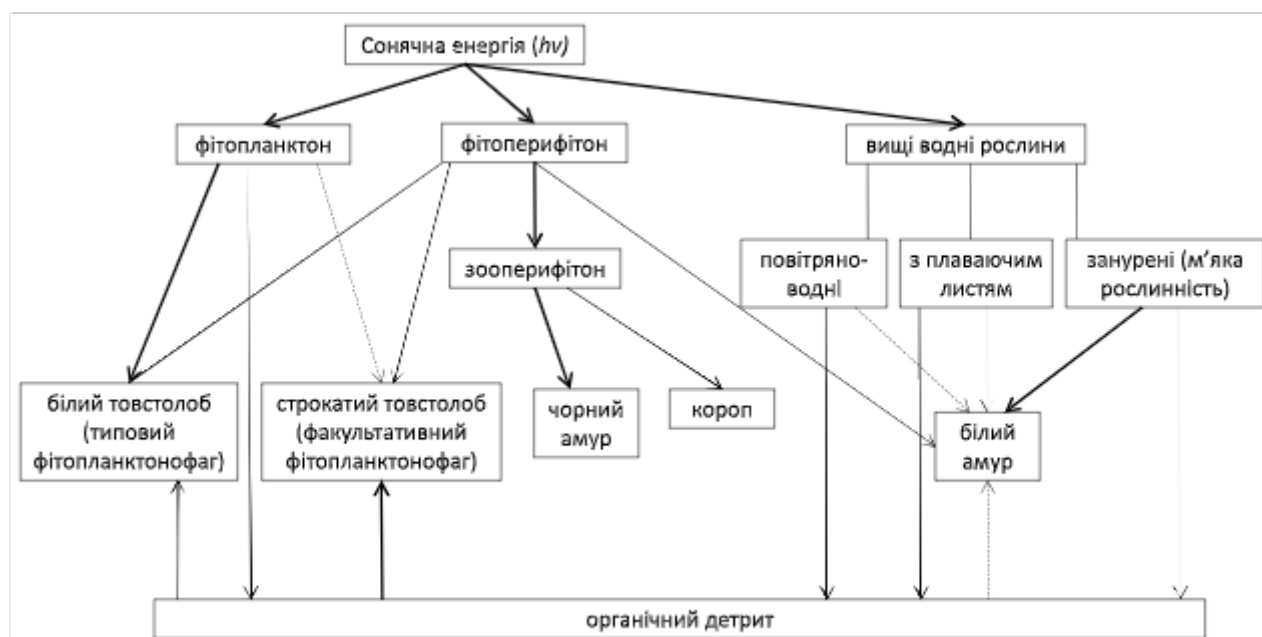
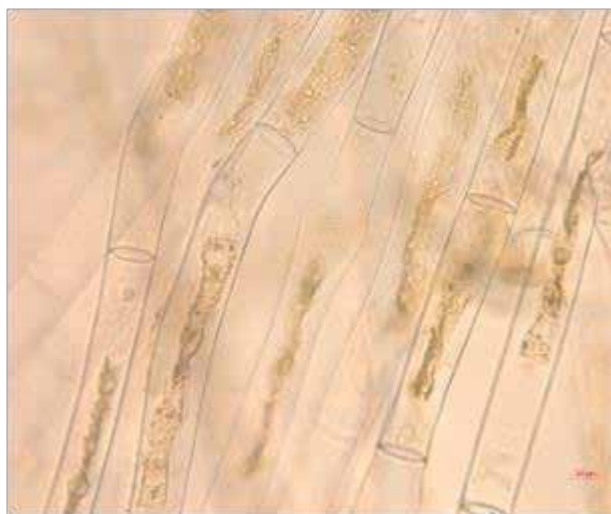


Рис. 6. Схема формування ПШБК на штучних каналах для водогосподарських потреб

а

б

Рис. 7. Дерновини-подушки нитчастих водоростей: а – загальний вигляд, б – мікрофотографія зеленої водорості роду *Mougeotia*, яка утворює дерновини-подушки

населення без погіршення якості водних ресурсів та умов життєдіяльності соціуму.

Крім фітопланктону та вищих водних рослин, у водних об'єктах урбанізованих територій важливим компонентом автотрофної ланки є плаваючі «дерновини-подушки» водоростей (рис. 7). Вони формуються переважно з нитчастих водоростей, меншою мірою – з мікроводоростей. За оптимальних умов (температура води вище +12–15°C, достатня сонячна інсоляція, прозорість води, оптимальна концентрація біогенних елементів) в дерновинах-подушках інтенсифікуються процеси фотосинтезу, а

коли у вакуолях рослинних клітин накопичується значна кількість O_2 , питома вага клітин знижується і вони піднімаються на поверхню води [13].

Дерновини-подушки нитчастих водоростей входять до складу пасовищних трофічних ланцюгів ПШБК і споживаються білим, строкатим товстолобом та білим амуром. При їх відмиранні та деструкції утворюється детрит, який включається в детритний трофічний ланцюг і також споживається рибами. На рис. 8 представлена схема формування ПШБК у водоймах урбанізованих територій.

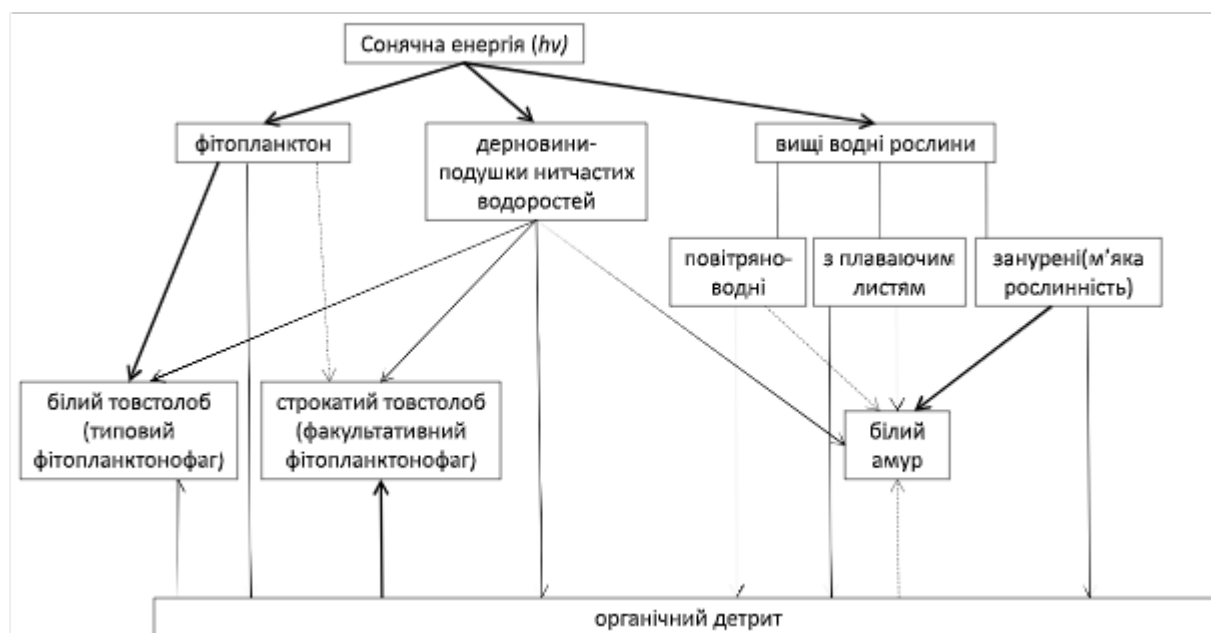


Рис. 8. Схема формування ПШБК у водних об'єктах урбанізованих територій

Водоймища–охолоджувачі ТЕС і АЕС

Ефективність роботи теплових і атомних електростанцій значною мірою залежить від систем охолодження, що забезпечуються водними масами з водойм-охолоджувачів (ВО). У ВО присутня велика кількість субстратів, які заселені гідробіонтами, а у водній товщі розвиваються планктонні водорості, безхребетні і риби.

У процесі експлуатації ВО розвиток різних компонентів біоти може досягати значних величин, що формує перешкоди в системах підведення і відведення води, призводить до погіршення якості води, а отже і до падіння генерації електроенергії і, відповідно, до зростання її собівартості.

Наприклад, за формування в трубах конденсаторів теплової електростанції шару біобіогенів товщиною лише 0,1 мм теплопередача знижується від 3700 до 900 ккал (м²/год.°с) [14].

Багаторічними дослідженнями [17] доведено, що біологічні загрози формуються завдяки «цвітінню» води синьо-зеленими водоростями; заростанню мілководних (глибиною до 2,0–2,5 м) акваторій та неодамбованих берегів ВО вищими водними рослинами; розвитку фітоперифітону на твердих субстратах, зокрема, це зелені водорості з родів *Cladophora*, *Spirogyra*, *Ulothrix* та синьо-зелені з родів *Lyngbya*, *Gloeotrichia*. Їхня біомаса, особливо в приповерхневих горизонтах (до 1,0–1,5 м) може сягати до 1–2 кг/м²; розвитку безхребетних зооперифітону. Так, на глибководних горизонтах масового розвитку досягають молюски дрейсени, які формують «щітки», друзи, агрегати друз. Так, на підвідних водозабірних каналах їх біомаса можуть досягати 20 кг/м², а локально і більше [17].

Масового розвитку (до декількох кг/м²) також можуть досягати губки, мохуватки (мшанки), гідроїдні поліпи.

Також біологічні загрози можуть формувати й інші молюски – живородки (рід *Viviparus*). Приміром, на Змієвській ТЕС їх мушлі формували до 0,6 м³/добу.

Важливим компонентом зообіогенів є і представники «м'якого» перифітону – олігохети, волохокрильці (ручейники), корофіїди, поліхети, гамариди.

Доведено, що вселення рослиноїдних риб у водоймища-охолоджувачі дозволяє знизити рівень «цвітіння» води.

Наприклад, за даними О. Г. Васенка [3] вселення дворічок білого і строкатого товстолобів у водоймище-охолоджувач (ВО) Змієвської ТЕС через два роки зменшило «цвітіння» води фітопланктоном утричі.

Аналогічно [5] у ВО Криворізької ТЕС використання іхтіостада із трьох-шестирічних білих товстолобів на 30–40% знижує біомасу фітопланктону, що формує «цвітіння» води.

За даними М.В. Ковби [12] використання різних видів риб із певною харчовою спрямованістю дозволяє пригнічувати вегетацію небажаних гідробіонтів у ВО Хмельницької АЕС.

На прикладі Водоймища-охолоджувача Запорізької АЕС зазначено, що основним компонентом живлення білого товстолобика є фітопланктон (до 98% від вмісту харчової грудки). До того ж домінуючою групою в його поживі є синьо-зелені водорості (до 68%), і їхня кількість у складі харчових грудок прямо залежить від концентрації синьо-зелених водоростей у водоймі [18].

Також доведено, що вселення білого товстолобика у водоймище-охолоджувач призводить до зниження ступеню «цвітіння» і зміни домінуючих комплексів мікрowodоростей із синьо-зелених на інші відділи. При цьому, у крупної риби коефіцієнт конвертації корму вищий, ніж у молоді, тобто один великий товстолобик за рік споживає водорості ефективніше, ніж два менших, але співставних із ним за загальною масою [6].

Проте, на жаль, наразі в Україні відсутня загальноприйнята та затверджена на державному рівні методологія боротьби з біологічними загрозами. Відповідно, у кожному випадку їх формування на конкретній АЕС чи ТЕС розробляються свої підходи, свої методи локального вирішення проблем.

Вважаємо, що в іхтіологічному складі ПШБК мають бути такі види риб, що які мають високу кормову ефективність до конкретних компонентів біоти і які формують біологічні загрози. Наприклад, фітопланктону – білий товстолобик та його гібрид зі строкатим; вищої водної рослинності – білий амур; молюсків, які входять до складу зооперифітону, чорний амур; м'якого зооперифітону короп; дерновини – подушки нитчастих водоростей і детрит – білий, строкатий товстолобик і білий амур.

Важливо, що величини вселення гідробіонтів розраховані так, що споживання видів – фільтратів, молюсків, фітопланктону, вищих водних рослин зумовлює їх вегетацію до меж, корисних для формування природної високої якості води, необхідної для оптимального функціонування енергоблоків АЕС і ТЕС.

На рис. 9 представлено схему формування ПШБК у водоймищах-охолоджувачах ТЕС і АЕС.

Підсумок

Природно-штучний біомеліоративний комплекс (ПШБК), що формується з гідробіонтів різних трофічних рівнів та екологічних груп, є одним із нових напрямків біологічної меліорації водних об'єктів України.

Запровадження ПШБК на різнотипних водних об'єктах дозволяє мінімізувати біологічні загрози, сформувати потоки енергії і колообіг речовин й інтенсифікувати процеси самоочищення, що сприятиме поліпшенню якості води, яка використовується для різних потреб народного господарства.

Під час створення ПШБК застосовується диференційований підхід до вибору його складових, який залежить від типу водного об'єкта та наявних біологічних загроз. Так, для мінімізації «цвітіння» води синьо-зеленими водоростями пропонується сформувати трофічний ланцюг «фітопланктон – білий товстолобик». За умови заростання акваторій вищими водними рослинами та надмірного розвитку нитчастих водоростей доцільним є створення трофічного ланцюга «макрофіти – білий амур». За надмірного розвитку зооперифітону (зообентосу твердих субстратів), зокрема молюсків роду *Dreissena*, до складу ПШБК пропонується занести чорного амура і коропа.

Наукова новизна Методології створення ПШБК підтверджена Патентом [21] і є перспективною для впровадження як важливий напрямок меліорації різнотипних водних об'єктів України.

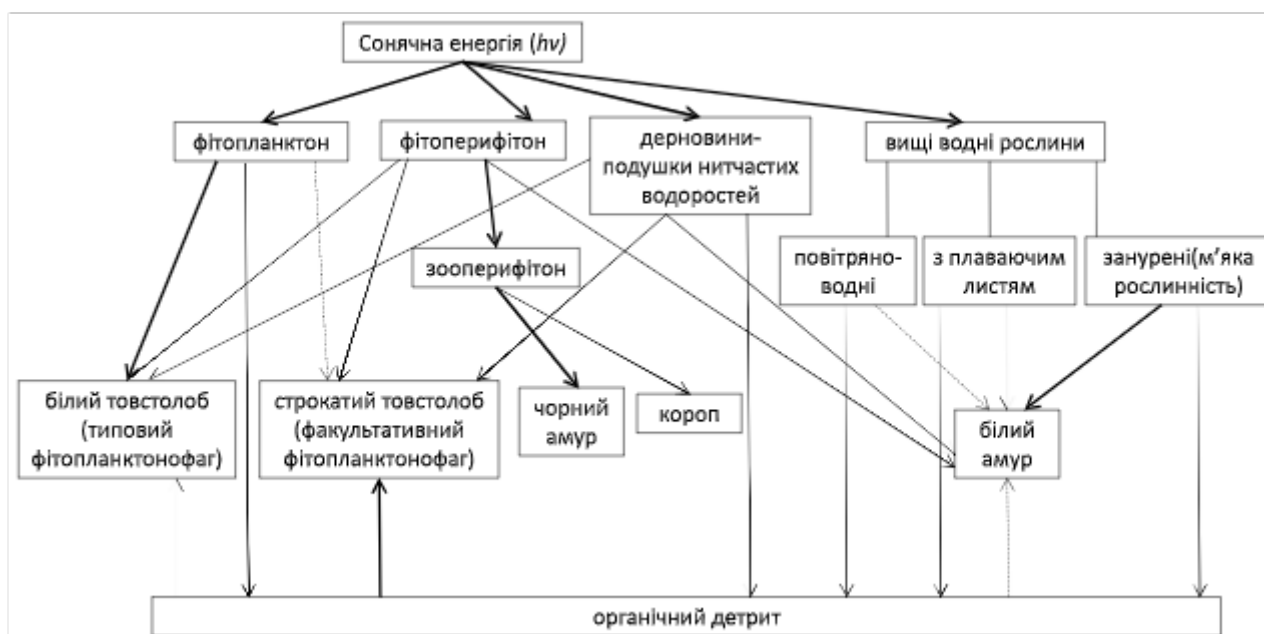


Рис. 9. Схема формування ПШБК у водоймищах-охолоджувачах ТЕС і АЕС

Література

1. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Ленинград : Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
2. Біологія і промисел далекосхідних рослинорідних риб великих водосховищ України / Бузевич І.Ю. та ін. Київ, 2012. 126 с.
3. Васенко О.Г. Екологічні основи водоохоронної діяльності в теплоенергетиці. Бібліотека журналу ІТЕ. Т. 1. Харків : УкрНДІЕП, 2000. 243 с.
4. Гидробиология каналов Украинской ССР / Окснюк О.П. и др. Киев : Наук. думка, 1990. 240 с.
5. Еколого-біологічна та рибогосподарська характеристика водосховища-охолоджувача Криворізької ТЕС / Федоненко О.В. та ін. *Питання біоіндикації та екології*. 2016. Вип. 21, № 1–2. С. 99–110.
6. Заделенов В.А., Щур Л.А. Влияние рыбы-состофага белого толстолобика *Hypophthalmichthys molitrix* на состояние фитопланктона в Берешском водохранилище (Красноярский край) / *Вестник КрасГАУ*. 2009. № 8. С. 89–97.
7. Закон України «Про загальнодержавну програму розвитку водного господарства» від 17.01.2002 р. № 2988-III / *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2002. № 25, С. 172.
8. Закон України «Про меліорацію земель» / *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2000. № 11, С. 90.
9. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» : *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 1991. № 41. С. 546.
10. Иванов А.И. К методике определения биомассы сине-зеленых водорослей при их массовом развитии / «Цветение» воды. Киев : Наук. думка, 1968. С. 363–365.
11. Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоемов. Ленинград : Наука, 1969. Т. 1. 358 с.
12. Ковба М.В. Аквакультура промислово цінних видів риб на водних об'єктах Хмельницької АЕС / *Водні ресурси і аквакультура*. Київ : ДІА, 2010. С. 163–166.
13. Кожаева Д.К., Хаджобиков О.Б., Казанчев С.Ч. Первичная продукция нитчатых водорослей / *Биологические науки*. 2016. С. 198–206.
14. Лудянский М.Л. Биологическое обрастание в системах пресного оборотного водоснабжения (Обзор) / *Гидробиологический журнал*. 1989. Т. 25, № 6. С. 25–37.
15. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / Арсан О. М. та ін.; ред. В. Д. Романенка. Київ : ЛОГОС, 2006. 408 с.
16. Михеева Т.М. Оценка продукционных возможностей единицы биомассы фитопланктона / *Биологическая продуктивность эвтрофного озера*. Москва : 1970. С. 50–70.
17. Морозовская И.А., Протасов А.А. Зооперифитон и обрастание в водоемах-охладителях атомных и тепловых электростанций / *Ядерная энергетика та довкілля*. 2013. № 2. С. 55–58.
18. Охріменко О.В. Живлення білого товстолоба (*Hypophthalmichthys molitrix* Val.) в умовах Водойми-охолоджувача Запорізької АЕС / *Рибогосподарська наука України*. 2012. № 3. С. 39–42.
19. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку видів діяльності, що належать до природоохоронних заходів» від 17.09.1996 р. № 1147. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1147-96-%D0%BF#Text> (дата звернення: 23.02.2022).
20. Растительность и бактериальное население Днепра и его водохранилищ / Сиренко Л.А. и др. Киев : Наук. думка, 1989. 232 с.
21. Спосіб покращення природної якості води та ефективності роботи спеціальних об'єктів водозабезпечення шляхом створення природно-штучного біомеліоративного комплексу / винахідники і власники патенту: Щербак В.І., Коротецький В.П., Сидоренко О.В., Боліла Н.О., Якобчук Ю.О. пат. UA 101959 U Україна, МПК (2015.01) C02F 3/00. № u 2015 03296; заявл. 07.04.2015; опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19.
22. Техно-екосистема АЭС. Гидробиология, абиотические факторы, экологические оценки / ред. А.А. Протасова. Киев : Институт гидробиологии НАН Украины, 2011. 234 с.
23. Шакиров А.Ш., Хисматуллин М.М. Мелиорация земель (основные понятия и термины). Казань, 2006. 190 с.
24. Kravtsova O.V., Shcherbak V.I. Methodology of assessing the degree of the influence of anthropogenic factors on phytoplankton of urban water bodies / *Hydrobiological Journal*. 2020. Vol. 56, Issue 5. P. 3–14.
25. Potential ecological hazards to the Cheremosh River posed by a diversion hydropower plant (Roztoky Settlement, Kosiv District, Ivano-Frankivsk Region, Ukraine) / Shcherbak V. et al. / *Issues and Challenges of Small Hydropower Development in the Carpathians Region (Hydrology, Hydrochemistry, and Hydrobiology of Watercourses)* / ed. A. Kovalchuk. Uzhgorod–L'viv–Kyiv: Biological Faculty of L'viv National University and Hydroecological Society «Uzh», 2016. 195 p.
26. Protasov A.A., Zubkova Ye.I., Silayeva A.A. Conceptual approaches to organization of hydrobiological monitoring of technoecosystems of thermal and nuclear power plants / *Hydrobiological Journal*. 2016. Vol. 52, Issue 2. P. 59–70.